Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Коми научный центр
УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

№1(13) **2013**

Главный редактор:

академик *А.М. Асхабов*

Редакционная коллегия:

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

Редакционный совет:

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

Адрес редакции:

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

ISSN 1994-5655

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

© Коми научный центр УрО РАН, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Д.Б. Ефимов. О факторизации элементов в алгебрах Пименова 4
Д.А. Тимушев, А.Н. Тихомиров. О предельном распределении сингулярных чисел произведений степеней прореженных случайных матриц 10

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ю.И. Рябков, П.В. Истомин, А.В. Надуткин, Л.Ю. Назарова, О.М. Лезина, С.А. Рубцова, Юйхэ Тан. Разработка научных основ технологий комплексной переработки кварц-рутилового сырья для функциональных наноматериалов на основе соединений титана и кремния 19

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.А. Габышев, О.И. Габышева. Структура летнего фитопланктона р.Олёкмы (Восточная Сибирь) и среда его обитания 25
Э.П. Галенко. Формирование теплового режима почв хвойных экосистем бореальной зоны в зависимости от лесообразующей породы и типа леса 32
М.М. Долгин. Ареалогическая характеристика фауны листоедов (Coleoptera, Chrysomelidae) европейского Северо-Востока России. 38
А.Н. Зиновьева. Фауна полужесткокрылых (Heteroptera) окрестностей озер Харбейской системы (Большеземельская тундра). 43
Ю.Г.Солонин, А.Л. Марков, Е.Р. Бойко, Я.Л. Габинский, С.А. Раенгулова, Т.Ю. Сафонова. Сравнение результатов донозологических исследований участников эксперимента «Марс – 500» в Сыктывкаре и Екатеринбурге 50
Ю.В. Ветчинкина, А.П. Скоромец. Поиск биомаркеров церебральной гипоксии у новорожденных 56

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

О.С. Кочетков, И.И. Лебедев. О нефтегазоносности Варангер-Тиманского пояса байкалид 63
Д.А. Шушков, И.И. Шуктомова. Собция радиоактивных элементов цеолитсодержащими породами 69

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ю.М. Гержберг, Д.Г. Бельский, В.И. Киршин, А.Н. Горбиков. Предупреждение разгерметизации замковых резьбовых соединений бурильной колонны при роторном бурении в искривленном стволе скважины 74
М.Ю. Демина, Л.С. Полугрудова, И.Н. Андронов, Н.П. Богданов. Моделирование механического поведения вязкоупругого элемента при малоцикловом деформировании 79

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.А. Карманова. Усть-цилемские списки новеллы «Великого Зерцала» о покаянии трех разбойников 84
А.Л. Белицкая. Поселение эпохи раннего средневековья Вэръю в бассейне Средней Вычегды 90
А.А.Лыюров. О деятельности неправительственных экологических и правозащитных организаций в России (1960–2000 гг.) 98

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

В.Н. Лаженцев. Методологические подходы к стратегическому планированию устойчивого развития территориальных хозяйственных систем 107
А.Е. Судакова. Влияние теневой экономической деятельности в сфере потребительского рынка на конечного потребителя 114

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ) 118

CONTENTS

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

D.B.Efimov. On fractorization of elements in Pimenov algebras 4
D.A.Timushev, A.N.Tikhomirov. On the asymptotic distribution of singular values of powers products of sparse random matrices.....10

CHEMICAL SCIENCES

Yu.I.Ryabkov, P.V.Istomin, A.V.Nadutkin, L.Yu.Nazarova, O.M.Lezina, S.A.Rubtsova, Tang Yuhe. Working out of scientific bases of technologies of complex processing of quartz-rutile raw materials for functional nanomaterials on the basis of titanium and silicon compounds 19

BIOLOGICAL SCIENCES

V.A.Gabyshev, O.I.Gabysheva. Spatial structure of the phytoplankton of Olyokma river (Eastern Siberia) in summer and its habitat conditions 25
E.P.Galenko. Thermal regime formation of soils in coniferous ecosystems of boreal zone in reference to dominating tree species and forest type 32
M.M.Dolgin. Areal characteristics of leaf-beetles fauna (Coleoptera, Chrysomelidae) of the European North-East of Russia.....38
A.N.Zinovyeva. Fauna of true bugs (Heteroptera) in the vicinity of lakes of Kharbei system (Bolshezemelskaya tundra).....43
Yu.G.Solonin, A.L.Markov, E.R.Bojko, Ya.L.Gabinsky, S.A.Raengulova, T.Yu.Safonova. Comparison of the results of prenosological studies of “Mars-500” experiment participants in Syktyvkar and Yekaterinburg 50
Yu.V.Vetchinkina, A.P.Skoromets. Current state of the problem of diagnostics of cerebral hypoxia in newborns.....56

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

O.S.Kochetkov, I.I.Lebedev. On the problem of oil-and-gas content in Varanger-Timan balkalite belt.....63
D.A.Shushkov, I.I.Shuktomova. Sorption of radioactive elements by zeolite-bearing rocks 69

TECHNICAL SCIENCES

Yu.M.Gerzhberg, D.G.Belsky, V.I.Kirshin, A.N.Gorbikov. Prevention of depressurization of threaded tool joint of the drill string during rotor drilling in the deviated hole.....74
M.Yu.Demina, L.S.Polugrudova, I.N.Andronov, N.P.Bogdanov. Simulation of mechanical behavior of viscoelastic element in the low-cycle deformation 79

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

N.A.Karmanova. Ust-Tsilma lists of the “Velikoe zertsalo” short story about the three robbers repentance.....84
A.L.Belitskaya. Settlement Veryu of the Early Middle Ages in the Vychegda river basin.....90
A.A.Lyyurov. To the problem of activity of ecological and human rights non-governmental organizations in Russia (1960-2000).....98

SOCIAL SCIENCES

V.N.Lazhentsev. The methodological approaches to the strategic planning of sustainable development of the territorial economic systems 107
A.E.Sudakova. Influence of shadow economic activity in the consumer market sphere on the end consumers 114

OFFICIAL (ANNIVERSARIES)..... 118

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 512

О ФАКТОРИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В АЛГЕБРАХ ПИМЕНОВА

Д.Б. ЕФИМОВ

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

Рассмотрена операция деления в алгебре Пименова. Получены необходимые и достаточные условия простоты элементов в алгебрах Пименова с числом образующих меньше, чем 5. Приведены примеры факторизации элементов в этих алгебрах.

Ключевые слова: **алгебра Пименова, факторизация, простые элементы**

D.B. EFIMOV. **ON FACTORIZATION OF ELEMENTS IN PIMENOV ALGEBRAS**

We consider the operation of division in Pimenov algebra. We obtain necessary and sufficient conditions for prime elements in Pimenov algebras with a number of generators less than 5. We adduce examples of the factorization of elements in these algebras.

Key words: **Pimenov algebra, factorization, prime elements**

Введение

Коммутативная ассоциативная алгебра с единицей, порожденная конечным числом нильпотентных индекса 2 образующих, или алгебра Пименова, возникает во многих вопросах математики и теоретической физики. Сам Р.И. Пименов применял ее для единого описания всех 3^n геометрий Кэли-Клейна размерности n (геометрий пространств с постоянной кривизной) [1], [2]. В последнее время ее использование связано в основном с методом алгебраических контракций [3-6]. Алгебра Пименова с одной образующей совпадает с множеством *дуальных чисел*, которые были введены У.К. Клиффордом во второй половине XIX в. Эти гиперкомплексные числа находят широкое применение в различных областях математики, механики и теоретической физики [7-10]. В данной работе наше внимание будет сосредоточено на алгебрах Пименова, порожденных более, чем одной образующей.

Дадим строгое определение. Пусть K обозначает произвольное поле нулевой характеристики, например, поле вещественных или комплексных чисел.

Определение 1. *Алгеброй Пименова* с n образующими над K называется ассоциативная алгебра, порожденная над K единицей и элементами $\iota_k,\ k = 1,\dots,n$, связанными определяющими соотношениями

$$\iota_k^2 = 0,\ \iota_k\iota_l = \iota_l\iota_k,\ \ k,l = 1,\dots,n. \tag{1}$$

Будем обозначать ее через $P_n(\iota)$.

Из определения следует, что алгебра $P_n(\iota)$ коммутативна, обладает единицей, и каждый ее элемент однозначно представляется в следующем *стандартном* виде:

$$p = p_0 + \sum_{t=1}^{n} \sum_{k_1<\dots<k_t} p_{k_1\dots k_t}\iota_{k_1}\dots\iota_{k_t}, \tag{2}$$

где $p_0, p_{k_1\dots k_t} \in K$. По аналогии с комплексными числами элемент p_0 будем называть *действительной частью* элемента p и обозначать через $\mathrm{Re}\,p$, а элемент $p - p_0$ *мнимой частью* элемента p и обозначать через $\mathrm{Im}\,p$. Алгебру Пименова с n образующими можно рассматривать [3] как подалгебру четной части алгебры Грассманна с $2n$ образующими. Напомним, что образующие последней, в отличие от образующих алгебры Пименова, являются антикоммутирующими [11].

Для целостных колец, т.е. коммутативных ассоциативных колец без делителей нуля, одним из важных вопросов является вопрос о факторизации элементов или, другими словами, разложении их в произведение простых множителей. *Простым элементом* называется необратимый ненулевой элемент, который не может быть представлен в виде произведения необратимых элементов. Так, в кольце целых чисел простыми элементами являются простые числа, в кольце многочленов от одной переменной — это неприводимые многочлены. Для этих колец известно, что каждый ненулевой необратимый элемент единственным образом с точностью до перестановки множителей и умножения на обратимые элементы представляется в виде произведения простых элементов.

Алгебра $P_n(\iota)$ не является целостным кольцом, в ней есть делители нуля. Тем не менее, вопрос о факторизации ее элементов тоже не являет-

ся праздным и имеет определенное значение. Например, в некоторых работах по теоретичесой физике, использующих алгебру Пименова (см. [5], [6]), возникают выражения вида ι_k/ι_k. Несмотря на то, что деление на образующие в алгебре Пименова не определено (о чем более подробно будет сказано в следующем разделе), такие выражения, что вполне естественно, полагаются равными единице. С математической точки зрения — это частный случай более широкого вопроса о решении уравнения $ax = b$ относительно x, где a и b — необратимые элементы алгебры Пименова. Данное уравнение имеет решение только в том случае, если b можно разложить на множители, одним из которых будет a.

В первом разделе мы рассматриваем обратимые элементы и операцию деления в алгебре Пименова. Во втором разделе изучаем непосредственно факторизацию элементов.

1. Операция деления в алгебре $P_n(\iota)$

Данный раздел начнем с определений.

Определение 2. *Длиной монома* $\lambda\iota_{k_1}\dots\iota_{k_t}$ назовем число t образующих элементов алгебры $P_n(\iota)$, из которых составлен моном. Будем считать, что все элементы вида $\lambda 1$, $\lambda \in K$, $\lambda \neq 0$ имеют нулевую длину.

Определение 3. *Степенью* $\deg p$ элемента $p \in P_n(\iota)$ назовем наименьшую из длин мономов, входящих в разложение (2) элемента p. Степень элемента с ненулевой вещественной частью считаем равной 0. Степень нулевого элемента положим равной $+\infty$. Элемент $p \in P_n(\iota)$ будем называть *однородным степени* t, $t \leq n$, если в его разложение входят только мономы длины t.

Вполне очевидно, что для любой пары элементов a, b из алгебры $P_n(\iota)$ справедливо неравенство

$$\deg ab \geq \deg a + \deg b. \tag{3}$$

Элемент $p \in P_n(\iota)$ называется *обратимым*, если найдется элемент $p^{-1} \in P_n(\iota)$ такой, что $pp^{-1} = p^{-1}p = 1$. Справедлива следующая теорема.

Теорема 1. *Для того, чтобы элемент $p \in P_n(\iota)$ был обратим, необходимо и достаточно, чтобы его вещественная часть была ненулевой. Если p — обратим, то p^{-1} единственным образом определяется по следующей формуле:*

$$p^{-1} = \frac{1}{\operatorname{Re} p}\sum_{m=0}^{M}\left(-\frac{\operatorname{Im} p}{\operatorname{Re} p}\right)^m, \tag{4}$$

где M — максимальная степень, при возведении в которую $\operatorname{Im} p$ не равна нулю.

Доказательство. Подробное доказательство данной теоремы для алгебры Грассманна дано в [11]. Соответственно, оно справедливо и для алгебры Пименова, как подалгебры алгебры Грассманна. Заметим также, что в более раней работе [12] правая часть формулы (4) дана в виде бесконечного степенного ряда. □

По сравнению с [11], учитывая структуру алгебры Пименова, дадим здесь более точную оценку для M. Рассмотрим произвольный элемент $p \in P_n(\iota)$. Пусть число мономов, входящих в $\operatorname{Im} p$, записанной в стандартном виде, равно μ. Тогда максимальную степень, при возведении в которую $\operatorname{Im} p$ не равна нулю, можно оценить следующим образом:

$$M \leq \min\left\{\left[\frac{n}{\deg(\operatorname{Im} p)}\right], \mu\right\}, \tag{5}$$

где [ ] обозначает целую часть числа.

Пример 1. Если $p = 2 + \iota_1 - \iota_2\iota_3$, то $M = 2$ и

$$p^{-1} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{\iota_1 - \iota_2\iota_3}{2} + \left(\frac{\iota_1 - \iota_2\iota_3}{2}\right)^2\right) = \\ = \frac{1}{2} - \frac{1}{4}\iota_1 + \frac{1}{4}\iota_2\iota_3 - \frac{1}{8}\iota_1\iota_2\iota_3.$$

Из этого примера следует, что число мономов в элементе и его обратном могут не совпадать. Но нетрудно видеть, что для любого обратимого элемента $p \in P_n(\iota)$ степени мнимых частей p и p^{-1} совпадают:

$$\deg(\operatorname{Im} p) = \deg(\operatorname{Im} p^{-1}). \tag{6}$$

Теперь выпишем в явном виде выражения некоторых коэффициентов при мономах в обратном элементе через коэффициенты при мономах в самом элементе. Пусть дан элемент a и мы ищем его обратный элемент b. Рассмотрим равенство:

$$(a_0 + \dots + a_{1\dots n}\iota_1\dots\iota_n)(b_0 + \dots + b_{1\dots n}\iota_1\dots\iota_n) = 1.$$

Два элемента алгебры $P_n(\iota)$ равны тогда и только тогда, когда коэффициенты в их разложении (2) перед соответствующими мономами равны. Перемножая скобки в левой части вышеприведенного равенства и приравнивая коэффициенты при соответствующих мономах $\iota_{k_1}\dots\iota_{k_t}$, получаем систему из 2^n линейных уравнений от 2^n неизвестных. При перемножении элементов из $P_n(\iota)$ их вещественные части перемножаются, т.е. $\operatorname{Re} ab = \operatorname{Re} a \operatorname{Re} b$. Если a_0 не равен 0, то он обратим и из равенства $a_0b_0 = 1$ мы однозначно находим:

$$b_0 = \frac{1}{a_0}\ . \tag{7}$$

Далее, после перемножения скобок в левой части равенства при образующей ι_k будет стоять коэффициент $c_k = a_0b_k + a_kb_0$. Из уравнения $c_k = 0$ однозначно получаем:

$$b_k = -\frac{a_kb_0}{a_0} = -\frac{a_k}{a_0^2}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \tag{8}$$

На следующем шаге определяем коэффициенты $b_{k_1k_2}$ с двухзначными нижними индексами. Нетрудно заметить, что каждый из них однозначно выражается в виде дроби, в знаменателе которой стоит a_0, а в числителе выражение от уже известных коэффициентов:

$$b_{k_1k_2} = -\frac{a_{k_1}b_{k_2} + a_{k_2}b_{k_1} + a_{k_1k_2}b_0}{a_0} = \\ = \frac{2a_{k_1}a_{k_2} - a_0a_{k_1k_2}}{a_0^3}. \tag{9}$$

Аналогично, с помощью уже вычисленных коэффициентов находим коэффициенты с тремя нижними

индексами:

$$b_{k_1k_2k_3} = \frac{2a_0(a_{k_1}a_{k_2k_3} + a_{k_2}a_{k_1k_3} + a_{k_3}a_{k_1k_2})}{a_0^4} - \\ - \frac{6a_{k_1}a_{k_2}a_{k_3} + a_0^2 a_{k_1k_2k_3}}{a_0^4}; \quad (10)$$

и так далее.

По определению вопрос о делении в алгебре $P_n(\iota)$ эквивалентен вопросу о решении уравнения

$$ax = b, \quad a, b \in P_n(\iota). \quad (11)$$

Утверждение 1. *Если элемент a — обратим, то уравнение (11) имеет единственное решение $x = a^{-1}b$. Если b — обратим, a — необратим, то (11) решений не имеет. Если a и b — необратимые, одновременно не равные нулю элементы, то решение может как существовать, так и не существовать. Решение может быть не единственным, причем решения либо все обратимы, либо все необратимы.*

Доказательство. Пусть $ac = b$ и $ac_1 = b$, где a — обратим. Тогда отсюда следует, что $c = c_1 = a^{-1}b$.

Вещественная часть произведения двух элементов равна произведению их вещественных частей. Поэтому, если a — необратим, то вещественная часть элемента ax будет нулевой и уравнение $ax = b$, где b — обратим, решений не имеет.

Пусть a и b — необратимы. Если x — решение уравнения $ax = b$, то $x + \lambda\iota_1\iota_2\ldots\iota_n$, $\lambda \in K$ также является решением этого уравнения. Если x — обратим, то $\deg a = \deg b$. А если x — необратим, то $\deg b > \deg a$. Отсюда следует, что либо все решения уравнения $ax = b$ обратимы, либо все они необратимы.

Уравнение $\iota_k x = \iota_k + \iota_k\iota_l$ имеет решение $x = 1 + \iota_l$. Уравнение $\iota_k\iota_l x = \iota_k$ решений не имеет. Действительно, если бы решение существовало, то в силу (3) должно выполняться неравенство $\deg \iota_k \geq \deg \iota_k\iota_l + \deg x$, что, очевидно, неверно. □

Разрешимость уравнения (11) в случае, когда a и b необратимы тесно связана с вопросом о разложении необратимых элементов алгебры Пименова на простые множители, который мы рассмотрим в следующем разделе.

2. Разложение на простые множители

Определение 4. По аналогии с целостными кольцами, *простым элементом* в алгебре $P_n(\iota)$ назовем ненулевой необратимый элемент, который не может быть представлен в виде произведения необратимых элементов.

С помощью формулы (3) легко показать, что каждый ненулевой необратимый элемент алгебры $P_n(\iota)$ раскладывается в произведение конечного числа простых элементов. О единственности разложения речи, разумеется, не идет. Например, $(\iota_1 + \iota_2) \cdot \iota_2 = \iota_1 \cdot \iota_2$ — есть два различных способа разложения на простые множители одного и того же элемента $\iota_1\iota_2$.

Из формулы (3) следует, что простыми элементами в $P_n(\iota)$ являются все элементы первой степени. Рассмотрим вопрос, есть ли в $P_n(\iota)$ простые элементы, отличные от элементов первой степени.

Теорема 2. *В алгебрах Пименова $P_2(\iota)$ и $P_3(\iota)$ простыми элементами являются только элементы первой степени.*

Доказательство. Если элемент в $P_2(\iota)$ необратим и его степень отлична от 1, то он является мономом $p = \lambda\iota_1\iota_2$, который, очевидно, не прост.

Если элемент из $P_3(\iota)$ необратим и его степень больше 1, то он имеет следующий вид:

$$p = \alpha\iota_1\iota_2 + \beta\iota_1\iota_3 + \gamma\iota_2\iota_3 + \delta\iota_1\iota_2\iota_3, \quad \alpha, \beta, \gamma, \delta \in K. \quad (12)$$

Рассмотрим сначала его однородную часть второй степени, т.е. элемент

$$f = \alpha\iota_1\iota_2 + \beta\iota_1\iota_3 + \gamma\iota_2\iota_3, \quad \alpha, \beta, \gamma \in K.$$

Очевидно, что, если f — разложим, то его можно представить в виде произведения однородных элементов первой степени:

$$f = (a_1\iota_1 + a_2\iota_2 + a_3\iota_3)(b_1\iota_1 + b_2\iota_2 + b_3\iota_3). \quad (13)$$

Один из коэффициентов, скажем a_1, можно выбрать равным 1. Раскрывая в (13) скобки и приравнивая коэффициенты, получаем систему:

$$\begin{cases} b_2 + a_2b_1 = \alpha, \\ b_3 + a_3b_1 = \beta, \\ a_2b_3 + a_3b_2 = \gamma. \end{cases}$$

Принимая $a_3 = a$ и $b_1 = b$ за параметры и выражая через них остальные коэффициенты, получаем:

$$a_2 = \frac{\gamma - a\alpha}{\beta - 2ab}, \quad b_2 = \frac{\alpha\beta - b\gamma - ab\alpha}{\beta - 2ab}, \quad b_3 = \beta - ab.$$

Таким образом, элемент f является разложимым. Из этого разложения легко получить и разложение элемента p, добавив, например, во второй сомножитель слагаемое $\delta\iota_2\iota_3$. Таким образом, любой элемент в $P_3(\iota)$, степень которого больше 1, не является простым. □

Пример 2. Если $\beta \neq 0$, то полагая $a = b = 0$, получаем:

$$\alpha\iota_1\iota_2 + \beta\iota_1\iota_3 + \gamma\iota_2\iota_3 + \delta\iota_1\iota_2\iota_3 = \\ = (\iota_1 + \frac{\gamma}{\beta}\iota_2)(\alpha\iota_2 + \beta\iota_3 + \delta\iota_2\iota_3).$$

Первым примером алгебры Пименова, в которой есть нетривиальные простые элементы, является алгебра $P_4(\iota)$.

Лемма 1. *В $P_4(\iota)$ среди однородных элементов второй степени простыми являются только элементы следующих двух видов:*

1) $\alpha\iota_a\iota_b + \beta\iota_a\iota_c + \gamma\iota_b\iota_d, \quad \alpha, \beta, \gamma \neq 0$;

2) $\alpha\iota_a\iota_b + \beta\iota_a\iota_c + \gamma\iota_b\iota_d + \delta\iota_c\iota_d, \quad \alpha\beta\gamma\delta < 0$,

где все индексы a, b, c, d различны и принимают значения от 1 до 4.

Доказательство. Однородный элемент 2-й степени в $P_4(\iota)$ имеет следующий общий вид:

$$p = \alpha\iota_1\iota_2 + \beta\iota_1\iota_3 + \gamma\iota_1\iota_4 + \delta\iota_2\iota_3 + \rho\iota_2\iota_4 + \sigma\iota_3\iota_4. \quad (14)$$

Очевидно, что если p разложим, то его можно представить в виде произведения однородных элементов 1-й степени:

$$p = \left(\sum_{s=1}^{4} a_s \iota_s\right)\left(\sum_{t=1}^{4} b_t \iota_t\right). \qquad (15)$$

Раскрывая в данном равенстве скобки и приравнивая коэффициенты, получаем систему:

$$\begin{cases} a_1b_2 + a_2b_1 = \alpha, \\ a_1b_3 + a_3b_1 = \beta, \\ a_1b_4 + a_4b_1 = \gamma, \\ a_2b_3 + a_3b_2 = \delta, \\ a_2b_4 + a_4b_2 = \rho, \\ a_3b_4 + a_4b_3 = \sigma. \end{cases} \qquad (16)$$

Однородные элементы 2-й степени, состоящие из двух мономов, можно разбить на два класса. Первый класс — это элементы, оба монома которых содержат одну и ту же образующую. Такие элементы, очевидно, разложимы.

Второй класс — это элементы, в которых одна и та же образующая присутствует ровно в одном мономе, т.е. элементы вида:

$$p = \alpha\iota_1\iota_2 + \sigma\iota_3\iota_4.$$

Очевидно, что если такой элемент представим в виде (15), то один из коэффициентов, скажем a_1, можно принять равным 1. Тогда, принимая коэффициенты $a_3 = a$ и $b_1 = b$ за параметры, для данного элемента p находим из системы (16):

$$a_2 = \frac{\alpha}{2b}, \;\; a_4 = \frac{\sigma}{-2ab}, \;\; b_2 = \frac{\alpha}{2}, \;\; b_3 = -ab, \;\; b_4 = \frac{\sigma}{2a}.$$

Таким образом, элемент $p = \alpha\iota_1\iota_2 + \sigma\iota_3\iota_4$ является разложимым. Заметим, что из его разложения можно получить нетривиальное разложения и для отдельного монома, занулив один из коэффициентов α или σ.

Однородные элементы 2-й степени, состоящие из трех мономов, можно разбить на три класса. Первый класс — это элементы, все мономы которых содержат одну и ту же образующую. Такие элементы, очевидно, разложимы.

Второй класс — это элементы, в которых одна и та же образующая присутствует ровно в двух мономах, т.е. элементы вида:

$$p = \alpha\iota_1\iota_2 + \beta\iota_1\iota_3 + \delta\iota_2\iota_3.$$

В силу теоремы 2, они тоже разложимы.

Третий класс — это элементы, в мономы которых две образующие входят по два раза и две по одному, т.е элементы вида

$$p = \alpha\iota_1\iota_2 + \beta\iota_1\iota_3 + \rho\iota_2\iota_4. \qquad (17)$$

В предположении, что $a_3 = 1$, система (16) примет для них вид:

$$\begin{cases} a_1b_2 + a_2b_1 = \alpha, \\ a_1b_3 + b_1 = \beta, \\ a_1b_4 + a_4b_1 = 0, \\ a_2b_3 + b_2 = 0, \\ a_2b_4 + a_4b_2 = \rho, \\ b_4 + a_4b_3 = 0. \end{cases} \qquad (18)$$

Из 2, 4 и 6-го уравнений находим:

$$b_1 = \beta - a_1b_3, \;\; b_2 = -a_2b_3, \;\; b_4 = -a_4b_3. \qquad (19)$$

Подставляя эти выражения в 5-е уравнение, получаем $-2a_2a_4b_3 = \rho$. Так как $\rho \neq 0$, то отсюда следует, что $a_4 \neq 0$. Подставляя (19) в 3-е уравнение, получаем $a_4(\beta - 2a_1b_3) = 0$. Так как $a_4 \neq 0$, то $\beta - 2a_1b_3 = 0$. Подставляя (19) в 1-е уравнение, получаем $a_2(\beta - 2a_1b_3) = \alpha$. Отсюда следует, что $\alpha = 0$. Пришли к противоречию. Следовательно, система (18) не совместна и элемент (17) является простым.

Рассмотрим теперь однородные элементы второй степени, состоящие из четырех и более мономов. Заметим, что если в таких элементах какая-нибудь из образующих входит ровно в три монома, то эти элементы не являются простыми. Например, если в представлении (14) коэффициенты α, β и γ при мономах, в которые входит ι_1, не равны нулю, то справедливо равенство

$$p = (\iota_1 + \frac{\gamma\delta - \alpha\rho + \sigma\beta}{2\beta\gamma}\iota_2 + \frac{\gamma\delta + \alpha\rho - \sigma\beta}{2\alpha\gamma}\iota_3 + \\ + \frac{-\gamma\delta + \alpha\rho + \sigma\beta}{2\alpha\beta}\iota_4)(\alpha\iota_2 + \beta\iota_3 + \gamma\iota_4).$$

Аналогичные формулы справедливы в случае, когда отличны от нуля коэффициенты при мономах, в которые входят образующие ι_2, ι_3, ι_4. Под эту категорию автоматически попадают однородные элементы 2-й степени, содержащие 5 и 6 мономов.

Рассмотрим теперь однородные элементы 2-й степени, состоящие из четырех мономов, такие, что каждая из образующих входит ровно в два монома:

$$p = \alpha\iota_1\iota_2 + \beta\iota_1\iota_3 + \rho\iota_2\iota_4 + \sigma\iota_3\iota_4. \qquad (20)$$

В предположении, что $a_1 = 1$, система (16) перепишется для них в виде:

$$\begin{cases} b_2 + a_2b_1 = \alpha, \\ b_3 + a_3b_1 = \beta, \\ b_4 + a_4b_1 = 0, \\ a_2b_3 + a_3b_2 = 0, \\ a_2b_4 + a_4b_2 = \rho, \\ a_3b_4 + a_4b_3 = \sigma. \end{cases} \qquad (21)$$

Принимая коэффициенты $a_3 = a$ и $b_1 = b$ за параметры, из системы (21) находим, что $\beta - 2ab \neq 0$ и

$$a_2 = \frac{-a\alpha}{\beta - 2ab}, \;\; a_4 = \frac{\sigma}{\beta - 2ab}, \;\; b_2 = \frac{\alpha(\beta - ab)}{\beta - 2ab}, \\ b_3 = \beta - ab, \;\; b_4 = \frac{-b\sigma}{\beta - 2ab}.$$

Подставляя найденные значения в пятое уравнение системы (21), получаем уравнение

$$\frac{\alpha\beta\sigma}{(\beta-2ab)^2}=\rho. \tag{22}$$

Отсюда видно, что для совместности системы (21) необходимо, чтобы величины $\alpha\beta\sigma$ и ρ имели одинаковые знаки, что равносильно неравенству

$$\alpha\beta\rho\sigma>0. \tag{23}$$

Если условие (23) не выполняется, то система (21) не совместна и элемент (20) является простым. Если же условие (23) выполняется, то тогда $\frac{\alpha\beta\sigma}{\rho}>0$ и из (22) получаем еще одно условие на параметры a и b:

$$\beta-2ab=\pm\sqrt{\frac{\alpha\beta\sigma}{\rho}}. \tag{24}$$

Подбирая a и b, удовлетворяющие (24), получаем разложение элемента (20) на нетривиальные простые множители. Тем самым лемма полностью доказана. □

Рассмотрим в $P_4(\iota)$ произвольный элемент вида:

$$u=a_1\iota_1+a_2\iota_2+a_3\iota_3+a_4\iota_4,\quad a_i\in K, \tag{25}$$

у которого среди коэффициентов a_i есть три ненулевые.

Лемма 2. *Для любого однородного элемента третьей степени*

$$w=\alpha\iota_1\iota_2\iota_3+\beta\iota_1\iota_2\iota_4+\gamma\iota_1\iota_3\iota_4+\delta\iota_2\iota_3\iota_4,$$

$\alpha,\beta,\gamma,\delta\in K$, *найдется однородный элемент второй степени*

$$v=b_1\iota_1\iota_2+b_2\iota_1\iota_3+b_3\iota_1\iota_4+b_4\iota_2\iota_3+b_5\iota_2\iota_4+b_6\iota_3\iota_4,$$

$b_j\in K$, *такой, что*

$$w=uv. \tag{26}$$

Доказательство. Предположим для определенности, что $a_1a_2a_3\neq 0$. Приравнивая коэффициенты в равенстве (26), получаем систему:

$$\begin{cases} a_1b_4+a_2b_2+a_3b_1=\alpha,\\ a_1b_5+a_2b_3+a_4b_1=\beta,\\ a_1b_6+a_3b_3+a_4b_2=\gamma,\\ a_2b_6+a_3b_5+a_4b_4=\delta.\end{cases} \tag{27}$$

Матрица данной системы относительно переменных $b_1,\dots,b_6$ имеет вид:

$$A=\begin{pmatrix} a_3 & a_2 & 0 & a_1 & 0 & 0\\ a_4 & 0 & a_2 & 0 & a_1 & 0\\ 0 & a_4 & a_3 & 0 & 0 & a_1\\ 0 & 0 & 0 & a_4 & a_3 & a_2\end{pmatrix}. \tag{28}$$

Ее ранг равен 4, так как определитель матрицы, составленной из первого, третьего, пятого и шестого столбцов матрицы A, не равен 0:

$$\begin{vmatrix} a_3 & 0 & 0 & 0\\ a_4 & a_2 & a_1 & 0\\ 0 & a_3 & 0 & a_1\\ 0 & 0 & a_3 & a_2\end{vmatrix}=-2a_1a_2a_3^2.$$

Таким образом, система (27) совместна.

Аналогично можно доказать данное предложение в случае, если не равны нулю другие три коэффициента a_i. □

Рассмотрим теперь общий случай.

Теорема 3. *В $P_4(\iota)$ простыми являются только следующие элементы:*

1) *элементы первой степени;*
2) *элементы, которые после приведения к стандартному виду можно представить как $p=q+r$, где r — элемент степени больше 2, а q — элемент одного из следующих видов:*
   (а) $\alpha\iota_a\iota_b+\beta\iota_a\iota_c+\gamma\iota_b\iota_d,\quad \alpha,\beta,\gamma\neq 0$;
   (б) $\alpha\iota_a\iota_b+\beta\iota_a\iota_c+\gamma\iota_b\iota_d+\delta\iota_c\iota_d,\quad \alpha\beta\gamma\delta<0$,
   где все индексы a,b,c,d различны и принимают значения от 1 до 4.

Доказательство. Из определения степени и свойства (3) следует, что все элементы первой степени являются простыми. Пусть $p\in P_4(\iota)$ — произвольный элемент, степень которого больше 1. Его однозначно можно представить в следующем виде:

$$p=q+r+\theta\iota_1\iota_2\iota_3\iota_4,$$

где q — однородный элемент второй степени, а r — однородный элемент третьей степени. Очевидно, что для того, чтобы p был разложимым элементом, необходимо, чтобы q был разложимым элементом или нулевым. Отсюда и из леммы 1 следует, что указанные в пункте 2) теоремы элементы являются простыми.

Покажем, что все остальные необратимые элементы в $P_4(\iota)$ являются разложимыми. Пусть $q\neq 0$ и $q=ts$ — его разложение на простые однородные множители 1-й степени. Анализируя леммы 1 и 2, нетрудно видеть, что один из множителей t или s всегда можно выбрать в виде (25). Пусть это будет t. Тогда в силу леммы 2, найдется однородный элемент второй степени z такой, что $tz=r$. Предположим теперь, что в t в качестве одного из слагаемых входит элемент $\alpha\iota_1$. Тогда нетрудно видеть, что представление

$$p=t(s+z+\frac{\theta}{\alpha}\iota_2\iota_3\iota_4) \tag{29}$$

является одним из разложений элемента p на простые множители 1-й степени. Аналогично, если в t в качестве слагаемых входят другие образующие. Если $q=0$, то, опять же, в силу леммы 2, элемент p можно представить в виде (29) только без слагаемого s во втором множителе. □

Вернемся еще раз к решению уравнения (11) в случае, когда a и b — необратимые элементы. Если $\deg a=\deg b$, то данное уравнение имеет решение только в случае, если a и b отличаются на обратимый множитель, например, $a=\iota_1$, $b=\iota_1+\iota_1\iota_2=a(1+\iota_2)$. Если же $\deg b>\deg a$, то данное уравнение имеет решение только в случае, когда b — не простой, и одним из его сомножителей при факторизации является a. Например, если a — элемент первой степени, а b — один из элементов второй степени, указанных в теореме 3, то (11) решения не имеет.

Заключение

В данной работе мы рассмотрели простые элементы в алгебрах Пименова с числом образующих не более четырех. Что касается алгебр Пименова с большим числом образующих, то нетрудно видеть, что если элемент d прост в алгебре $P_m(\iota)$, то он также будет простым и в любой алгебре $P_n(\iota)$, где $n > m$. Отсюда, с учетом теоремы 3, следует, что в алгебрах $P_n(\iota)$, $n > 4$ есть простые элементы степени 2. Интересно было бы рассмотреть общий случай и выяснить, каковы другие возможные степени простых элементов алгебр Пименова.

Полученные результаты могут быть полезны при разработке алгоритмов разложения элементов алгебры Пименова на простые множители.

Автор выражает благодарность Н.А. Громову за обсуждение материала и полезные замечания.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-П-1-1013.

Литература

1. *Пименов Р.И.* Аксиоматическое исследование пространственно-временных структур // Тр. III-го Всесоюзн. матем. съезда. Т.4. М., 1959. С. 78–79.
2. *Пименов Р.И.* Единая аксиоматика пространств с максимальной группой движений // Литовский матем. сборник. 1965. Т.5. № 3. С. 457–476.
3. *Громов Н.А.* Контракции и аналитические продолжения классических групп. Единый подход. Сыктывкар, 1990. 220 с.
4. *Gromov N.A., Kostyakov I.V., Kuratov V.V.* Quantum orthogonal Cayley-Klein groups in Cartesian basis // Int.J.Mod.Phys.A. 1997. Vol.12. № 1. P. 33–41. (q-alg/9610011).
5. *Громов Н.А.* Возможные контракции группы $SU(2) \times U(1)$ // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2010. Вып. 1. С. 5–10.
6. *Gromov N.A.* Possible quantum kinematics. II. Nonminimal case // J. Math. Phys. 2010. V. 51. № 8. З. 083515-1-12; arXiv:1001.3978v1.
7. *Диментберг Ф.М.* Винтовое исчисление и его приложения в механике. М.: Наука, 1965. 200 с.
8. *Дуплий С.А.* Нильпотентная механика и суперсимметрия // Проблемы ядерной физики и космических лучей. Вып. 30. Харьков: Выща школа, 1988. С. 41–48.
9. *Кисиль В.В.* Индуцированные представления группы $SL_2(\mathrm{R})$ и гиперкомплексные числа // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2011. Вып. 1(5). С. 4–10.
10. *Сатаров Ж.С.* Определяющие соотношения классической унитарной группы над кольцом дуальных чисел // Изв. вузов. Математика. 1995. № 6. С. 74–81.
11. *Browne J.* Grassmann Algebra. Quantica Publishing, Melbourne, Australia, 2009.
12. *DeWitt B.* Supermanifolds. Cambridge University Press, 1992.

Статья поступила в редакцию 01.10.2012.

УДК 519.2

О ПРЕДЕЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ СИНГУЛЯРНЫХ ЧИСЕЛ ПРОИЗВЕДЕНИЙ СТЕПЕНЕЙ ПРОРЕЖЕННЫХ СЛУЧАЙНЫХ МАТРИЦ

Д.А. ТИМУШЕВ, А.Н. ТИХОМИРОВ

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

Рассматриваются произведения степеней прореженных случайных матриц с независимыми элементами. Показано, что при выполнении условия Линдеберга для элементов матриц ожидаемая эмпирическая функция распределения сингулярных чисел произведения степеней матриц сходится к некоторому распределению.

Ключевые слова: **случайная матрица, распределение Марченко-Пастура, числа Фусса-Каталана**

A.N. TIKHOMIROV, D.A. TIMUSHEV. **ON THE ASYMPTOTIC DISTRIBUTION OF SINGULAR VALUES OF POWERS PRODUCTS OF SPARSE RANDOM MATRICES**

We consider products of powers of sparse random matrices with mutually independent entries. We prove that the expected empirical distribution of singular values of the products converges to some distribution assuming that the Lindeberg condition for the matrix entries is fulfilled.

Key words: **random matrix, Marchenko-Pastur law, Fuss-Catalan numbers**

Введение

Асимптотическое поведение спектра произведений и степеней случайных матриц рассматривалось в ряде работ последних десяти лет. В частности, поведение собственных и сингулярных чисел произведения гауссовских матриц изучалось в [4, 6]. Общему случаю произведения негауссовских матриц посвящены работы [1, 5]. Асимптотическое поведение сингулярных чисел степени одной матрицы исследовалось в [7]. Нас в данной статье будет интересовать асимптотическое поведение распределения сингулярных чисел произведения степеней случайных матриц.

Пусть $m \geqslant 1$ обозначает некоторое фиксированное натуральное число. Рассмотрим целые числа $p_1, \ldots, p_m \geqslant 1$. Положим $l := p_1 + \ldots + p_m$. Пусть далее $X_{jk}^{(q)}$, $1 \leqslant j, k \leqslant n$, $q = 1, \ldots, m$ обозначают независимые (возможно комплексные) случайные величины со средним $\mathbf{E}\, X_{jk}^{(q)} = 0$ и дисперсией $\mathbf{E}\, |X_{jk}^{(q)}|^2 = 1$, определенные на одном вероятностном пространстве $\{\Omega_n, \mathbb{F}_n, \Pr\}$. Введем в рассмотрение матрицы $\mathbf{X}^{(q)}$ размера $n \times n$ с элементами $[\mathbf{X}^{(q)}]_{jk} = \frac{1}{\sqrt{n}} X_{jk}^{(q)}$, $1 \leqslant j, k \leqslant n$. Обозначим $s_1 \geqslant \ldots \geqslant s_n$ сингулярные числа матрицы $\mathbf{W} := \prod_{q=1}^{m} (\mathbf{X}^{(q)})^{p_q}$ и определим эмпирическую функцию распределения их квадратов:

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

Здесь и далее $\mathbb{I}\{B\}$ обозначает индикатор события B. В работе Алексеева, Гётце и Тихомирова [7], для случая степени одной матрицы, $m = 1$, показано, что если вторые моменты элементов X_{jk} удовлетворяют условию типа Линдеберга, то ожидаемая спектральная функция распределения $F_n(x) = \mathbf{E}\, \mathcal{F}_n(x)$ сходится к функции распределения $G^{(l)}(x)$, преобразование Стилтьеса которой $s^{(l)}(z)$ удовлетворяет уравнению

$$1 + z s^{(l)}(z) + (-1)^{l+1} z^l (s^{(l)}(z))^{l+1} = 0. \qquad (1)$$

Мы докажем аналогичный результат для распределения сингулярных чисел произведения степеней случайных матриц.

Рассмотрим расстояние Колмогорова между функциями распределения $G^{(l)}(x)$ и $F_n(x)$:

$$\Delta_n^{(l)} := \sup_x \left| G^{(l)}(x) - F_n(x) \right|.$$

Основным результатом данной работы является следующая теорема.

Теорема 1. *Предположим, что для всех $\tau > 0$ выполнено условие Линдеберга:*

$$L_n(\tau) := \max_{q=1,\ldots,m} \frac{1}{n^2} \sum_{j,k=1}^{n} \mathbf{E}\, |X_{jk}^{(q)}|^2 \times \mathbb{I}\{|X_{jk}^{(q)}| \geqslant \tau\sqrt{n}\} \to 0, \quad \textit{при } n \to \infty. \qquad (2)$$

Тогда

$$\lim_{n\to\infty} \Delta_n^{(l)} = 0.$$

Как следствие, мы имеем аналогичный результат для прореженных матриц. Обозначим $\varepsilon_{jk}^{(q)}$, $1 \leqslant j, k \leqslant n$, $q = 1, \ldots, m$, независимые бернуллиевские случайные величины с вероятностью успеха $\rho_n :=$

$\Pr\{\varepsilon_{jk}^{(q)} = 1\}$, независимые от $X_{jk}^{(q)}$, $1 \leqslant j,k \leqslant n$, $q = 1,\ldots,m$. Пусть $\mathbf{X}_{\varepsilon}^{(q)}$ – матрица размера $n\times n$ с элементами $\frac{1}{\sqrt{\rho_n n}}\varepsilon_{jk}^{(q)} X_{jk}^{(q)}$, $1 \leqslant j,k \leqslant n$, а $s_{\varepsilon,1} \geqslant \ldots \geqslant s_{\varepsilon,n}$ – сингулярные числа матрицы $\mathbf{W}_{\varepsilon} := \prod_{q=1}^{m}(\mathbf{X}_{\varepsilon}^{(q)})^{p_q}$. Рассмотрим эмпирическую функцию распределения

$$\mathcal{F}_{\varepsilon,n}(x) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\mathbb{I}\{s_{\varepsilon,j}^2 \leqslant x\}$$

и ее математическое ожидание $F_{\varepsilon,n}(x) = \mathbf{E}\,\mathcal{F}_{\varepsilon,n}(x)$. Обозначим расстояние Колмогорова между функциями распределения $G^{(l)}(x)$ и $F_{\varepsilon,n}(x)$

$$\Delta_{\varepsilon,n}^{(l)} := \sup_x \left|G^{(l)}(x) - F_{\varepsilon,n}(x)\right|.$$

Следствие 1. *Предположим, что для всех $\tau > 0$ выполнено условие Линдеберга:*

$$L_n(\tau) := \max_{q=1,\ldots,m}\frac{1}{n^2}\sum_{j,k=1}^{n}\mathbf{E}\,|X_{jk}^{(q)}|^2 \times \mathbb{I}\{|X_{jk}^{(q)}| \geqslant \tau\sqrt{n\rho_n}\} \to 0, \quad \textit{при } n\to\infty.$$

Тогда

$$\lim_{n\to\infty}\Delta_{\varepsilon,n}^{(l)} = 0.$$

Доказательство теоремы 1 проводится по той же схеме, что и доказательство соответствующей теоремы уже упомянутой работы Алексеева, Гётце и Тихомирова [7]. Сначала проводятся процедуры симметризации и усечения случайных величин. Далее показывается, что в пределе ожидаемая эмпирическая функция распределения квадратов сингулярных чисел произведения степеней случайных матриц с усеченными элементами ведет себя так же, как и ожидаемая эмпирическая функция распределения квадратов сингулярных чисел произведения степеней матриц с гауссовскими элементами (универсальность предельного распределения). Наконец, как показано в работах [1], [3], матрицы с гауссовскими величинами являются асимптотически свободными, а следовательно, асимптотически свободными являются и их степени. Поэтому предел эмпирической функции распределения квадратов сингулярных чисел произведения степеней матриц с гауссовскими элементами существует, и его преобразование Стилтьеса удовлетворяет уравнению (**??**). Мы более подробно остановимся на первых двух этапах доказательства. В оставшейся части работы мы договоримся опускать символ l в обозначениях, если это не будет вызывать путаницы.

1. Вспомогательные результаты

В этом разделе мы опишем процедуру симметризации одностороннего распределения, которая позволит нам перейти к рассмотрению уже эрмитовых матриц, а также проведем усечение элементов матрицы $\mathbf{X}^{(q)}$.

1.1. Симметризация

Рассмотрим неотрицательную случайную величину ξ^2 с функцией распределения $F(x)$. Определим новую случайную величину $\widetilde{\xi} := \varepsilon\xi$, где ε обозначает радемахеровскую случайную величину, $\Pr\{\varepsilon = \pm 1\} = 1/2$, независимую от ξ. Пусть $\widetilde{F}(x)$ – функция распределения случайной величины $\widetilde{\xi}$. Тогда очевидно, что

$$\widetilde{F}(x) = \frac{1}{2}\big(1 + \mathrm{sgn}\{x\}\,F(x^2)\big). \tag{3}$$

Лемма 1. *Для любых односторонних функций распределения $F(x)$ и $G(x)$ имеет место равенство*

$$\sup_{x\geqslant 0}|F(x) - G(x)| = 2\sup_x|\widetilde{F}(x) - \widetilde{G}(x)|,$$

где $\widetilde{F}(x)$ и $\widetilde{G}(x)$ – симметризации функций $F(x)$ и $G(x)$ соответственно.

Доказательство. Из равенства (3) следует, что для всех $x \geqslant 0$

$$F(x) = 2\widetilde{F}(\sqrt{x}) - 1,$$
$$G(x) = 2\widetilde{G}(\sqrt{x}) - 1.$$

Поэтому

$$\sup_{x\geqslant 0}|F(x) - G(x)| = 2\sup_{x\geqslant 0}|\widetilde{F}(\sqrt{x}) - \widetilde{G}(\sqrt{x})| = 2\sup_x|\widetilde{F}(x) - \widetilde{G}(x)|.$$

Лемма доказана. □

Применим эту лемму к распределению квадратов сингулярных чисел матрицы $\mathbf{W}$. Введем в рассмотрение матрицы

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix}\mathbf{W} & \mathbf{O}\\ \mathbf{O} & \mathbf{W}^*\end{pmatrix}, \quad \mathbf{J} = \begin{pmatrix}\mathbf{O} & \mathbf{I}_n\\ \mathbf{I}_n & \mathbf{O}\end{pmatrix}, \quad \text{и} \quad \mathbf{U} = \mathbf{V}\mathbf{J},$$

где $\mathbf{I}_n$ – единичная матрица порядка n, $\mathbf{O}$ – матрица с нулевыми элементами. Заметим, что матрица $\mathbf{U}$ эрмитовая, причем ее собственными числами являются числа $-s_1,\ldots,-s_n,s_n,\ldots,s_1$. Заметим также, что симметризация $\widetilde{\mathcal{F}}_n(x)$ функции распределения $\mathcal{F}_n(x)$ является эмпирической функцией распределения собственных чисел матрицы $\mathbf{U}$. В соответствии с леммой 1, имеем

$$\Delta_n := \sup_x|F_n(x) - G(x)| = 2\sup_x|\widetilde{F}_n(x) - \widetilde{G}(x)| =: 2\widetilde{\Delta}_n.$$

Таким образом, для доказательства теоремы 1 нам достаточно показать, что $\lim_{n\to\infty}\widetilde{\Delta}_n = 0$. Везде далее мы будем рассматривать только симметризованные функции распределения, опуская символ "$\widetilde{\ }$" в соответствующих обозначениях.

1.2. Усечение

Нетрудно убедиться в том, что $L_n(\tau)$ – неубывающая по τ функция и, кроме того, $\lim_{n\to\infty}L_n(\tau) = 0$ для всех $\tau > 0$. Поэтому всегда можно построить последовательность $\tau_n \to 0$, удовлетворяющую условиям

$$\lim_{n\to\infty}L_n(\tau_n) = 0 \tag{4}$$

и

$$\lim_{n\to\infty}\tau_n^{-2}L_n(\tau_n) = 0. \tag{5}$$

Введем новые случайные величины $X_{jk}^{(q,c)} = X_{jk}^{(q)}\mathbb{I}\{|X_{jk}^{(q)}| \leqslant c\tau_n\sqrt{n}\}$, $\widehat{X}_{jk}^{(q,c)} = X_{jk}^{(q,c)} - \mathbf{E}\,X_{jk}^{(q,c)}$. Пусть

$\sigma_{qjk}^2 = \mathbf{E}\,|\widehat{X}_{jk}^{(q,c)}|^2$. Тогда имеет место неравенство

$$\frac{1}{n^2}\sum_{j,k=1}^{n}(1-\sigma_{qjk}^2) \leqslant CL_n(\tau_n). \qquad (6)$$

Рассмотрим матрицы $\mathbf{X}^{(q,c)}$, $\widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}$ с элементами $[\mathbf{X}^{(q,c)}]_{jk} = \frac{1}{\sqrt{n}}X_{jk}^{(q,c)}$, $[\widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}]_{jk} = \frac{1}{\sqrt{n}}\widehat{X}_{jk}^{(q,c)}$, и определим для них соответствующие $\mathbf{W}$, $\mathbf{V}$, $\mathbf{U}$ и $\mathbf{R}$, где символ $\mathbf{R}$ обозначает резольвенту соответствующей эрмитовой матрицы: $\mathbf{R} := (\mathbf{U} - z\mathbf{I})^{-1}$. Пусть $s_1^{(c)} \geqslant \ldots \geqslant s_n^{(c)}$ и $\widehat{s}_1^{(c)} \geqslant \ldots \geqslant \widehat{s}_n^{(c)}$ – сингулярные числа матриц $\mathbf{W}^{(c)}$ и $\widehat{\mathbf{W}}^{(c)}$ соответственно. Определим также эмпирические функции распределения собственных чисел эрмитовых матриц $\mathbf{U}^{(c)}$ и $\widehat{\mathbf{U}}^{(c)}$:

$$\mathcal{F}_n^{(c)}(x) = \frac{1}{2n}\sum_{k=1}^{n}\mathbb{I}\{s_k^{(c)} \leqslant x\} + \frac{1}{2n}\sum_{k=1}^{n}\mathbb{I}\{-s_k^{(c)} \leqslant x\},$$
$$\widehat{\mathcal{F}}_n^{(c)}(x) = \frac{1}{2n}\sum_{k=1}^{n}\mathbb{I}\{\widehat{s}_k^{(c)} \leqslant x\} + \frac{1}{2n}\sum_{k=1}^{n}\mathbb{I}\{-\widehat{s}_k^{(c)} \leqslant x\}.$$

Наконец, пусть $s_n(z)$, $s_n^{(c)}(z)$ и $\widehat{s}_n^{(c)}(z)$ обозначают преобразования Стилтьеса ожидаемых спектральных функций распределения $F_n(x)$, $F_n^{(c)}(x) := \mathbf{E}\,\mathcal{F}_n^{(c)}(x)$ и $\widehat{F}_n^{(c)}(x) = \mathbf{E}\,\widehat{\mathcal{F}}_n^{(c)}(x)$ соответственно.

Мы вначале сравним друг с другом функции распределения $F_n(x)$ и $F_n^{(c)}(x)$. Применим ранговое неравенство (см. [2], неравенство (A.6.2))

$$\sup_x |F_n(x) - F_n^{(c)}(x)| \leqslant \frac{1}{n}\mathbf{E}\,\mathrm{rank}(\mathbf{V} - \mathbf{V}^{(c)}). \qquad (7)$$

Несложно убедиться, что

$$\mathrm{rank}(\mathbf{V} - \mathbf{V}^{(c)}) \leqslant 2\,\mathrm{rank}(\mathbf{W} - \mathbf{W}^{(c)}) \leqslant 2l \max_{1\leqslant q\leqslant m}\mathrm{rank}(\mathbf{X}^{(q)} - \mathbf{X}^{(q,c)}).$$

Так как ранг матрицы не больше числа ненулевых элементов, то имеем неравенство

$$\mathbf{E}\,\mathrm{rank}(\mathbf{V} - \mathbf{V}^{(c)}) \leqslant C\max_{1\leqslant q\leqslant m}\sum_{j,k=1}^{n}\Pr\{|X_{jk}^{(q)}| \geqslant \tau_n\sqrt{n}\}$$
$$\leqslant \max_{1\leqslant q\leqslant m}\frac{1}{n\tau_n^2}\sum_{j,k=1}^{n}\mathbf{E}\,|X_{jk}^{(q)}|^2\mathbb{I}\{|X_{jk}^{(q)}| \geqslant \tau_n\sqrt{n}\}$$
$$\leqslant \frac{CnL_n(\tau_n)}{\tau_n^2}.$$

Подставляя последнее неравенство в (7), получим

$$\sup_x |F_n(x) - F_n^{(c)}(x)| \leqslant \frac{CL_n(\tau_n)}{\tau_n^2}.$$

Теперь мы сравним преобразования Стилтьеса $s_n^{(c)}(z)$ и $\widehat{s}_n^{(c)}(z)$. Во-первых, заметим, что имеют место равенства

$$s_n^{(c)}(z) = \frac{1}{2n}\mathbf{E}\,\mathrm{Tr}\,\mathbf{R}^{(c)}, \quad \widehat{s}_n^{(c)}(z) = \frac{1}{2n}\mathbf{E}\,\mathrm{Tr}\,\widehat{\mathbf{R}}^{(c)}.$$

Воспользовавшись резольвентным соотношением

$$(\mathbf{A}+\mathbf{B}-z\mathbf{I})^{-1} = (\mathbf{A}-z\mathbf{I})^{-1} - (\mathbf{A}-z\mathbf{I})^{-1}\mathbf{B}(\mathbf{A}+\mathbf{B}-z\mathbf{I})^{-1},$$

получим

$$|s_n^{(c)}(z) - \widehat{s}_n^{(c)}(z)| \leqslant \frac{1}{2n}\mathbf{E}\,|\mathrm{Tr}\,\widehat{\mathbf{R}}^{(c)}(\mathbf{V}^{(c)} - \widehat{\mathbf{V}}^{(c)})\mathbf{J}\mathbf{R}^{(c)}|. \qquad (8)$$

Введем матрицы

$$\mathbf{W}_{a,b}^{(c)} = \prod_{q=a}^{b}\big(\mathbf{X}^{(q,c)}\big)^{p_q}, \quad \widehat{\mathbf{W}}_{a,b}^{(c)} = \prod_{q=a}^{b}\big(\widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}\big)^{p_q},$$

при $a \leqslant b$, и

$$\mathbf{W}_{a,b}^{(c)} = \widehat{\mathbf{W}}_{a,b}^{(c)} = \mathbf{I},$$

при $a > b$. Тогда имеет место равенство

$$\mathbf{V}^{(c)} - \widehat{\mathbf{V}}^{(c)} = \begin{pmatrix}\mathbf{A} & \mathbf{O}\\ \mathbf{O} & \mathbf{B}\end{pmatrix},$$

где

$$\mathbf{A} = \sum_{q=1}^{m}\widehat{\mathbf{W}}_{1,q-1}^{(c)}\Big(\big(\mathbf{X}^{(q,c)}\big)^{p_q} - \big(\widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}\big)^{p_q}\Big)\mathbf{W}_{q+1,m}^{(c)}$$
$$= \sum_{q=1}^{m}\sum_{\nu=0}^{p_q-1}\widehat{\mathbf{W}}_{1,q-1}^{(c)}\big(\widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}\big)^{\nu}\big(\mathbf{X}^{(q,c)} - \widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}\big) \times \big(\mathbf{X}^{(q,c)}\big)^{p_q-1-\nu}\mathbf{W}_{q+1,m}^{(c)},$$
$$\mathbf{B} = \sum_{q=1}^{m}\widehat{\mathbf{W}}_{m-q+2,m}^{(c)*}\Big(\big(\mathbf{X}^{(m-q+1,c)*}\big)^{p_{m-q+1}} - \big(\widehat{\mathbf{X}}^{(m-q+1,c)*}\big)^{p_{m-q+1}}\Big)\mathbf{W}_{1,m-q}^{(c)*}$$
$$= \sum_{q=1}^{m}\sum_{\nu=0}^{p_{m-q+1}-1}\widehat{\mathbf{W}}_{m-q+2,m}^{(c)*}\big(\widehat{\mathbf{X}}^{(m-q+1,c)*}\big)^{\nu}\big(\mathbf{X}^{(q,c)*} - \widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)*}\big)\big(\mathbf{X}^{(m-q+1,c)*}\big)^{p_{m-q+1}-1-\nu}\mathbf{W}_{1,m-q}^{(c)*}.$$

Принимая во внимание соотношение $|\mathrm{Tr}\ \mathbf{AB}| \leqslant \|\mathbf{A}\|_2\,\|\mathbf{B}\|_2$ и (8), приходим к неравенству

$$|s_n^{(c)}(z) - \widehat{s}_n^{(c)}(z)| \leqslant \frac{C}{n}\mathbf{E}\,\|(\mathbf{V}^{(c)} - \widehat{\mathbf{V}}^{(c)})\|_2\|\mathbf{J}\mathbf{R}^{(c)}\widehat{\mathbf{R}}^{(c)}\|_2 \leqslant \frac{C}{\sqrt{n}v^2}\mathbf{E}\,\|(\mathbf{V}^{(c)} - \widehat{\mathbf{V}}^{(c)})\|_2. \qquad (9)$$

Воспользовавшись неравенством Гёльдера, получим

$$\mathbf{E}\,\|\mathbf{A}\|_2 \leqslant \sum_{q=1}^{m}\sum_{\nu=0}^{p_q-1}\mathbf{E}^{\frac{1}{2}}\|\mathbf{X}^{(q,c)} - \widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}\|_2^2 \times \mathbf{E}^{\frac{1}{2}}\|\widehat{\mathbf{W}}_{1,q-1}^{(c)}\big(\widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}\big)^{\nu}\big(\mathbf{X}^{(q,c)}\big)^{p_q-1-\nu}\mathbf{W}_{q+1,m}^{(c)}\|_2^2,$$
$$\leqslant C\sqrt{n}\sum_{q=1}^{m}\mathbf{E}^{\frac{1}{2}}\|\mathbf{X}^{(q,c)} - \widehat{\mathbf{X}}^{(q,c)}\|_2^2 = C\sqrt{n}\sum_{q=1}^{m}\|\mathbf{E}\,\mathbf{X}^{(q,c)}\|_2. \qquad (10)$$

В последнем неравенстве мы применили лемму 3. По определению величин $X_{jk}^{(q,c)}$,

$$|\mathbf{E}\,X_{jk}^{(q,c)}| = |\mathbf{E}\,X_{jk}^{(q)}\mathbb{I}\{|X_{jk}^{(q)}| \geqslant c\tau_n\sqrt{n}\}| \leqslant \frac{1}{c\tau_n\sqrt{n}}\mathbf{E}\,|X_{jk}^{(q)}|^2\mathbb{I}\{|X_{jk}^{(q)}| \geqslant c\tau_n\sqrt{n}\}.$$

Поэтому

$$\|\mathbf{E}\,\mathbf{X}^{(q,c)}\|_2^2 \leqslant \frac{C}{n}\sum_{j,k=1}^{n}|\mathbf{E}\,X_{jk}^{(q,c)}|^2 \leqslant \frac{CL_n(\tau_n)}{\tau_n^2}.$$

Подставляя это неравенство в (10), получим

$$\mathbf{E}\,\|\mathbf{A}\|_2 \leqslant C\sqrt{n}\frac{\sqrt{L_n(\tau_n)}}{\tau_n}.$$

Аналогичная оценка имеет место для блока $\mathbf{B}$. Таким образом,

$$\mathbf{E}\,\|(\mathbf{V}^{(c)} - \widehat{\mathbf{V}}^{(c)})\|_2 \leqslant C\sqrt{n}\frac{\sqrt{L_n(\tau_n)}}{\tau_n}.$$

Подставляя это неравенство в (9), имеем

$$|s_n^{(c)} - \widehat{s}_n^{(c)}(z)| \leqslant \frac{C\sqrt{L_n(\tau_n)}}{\tau_n v^2}.$$

Таким образом, матрицы $\mathbf{W}$ и $\widehat{\mathbf{W}}^{(c)}$ имеют одно и то же предельное распределение сингулярных чисел. Поэтому, не умаляя общности, везде далее мы будем считать, что для всех $n \geqslant 1$, $q = 1,\dots,m$ и $j = 1,\dots n$, $k = 1,\dots,n$ выполнено:

$$\mathbf{E}\,X_{jk}^{(q)} = 0, \quad \mathbf{E}\,|X_{jk}^{(q)}|^2 = \sigma_{qjk}^2 \leqslant 1,$$
$$|X_{jk}^{(q)}| \leqslant c\tau_n\sqrt{n}, \tag{11}$$

где $\tau_n \to 0$ таково, что

$$L_n(\tau_n) \to 0 \quad \text{и} \quad \tau_n^{-2}L_n(\tau_n) \to \infty,$$

при $n \to \infty$.

2. Универсальность предельного распределения сингулярных чисел

В этом разделе мы покажем, что предельное распределение сингулярных чисел произведения степеней случайных матриц, удовлетворяющих условиям теоремы 1, не зависит от распределения самих матричных элементов.

Рассмотрим независимые гауссовские величины $Y_{jk}^{(q)}$ с нулевым средним $\mathbf{E}\,Y_{jk}^{(q)} = 0$ и дисперсией $\mathbf{E}\left|Y_{jk}^{(q)}\right|^2 = \sigma_{qjk}^2$, при $j = 1,\dots,n$, $k = 1,\dots,n$, $q = 1,\dots,m$. Более того, будем полагать, что

$$\mathbf{E}\,|\mathrm{Re}\,Y_{jk}^{(q)}|^2 = \mathbf{E}\,|\mathrm{Re}\,X_{jk}^{(q)}|^2, \quad \mathbf{E}\,|\mathrm{Im}\,Y_{jk}^{(q)}|^2 = \mathbf{E}\,|\mathrm{Im}\,X_{jk}^{(q)}|^2,$$
$$\mathbf{E}\,\mathrm{Re}\,Y_{jk}^{(q)}\mathrm{Im}\,Y_{jk}^{(q)} = \mathbf{E}\,\mathrm{Re}\,X_{jk}^{(q)}\mathrm{Im}\,X_{jk}^{(q)}.$$

Пусть величины $Y_{jk}^{(q)}$ и $X_{jk}^{(q)}$ независимы в совокупности при указанных значениях индексов. Составим случайные матрицы $\mathbf{Y}^{(1)},\dots,\mathbf{Y}^{(m)}$ размера $n \times n$ с элементами $[\mathbf{Y}^{(q)}]_{jk} = \frac{1}{\sqrt{n}}Y_{jk}^{(q)}$. Для произвольного $\varphi \in [0, \frac{\pi}{2}]$ и всех $q = 1,\dots,m$ введем в рассмотрение матрицы

$$\mathbf{Z}^{(q)}(\varphi) = \mathbf{X}^{(q)}\cos\varphi + \mathbf{Y}^{(q)}\sin\varphi$$

с элементами

$$[\mathbf{Z}^{(q)}(\varphi)]_{jk} = \frac{1}{\sqrt{n}}Z_{jk}^{(q)} = \frac{1}{\sqrt{n}}\Big(X_{jk}^{(q)}\cos\varphi + Y_{jk}^{(q)}\sin\varphi\Big)$$
$$= \frac{1}{\sqrt{n}}(\xi_{jk}^{(q)} + i\eta_{jk}^{(q)}).$$

Здесь $\xi_{jk}^{(q)} = \mathrm{Re}\;X_{jk}^{(q)}\cos\varphi + \mathrm{Re}\;Y_{jk}^{(q)}\sin\varphi$ и $\eta_{jk}^{(q)} = \mathrm{Im}\;X_{jk}^{(q)}\cos\varphi + \mathrm{Im}\;Y_{jk}^{(q)}\sin\varphi$. Определим матрицы $\mathbf{W}(\varphi)$, $\mathbf{V}(\varphi)$, $\mathbf{U}(\varphi)$, $\mathbf{R}(\varphi)$ равенствами

$$\mathbf{W}(\varphi) = \prod_{q=1}^{m}\big(\mathbf{Z}^{(q)}(\varphi)\big)^{p_q},$$
$$\mathbf{V}(\varphi) = \begin{pmatrix}\mathbf{W}(\varphi) & \mathbf{O}\\ \mathbf{O} & \big(\mathbf{W}(\varphi)\big)^*\end{pmatrix}, \quad \mathbf{U}(\varphi) = \mathbf{V}(\varphi)\mathbf{J},$$
$$\mathbf{R}(\varphi) = (\mathbf{U}(\varphi) - z\mathbf{I})^{-1}.$$

В этих обозначениях, матрицы $\mathbf{W}(0)$, $\mathbf{V}(0)$, $\mathbf{U}(0)$, $\mathbf{R}(0)$ представляют собой не что иное, как матрицы $\mathbf{W}$, $\mathbf{V}$, $\mathbf{U}$, $\mathbf{R}$, введенные в предыдущем разделе, а матрицы $\mathbf{W}(\frac{\pi}{2})$, $\mathbf{V}(\frac{\pi}{2})$, $\mathbf{U}(\frac{\pi}{2})$, $\mathbf{R}(\frac{\pi}{2})$ – аналогичные матрицы, но уже порожденные гауссовскими матрицами $\mathbf{Y}^{(q)}$, $q = 1,\dots,m$, а не исходными $\mathbf{X}^{(q)}$, $q = 1,\dots,m$. Пусть $s_n(z,\varphi)$ обозначает преобразование Стилтьеса симметризации ожидаемой функции распределения сингулярных чисел матрицы $\mathbf{W}(\varphi)$. Тогда $s_n(z,0) = s_n(z)$ обозначает преобразование Стилтьеса функции распределения $F_n(x)$, а $s_n(z,\frac{\pi}{2})$ – преобразование Стилтьеса симметризации ожидаемой функции распределения сингулярных чисел матрицы $\mathbf{W}(\frac{\pi}{2})$, порожденной гауссовскими матрицами $\mathbf{Y}^{(q)}$, $q = 1,\dots,m$. Мы докажем следующую лемму.

Лемма 2. *Пусть выполнены условия теоремы 1. Тогда для любого $\delta > 0$, равномерно по $z = u + iv$ в области $v \geqslant \delta$, имеет место сходимость*

$$|s_n(z,\frac{\pi}{2}) - s_n(z,0)| \to 0, \text{ при } n \to \infty.$$

Доказательство. По формуле Ньютона-Лейбница имеем

$$s_n(z,\frac{\pi}{2}) - s_n(z,0) = \int_0^{\frac{\pi}{2}}\frac{\partial s_n(z,\varphi)}{\partial\varphi}d\varphi.$$

Положим

$$\mathbf{V}(\varphi) = \mathbf{V}_1(\varphi) + \mathbf{V}_2(\varphi),$$

где

$$\mathbf{V}_1(\varphi) = \begin{pmatrix}\mathbf{W}(\varphi) & \mathbf{O}\\ \mathbf{O} & \mathbf{O}\end{pmatrix}, \quad \mathbf{V}_2(\varphi) = \begin{pmatrix}\mathbf{O} & \mathbf{O}\\ \mathbf{O} & (\mathbf{W}(\varphi))^*\end{pmatrix}.$$

Применяя формулу для производной резольвентной матрицы, получим

$$\frac{\partial s_n(z,\varphi)}{\partial\varphi} = -\frac{1}{2n}\mathbf{E}\,\mathrm{Tr}\,\mathbf{R}(\varphi)\frac{\partial\mathbf{V}_1(\varphi)}{\partial\varphi}\mathbf{J}\mathbf{R}(\varphi)$$
$$-\frac{1}{2n}\mathbf{E}\,\mathrm{Tr}\,\mathbf{R}(\varphi)\frac{\partial\mathbf{V}_2(\varphi)}{\partial\varphi}\mathbf{J}\mathbf{R}(\varphi). \tag{12}$$

Везде далее мы будем опускать аргумент φ в обозначениях матриц, если это не будет вызывать недоразумений. Введем матрицы

$$\mathbf{H}_1^{(q)} = \begin{pmatrix}\mathbf{Z}^{(q)} & \mathbf{O}\\ \mathbf{O} & \mathbf{O}\end{pmatrix}, \quad \mathbf{H}_2^{(q)} = \begin{pmatrix}\mathbf{O} & \mathbf{O}\\ \mathbf{O} & (\mathbf{Z}^{(m-q+1)})^*\end{pmatrix}.$$

Очевидно, что в этих обозначениях

$$\mathbf{V}_1 = \prod_{q=1}^{m}(\mathbf{H}_1^{(q)})^{p_q}, \quad \mathbf{V}_2 = \prod_{q=1}^{m}(\mathbf{H}_2^{(q)})^{p_{m-q+1}}.$$

По определению матрицы $\mathbf{V}_1$ имеем

$$\frac{\partial \mathbf{V}_1}{\partial \varphi} = \sum_{q=1}^{m}\sum_{\nu=1}^{p_q} \mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\frac{\partial \mathbf{H}_1^{(q)}}{\partial \varphi} \times \big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)},$$

где $\mathbf{V}_{a,b}^{(1)} = \prod_{q=a}^{b}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q}$. Определение матрицы $\mathbf{H}_1^{(q)}$ дает

$$\frac{\partial \mathbf{H}_1^{(q)}}{\partial \varphi} = \sum_{j,k=1}^{n}\left(\frac{\partial \mathbf{H}_1^{(q)}}{\partial \mathrm{Re}\, Z_{jk}^{(q)}}\frac{d\mathrm{Re}\, Z_{jk}^{(q)}}{d\varphi} + \frac{\partial \mathbf{H}_1^{(q)}}{\partial \mathrm{Im}\, Z_{jk}^{(q)}}\frac{d\mathrm{Im}\, Z_{jk}^{(q)}}{d\varphi}\right).$$

Пусть $\mathbf{e}_j = (0,\dots,0,1,\dots,0)^T$ обозначает вектор длины $2n$, все элементы которого, кроме j-го, равны нулю, а j-й элемент равен 1. Тогда для всех $j = 1,\dots,n$, $k = 1,\dots,n$ мы можем написать

$$\frac{\partial \mathbf{H}_1^{(q)}}{\partial \mathrm{Re}\, Z_{jk}^{(q)}} = \frac{1}{\sqrt{n}}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T, \quad \frac{\partial \mathbf{H}_1^{(q)}}{\partial \mathrm{Im}\, Z_{jk}^{(q)}} = i\frac{1}{\sqrt{n}}\,\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T.$$

Из определения величин $Z_{jk}^{(q)}$ следует

$$\widehat{\xi}_{jk}^{(q)} := \frac{d\mathrm{Re}\, Z_{jk}^{(q)}}{d\varphi} = -\,\mathrm{Re}\, X_{jk}^{(q)}\sin\varphi + \mathrm{Re}\, Y_{jk}^{(q)}\cos\varphi,$$
$$\widehat{\eta}_{jk}^{(q)} := \frac{d\mathrm{Im}\, Z_{jk}^{(q)}}{d\varphi} = -\,\mathrm{Im}\, X_{jk}^{(q)}\sin\varphi + \mathrm{Im}\, Y_{jk}^{(q)}\cos\varphi.$$

После несложных вычислений имеем

$$\frac{\partial \mathbf{V}_1}{\partial \varphi} = \frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{q=1}^{m}\sum_{j,k=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{p_q}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j \times \big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\widehat{\xi}_{jk}^{(q)} + \frac{i}{\sqrt{n}}\sum_{q=1}^{m}\sum_{j,k=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{p_q}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j \times \big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\widehat{\eta}_{jk}^{(q)}.$$

Аналогично,

$$\frac{\partial \mathbf{V}_2}{\partial \varphi} = \frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{q=1}^{m}\sum_{j,k=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{p_{m-q+1}}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(2)}\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_{k+n} \times \big(\mathbf{e}_{j+n}\big)^T\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{p_{m-q+1}-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(2)}\widehat{\xi}_{jk}^{(q)} - \frac{i}{\sqrt{n}}\sum_{q=1}^{m}\sum_{j,k=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{p_{m-q+1}}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(2)}\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_{k+n} \times \big(\mathbf{e}_{j+n}\big)^T\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{p_{m-q+1}-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(2)}\widehat{\eta}_{jk}^{(q)}.$$

Положим

$$u_{jk}^{(q,1)} := -\,\mathrm{Tr}\,\mathbf{R}\Big(\sum_{\nu=1}^{p_q}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j \times \big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\Big)\mathbf{JR},$$
$$u_{jk}^{(q,2)} := -\,\mathrm{Tr}\,\mathbf{R}\Big(\sum_{\nu=1}^{p_{m-q+1}}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(2)}\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_{k+n} \times \big(\mathbf{e}_{j+n}\big)^T\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{p_{m-q+1}-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(2)}\Big)\mathbf{JR},$$
$$v_{jk}^{(q,1)} := -\,\mathrm{Tr}\,\mathbf{R}\Big(\sum_{\nu=1}^{p_q}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j \times \big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\Big)\mathbf{JR},$$
$$v_{jk}^{(q,2)} := \mathrm{Tr}\,\mathbf{R}\Big(\sum_{\nu=1}^{p_{m-q+1}}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(2)}\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_{k+n} \times \big(\mathbf{e}_{j+n}\big)^T\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{p_{m-q+1}-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(2)}\Big)\mathbf{JR},$$

при $q = 1,\dots,m$, $j = 1,\dots,n$, $k = 1,\dots,n$. Тогда производную преобразования Стилтьеса можно переписать в виде

$$\frac{\partial s_n(z,\varphi)}{\partial \varphi} = \sum_{q=1}^{m}\sum_{j,k=1}^{n}\frac{1}{2n\sqrt{n}}\big(\mathbf{E}\, u_{jk}^{(q,1)}\widehat{\xi}_{jk}^{(q)} + i\mathbf{E}\, v_{jk}^{(q,1)}\widehat{\eta}_{jk}^{(q)} + \mathbf{E}\, u_{jk}^{(q,2)}\widehat{\xi}_{jk}^{(q)} + i\mathbf{E}\, v_{jk}^{(q,2)}\widehat{\eta}_{jk}^{(q)}\big). \qquad (13)$$

Рассмотрим функцию $u_{jk}^{(q,1)} = u_{jk}^{(q,1)}(\xi_{jk}^{(q)}, \eta_{jk}^{(q)})$. Разлагая в ряд Тейлора, получим

$$u_{jk}^{(q,1)}(\xi_{jk}^{(q)}, \eta_{jk}^{(q)}) = u_{jk}^{(q,1)}(0,0) + \xi_{jk}^{(q)}\frac{\partial u_{jk}^{(q,1)}}{\partial \xi_{jk}^{(q)}}(0,0) + \eta_{jk}^{(q)}\frac{\partial u_{jk}^{(q,1)}}{\partial \eta_{jk}^{(q)}}(0,0) + \mathbf{E}\,\tau(\xi_{jk}^{(q)})^2(1-\tau)\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial {\xi_{jk}^{(q)}}^2}(\tau\xi_{jk}^{(q)}, \eta_{jk}^{(q)}) + \mathbf{E}\,\tau\eta_{jk}^{(q)}\xi_{jk}^{(q)}\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial \xi_{jk}^{(q)}\partial \eta_{jk}^{(q)}}(0, \tau\eta_{jk}^{(q)}) + \mathbf{E}\,\tau(\eta_{jk}^{(q)})^2(1-\tau)\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial {\eta_{jk}^{(q)}}^2}(0, \tau\eta_{jk}^{(q)}).$$

Здесь τ – равномерно распределенная на отрезке $[0;1]$ случайная величина, независимая от $X_{jk}^{(q)}$ и $Y_{jk}^{(q)}$, а $\mathbf{E}_\tau$ – условное математическое ожидание относительно τ. Непосредственно вычисляя, можно проверить справедливость равенств

$$\mathbf{E}\,\widehat{\xi}_{jk}^{(q)}\xi_{jk}^{(q)} = 0, \quad \mathbf{E}\,\widehat{\xi}_{jk}^{(q)}\eta_{jk}^{(q)} = 0,$$

что дает

$$\mathbf{E}\,\widehat{\xi}_{jk}^{(q)} u_{jk}^{(q,1)}(\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}) = \mathbf{E}\,\widehat{\xi}_{jk}^{(q)}(\xi_{jk}^{(q)})^2(1-\tau) \times \frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial {\xi_{jk}^{(q)}}^2}(\tau\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}) + \mathbf{E}\,\widehat{\xi}_{jk}^{(q)}\xi_{jk}^{(q)}\eta_{jk}^{(q)}\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}\partial\eta_{jk}^{(q)}}(0,\tau\eta_{jk}^{(q)}) + \mathbf{E}\,(\eta_{jk}^{(q)})^2\widehat{\xi}_{jk}^{(q)}(1-\tau)\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial {\eta_{jk}^{(q)}}^2}(0,\tau\eta_{jk}^{(q)}).$$

Принимая во внимание (11), не умаляя общности можем считать

$$\max\left\{\left|\xi_{jk}^{(q)}\right|,\left|\eta_{jk}^{(q)}\right|,\left|\widehat{\xi}_{jk}^{(q)}\right|,\left|\widehat{\eta}_{jk}^{(q)}\right|\right\} \leqslant C\tau_n\sqrt{n}.$$

Если показать, что существует такая константа C, что для всех $q=1,\dots,m$, $1\leqslant j\leqslant n$, $1\leqslant k\leqslant n$, выполнено

$$\max\left\{\left|\mathbf{E}\left\{\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial {\xi_{jk}^{(q)}}^2}\left(\tau_1\xi_{jk}^{(q)},\tau\eta_{jk}^{(q)}\right)\Big|\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}\right\}\right|, \left|\mathbf{E}\left\{\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial {\eta_{jk}^{(q)}}^2}\left(\tau_1\xi_{jk}^{(q)},\tau\eta_{jk}^{(q)}\right)\Big|\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}\right\}\right|, \left|\mathbf{E}\left\{\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}\partial\eta_{jk}^{(q)}}\left(\tau_1\xi_{jk}^{(q)},\tau\eta_{jk}^{(q)}\right)\Big|\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}\right\}\right|\right\} \leqslant Cn^{-1}v^{-4}, \tag{14}$$

получим

$$\max_{r=1,2}\left\{\left|\mathbf{E}\,\widehat{\eta}_{jk}^{(q)} v_{jk}^{(q,r)}(\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)})\right|,\left|\mathbf{E}\,\widehat{\xi}_{jk}^{(q)} u_{jk}^{(q,r)}(\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)})\right|\right\} \leqslant \frac{C\tau_n}{\sqrt{n}}v^{-4}.$$

Последнее, вместе с (13), даст

$$\left|\frac{\partial s_n(z,\varphi)}{\partial\varphi}\right| \leqslant C\tau_n v^{-4},$$

и

$$\left|s_n(z,\frac{\pi}{2}) - s_n(z,0)\right| \leqslant C\tau_n v^{-4},$$

что и завершит доказательство леммы.

Для доказательства (14) рассмотрим матрицу

$$\mathbf{B}_{jk}^{(q)} := \sum_{\nu=1}^{p_q}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j \times \big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}.$$

Очевидно, что

$$u_{jk}^{(q,1)} = -\mathrm{Tr}\,\mathbf{B}_{jk}^{(q)}\mathbf{J}\mathbf{R}^2.$$

Отсюда имеем:

$$\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial {\xi_{jk}^{(q)}}^2}(\tau_1\xi_{jk}^{(q)},\tau\eta_{jk}^{(q)}) = T_1+T_2+T_3+T_4, \tag{15}$$

где

$$T_1 = \mathrm{Tr}\,\frac{\partial^2\mathbf{B}_{jk}^{(q)}}{\partial {\xi_{jk}^{(q)}}^2}\mathbf{J}\mathbf{R}^2,$$

$$T_2 = -2\mathrm{Tr}\,\frac{\partial\mathbf{B}_{jk}^{(q)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}^2\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R} - 2\mathrm{Tr}\,\frac{\partial\mathbf{B}_{jk}^{(q)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}^2,$$

$$T_3 = 2\mathrm{Tr}\,\mathbf{B}_{jk}^{(q)}\mathbf{J}\mathbf{R}^2\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R} + 2\mathrm{Tr}\,\mathbf{B}_{jk}^{(q)}\mathbf{J}\mathbf{R}\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}^2\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R} + 2\mathrm{Tr}\,\mathbf{B}_{jk}^{(q)}\mathbf{J}\mathbf{R}\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}^2,$$

$$T_4 = -\mathrm{Tr}\,\mathbf{B}_{jk}^{(q)}\mathbf{J}\mathbf{R}^2\frac{\partial^2\mathbf{V}}{\partial {\xi_{jk}^{(q)}}^2}\mathbf{J}\mathbf{R} - \mathrm{Tr}\,\mathbf{B}_{jk}^{(q)}\mathbf{J}\mathbf{R}\frac{\partial^2\mathbf{V}}{\partial {\xi_{jk}^{(q)}}^2}\mathbf{J}\mathbf{R}^2.$$

Оценим член

$$T_{21} = -2\mathrm{Tr}\,\frac{\partial\mathbf{B}_{jk}^{(q)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}^2\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{J}\mathbf{R}.$$

Для этого заметим, что

$$\frac{\partial\mathbf{B}_{jk}^{(q)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}} = \frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{\nu=1}^{p_q}\sum_{\nu_1=1}^{\nu-1}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_1-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T \times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1-\nu_1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)} + \frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{\nu=1}^{p_q}\sum_{\nu_2=1}^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T \times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_2-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu-\nu_2}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}.$$

Для производной матрицы $\mathbf{V}$ имеем

$$\frac{\partial\mathbf{V}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}} = \frac{\partial\mathbf{V}_1}{\partial\xi_{jk}^{(q)}} + \frac{\partial\mathbf{V}_2}{\partial\xi_{jk}^{(q)}} = \frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{q=1}^{m}\sum_{\nu=1}^{p_q}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j \times\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)} + \frac{1}{\sqrt{n}}\sum_{q=1}^{m}\sum_{\nu=1}^{p_{m-q+1}}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(2)}\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_{k+n} \times\big(\mathbf{e}_{j+n}\big)^T\big(\mathbf{H}_2^{(q)}\big)^{p_{m-q+1}-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(2)}.$$

Подставляя последние два представления в T_{21}, по-

лучим

$$
\begin{aligned}
T_{21} = &-\frac{2}{\sqrt{n}}\sum_{\nu=1}^{p_q}\sum_{\nu_1=1}^{\nu-1}\operatorname{Tr}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_1-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\\
&\times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1-\nu_1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\\
&\times\mathbf{JR}^2\frac{\partial\mathbf{V}_1}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{JR}\\
&-\frac{2}{\sqrt{n}}\sum_{\nu=1}^{p_q}\sum_{\nu_2=1}^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\\
&\times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_2-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu-\nu_2}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\\
&\times\mathbf{JR}^2\frac{\partial\mathbf{V}_1}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{JR}\\
&-\frac{2}{\sqrt{n}}\sum_{\nu=1}^{p_q}\sum_{\nu_1=1}^{\nu-1}\operatorname{Tr}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_1-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\\
&\times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1-\nu_1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\\
&\times\mathbf{JR}^2\frac{\partial\mathbf{V}_2}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{JR}\\
&-\frac{2}{\sqrt{n}}\sum_{\nu=1}^{p_q}\sum_{\nu_2=1}^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\\
&\times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_2-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu-\nu_2}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\\
&\times\mathbf{JR}^2\frac{\partial\mathbf{V}_2}{\partial\xi_{jk}^{(q)}}\mathbf{JR}.
\end{aligned}
$$

Мы оценим первый член этого разложения, оставшиеся три оцениваются аналогично.

$$
\begin{aligned}
|T_{21}^1| \leqslant\ & Cn^{-1}|\operatorname{Tr}\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_1-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\\
&\times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1-\nu_1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\mathbf{JR}^2\\
&\times\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu'-1}\mathbf{e}_j\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu'}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\mathbf{JR}|\\
\leqslant\ & Cn^{-1}\big|\big[\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu'}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\mathbf{JRV}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_1-1}\big]_{kj}\\
&\times\big[\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1-\nu_1}\big]_{kj}\\
&\times\big[\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\mathbf{JR}^2\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu'-1}\big]_{kj}\big|.
\end{aligned}
$$

Отсюда имеем

$$
\begin{aligned}
|T_{21}^1| \leqslant\ & Cv^{-3}n^{-1}\big|\big[\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1-\nu_1}\big]_{kj}\big|\\
&\times\|\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu'}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\|_2\\
&\times\|\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_1-1}\mathbf{e}_j\|_2\\
&\times\|\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\|_2\\
&\times\|\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu'-1}\mathbf{e}_j\|_2.
\end{aligned}
$$

Применяя последовательно несколько раз неравенство Гельдера, получим

$$
\begin{aligned}
\mathbf{E}\,|T_{21}^1| \leqslant\ & Cv^{-3}n^{-1}\mathbf{E}^{\frac14}\big|\big[\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu-1-\nu_1}\big]_{kj}\big|^4\\
&\times\mathbf{E}^{\frac14}\|\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu'}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\|_2^4\\
&\times\mathbf{E}^{\frac14}\|\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu_1-1}\mathbf{e}_j\|_2^4\\
&\times\mathbf{E}^{\frac18}\|\big(\mathbf{e}_k\big)^T\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\|_2^8\\
&\times\mathbf{E}^{\frac18}\|\mathbf{V}_{1,q-1}^{(1)}\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{\nu'-1}\mathbf{e}_j\|_2^8.
\end{aligned}
$$

Воспользовавшись Леммой 4, придем к оценке

$$\mathbf{E}\,|T_{21}^1| \leqslant Cn^{-1}v^{-4},$$

которая приводит нас к неравенству

$$\mathbf{E}\,\{|T_{21}|\big|\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}\} \leqslant Cn^{-1}v^{-4}.$$

Остальные слагаемые в (15) оцениваются подобным же образом. В итоге, мы имеем

$$\Big|\mathbf{E}\Big\{\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)\,2}}(\tau_1\xi_{jk}^{(q)},\tau\eta_{jk}^{(q)})\Big|\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}\Big\}\Big| \leqslant Cn^{-1}v^{-4}.$$

Схожим путем показывается, что

$$
\begin{aligned}
\max\Bigg\{&\Big|\mathbf{E}\Big\{\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial\xi_{jk}^{(q)}\partial\eta_{jk}^{(q)}}(\tau_1\xi_{jk}^{(q)},\tau\eta_{jk}^{(q)})\Big|\xi_{jk}^{(q},\eta_{jk}^{(q)}\Big\}\Big|,\\
&\Big|\mathbf{E}\Big\{\frac{\partial^2 u_{jk}^{(q,1)}}{\partial\eta_{jk}^{(q)\,2}}(\tau_1\xi_{jk}^{(q)},\tau\eta_{jk}^{(q)})\Big|\xi_{jk}^{(q)},\eta_{jk}^{(q)}\Big\}\Big|\Bigg\}\\
&\leqslant Cn^{-1}v^{-4}.
\end{aligned}
$$

Это доказывает (14) и завершает доказательство леммы 2. □

2.1. Нормирование

Рассмотрим случайные величины $Y'^{(q)}_{jk} = \sigma_{qjk}^{-1}Y_{jk}^{(q)}$. Составим случайные матрицы $\mathbf{Y}'^{(q)}$ размера $n\times n$ с элементами $[\mathbf{Y}'^{(q)}]_{jk} = \frac{1}{\sqrt{n}}Y'^{\,(q)}_{jk}$. Введем соответствующие матрицы $\mathbf{W}'$, $\mathbf{V}'$, $\mathbf{V}_1'$, $\mathbf{V}_2'$, $\mathbf{U}'$. Обозначим $s_n(z)$ и $s_n'(z)$ преобразования Стилтьеса ожидаемых спектральных функций распределения матриц $\mathbf{U}$ и $\mathbf{U}'$. В этих обозначениях имеет место соотношение

$$
\begin{aligned}
|s_n(z)-s_n'(z)| \leqslant\ & \frac{1}{2n}\mathbf{E}\,|\operatorname{Tr}\mathbf{R}'(\mathbf{V}_1-\mathbf{V}_1')\mathbf{JR}|\\
&+\frac{1}{2n}\mathbf{E}\,|\operatorname{Tr}\mathbf{R}'(\mathbf{V}_2-\mathbf{V}_2')\mathbf{JR}|. \qquad (16)
\end{aligned}
$$

Оценим первое слагаемое правой части.

$$
\begin{aligned}
&\frac{1}{2n}\mathbf{E}\,|\operatorname{Tr}\mathbf{R}'(\mathbf{V}_1-\mathbf{V}_1')\mathbf{JR}|\\
&\quad\leqslant\frac{C}{n}\sum_{q=1}^{m}\sum_{\nu=0}^{p_q-1}\mathbf{E}\,\big|\operatorname{Tr}\mathbf{R}'\mathbf{V}_{1,q-1}'^{(1)}\big(\mathbf{H}_1'^{(q)}\big)^{\nu}\\
&\qquad\times\big(\mathbf{H}_1^{(q)}-\mathbf{H}_1'^{(q)}\big)\big(\mathbf{H}_1^{(q)}\big)^{p_q-1-\nu}\mathbf{V}_{q+1,m}^{(1)}\mathbf{JR}\big|\\
&\quad\leqslant\frac{C}{\sqrt{n}v^2}\sum_{q=1}^{m}\mathbf{E}^{\frac12}\|\mathbf{H}_1^{(q)}-\mathbf{H}_1'^{(q)}\|_2^2.
\end{aligned}
$$

Далее, из неравенства (6), для каждого $q = 1, \dots, m$ имеем

$$\frac{1}{n}\mathbf{E}\,\|\mathbf{H}_1^{(q)} - \mathbf{H}_1'^{(q)}\|_2^2 \leqslant \frac{C}{n^2}\sum_{j,k=1}^{n}\mathbf{E}\,|Y_{jk}^{(q)} - Y_{jk}'^{(q)}|^2$$
$$\leqslant \frac{C}{n^2}\sum_{j,k=1}^{n}\mathbf{E}\,|\sigma_{qjk}^{-1} - 1|^2\mathbf{E}\,|Y_{jk}^{(q)}|^2$$
$$\leqslant \frac{C}{n^2}\sum_{j,k=1}^{n}(1 - \sigma_{qjk}^2) \leqslant CL_n(\tau_n).$$

Последние две оценки дают

$$\frac{1}{2n}\mathbf{E}\,|\mathrm{Tr}\,\mathbf{R}'(\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_1')\mathbf{J}\mathbf{R}| \leqslant Cv^{-2}\sqrt{L_n(\tau_n)}.$$

Аналогичным образом оценивается второй член в (16), что дает нам неравенство

$$|s_n(z) - \widehat{s}_n(z)| \leqslant Cv^{-2}\sqrt{L_n(\tau_n)}.$$

Таким образом, пределы ожидаемых спектральных функций распределений матриц $\mathbf{U}$ и $\mathbf{U}'$ совпадают.

3. Приложения

В следующих далее леммах мы будем полагать, что

$$\mathbf{E}\,X_{jk}^{(\nu)} = 0,\ \mathbf{E}\,|X_{jk}^{(\nu)}|^2 = 1,\ |X_{jk}^{(\nu)}| \leqslant c\tau_n\sqrt{n}\ \text{п.н.}, \quad (17)$$

для всех $j, k = 1, \dots n$.

Лемма 3. *В условиях теоремы 1, предполагая (17), для всех $1 \leqslant \alpha < \beta \leqslant m$ выполнено неравенство*

$$\mathbf{E}\,\|\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}\|_2^2 \leqslant Cn.$$

Доказательство.

$$\mathbf{E}\,\|\mathbf{V}_{\alpha,\beta}\|_2^2 \leqslant \sum_{j,j_1,j_2,\dots,j_{\beta-\alpha},k=1}^{n}\mathbf{E}\Big|\big[(\mathbf{X}^{(\alpha)})^{p_\alpha}\big]_{jj_1}$$
$$\times\big[(\mathbf{X}^{(\alpha+1)})^{p_{\alpha+1}}\big]_{j_1j_2}\cdots\big[(\mathbf{X}^{(\beta)})^{p_\beta}\big]_{j_{\beta-\alpha}k}\Big|^2$$
$$\leqslant \sum_{j,j_1,j_2,\dots,j_{\beta-\alpha},k=1}^{n}\mathbf{E}\,\big|\big[(\mathbf{X}^{(\alpha)})^{p_\alpha}\big]_{jj_1}\big|^2$$
$$\times\mathbf{E}\,\big|\big[(\mathbf{X}^{(\alpha+1)})^{p_{\alpha+1}}\big]_{j_1j_2}\big|^2\cdots\mathbf{E}\,\big|\big[(\mathbf{X}^{(\beta)})^{p_\beta}\big]_{j_{\beta-\alpha}k}\big|^2.$$

Можно убедиться (см. [7, лемма 5.1]), что

$$\mathbf{E}\,\big|\big[(\mathbf{X}^{(\alpha)})^{p_\alpha}\big]_{jk}\big|^2 \leqslant \frac{1}{n^{p_\alpha}}\sum_{j_1,j_2,\dots,j_{p_\alpha-1}}\mathbf{E}\,|X_{jj_1}^{(\alpha)}|^2$$
$$\times|X_{j_1j_2}^{(\alpha)}|^2\cdots|X_{j_{p_\alpha-1}k}^{(\alpha)}|^2 \leqslant Cn^{-1}.$$

Вместе с предыдущим соотношением это дает требуемую оценку. □

Лемма 4. *В условиях леммы 2, предполагая (17), выполнено*

$$\mathbf{E}\,\|(\mathbf{e}_j)^T\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}\|_2^8 \leqslant C, \qquad \mathbf{E}\,\|\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}\mathbf{e}_k\|_2^8 \leqslant C, \quad (18)$$

с некоторой положительной константой $C > 0$.

Доказательство. Из определения векторной нормы следует, что

$$\|(\mathbf{e}_j)^T\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}\|_2^2 = \sum_{k=1}^{n}\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk}\Big|^2$$

и

$$\mathbf{E}\,\|(\mathbf{e}_j)^T\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}\|_2^8 = \sum_{k_1,k_2,k_3,k_4}\mathbf{E}\,\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_1}\Big|^2$$
$$\times\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_2}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_3}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_4}\Big|^2.$$

Заметим, что оценка для случая $\alpha = \beta$ доказана в работе [7, лемма 5.2]. Поэтому мы рассмотрим случай $\alpha < \beta$. Имеет место цепочка неравенств

$$\sum_{k_1,k_2,k_3,k_4}\mathbf{E}\,\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_1}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_2}\Big|^2$$
$$\times\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_3}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}]_{jk_4}\Big|^2$$
$$\leqslant \sum_{s_1,s_2,s_3,s_4}\mathbf{E}\,\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_1}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_2}\Big|^2$$
$$\times\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_3}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_4}\Big|^2$$
$$\sum_{k_1,k_2,k_3,k_4}\mathbf{E}\,\Big|\big[(\mathbf{X}^{(\beta)})^{p_\beta}\big]_{s_1k_1}\Big|^2\Big|\big[(\mathbf{X}^{(\beta)})^{p_\beta}\big]_{s_2k_2}\Big|^2$$
$$\times\Big|\big[(\mathbf{X}^{(\beta)})^{p_\beta}\big]_{s_3k_3}\Big|^2\Big|\big[(\mathbf{X}^{(\beta)})^{p_\beta}\big]_{s_4k_4}\Big|^2$$
$$\leqslant C\sum_{s_1,s_2,s_3,s_4}\mathbf{E}\,\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_1}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_2}\Big|^2$$
$$\times\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_3}\Big|^2\Big|[\mathbf{V}_{\alpha,\beta-1}^{(1)}]_{js_4}\Big|^2.$$

Здесь, в последнем неравенстве, мы опять воспользовались результатом работы [7, лемма 5.2]. По индукции с базой $\alpha = \beta$, получаем требуемую оценку

$$\|(\mathbf{e}_j)^T\mathbf{V}_{\alpha,\beta}^{(1)}\|_2^2 \leqslant C.$$

Аналогичным образом можно оценить второе неравенство из условия леммы. Лемма 4 доказана. □

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-П-1-1013, гранта РФФИ № 11-01-00310-А.

Литература

1. *Alexeev N., Götze F., Tikhomirov A.N.* On the asymptotic distribution of singular values of products of large rectangular random matrices. arXiv:1012.2586.
2. *Bai Z.D., Silverstein J.W.* Spectral analysis of large dimensional random matrices. Springer, 2010. 551 p.
3. *Banica T., Belinschi S., Capitaine M., Collins B.* Free Bessel Laws // Canad. J. Math. 2011. Vol 63. No. 1. P. 3–37.
4. *Burda Z., Jarosz A., Livan G., Nowak M.A., Swiech A.* Eigenvalues and singular values of product of rectangular Gaussian random

matrices // Phys. rev. E. 2010. Vol 82. No. 6. P. 061114-1–061114-10.
5. *Götze F., Tikhomirov A.N.* On the Asymptotic Spectrum of Products of Independent Random Matrices. arXiv:1012.2710.
6. *Müller R.* A random matrix model of communication via antenna arrays // IEEE Transactions of Information Theory. 2002. Vol 48. No. 9. P. 2495–2506.
7. *Алексеев Н.В., Гётце Ф., Тихомиров А.Н.* Об асимптотике распределения сингулярных чисел степени случайной матрицы // Зап. научн. сем. ПОМИ. 2012. Т. 408. С. 9–42.

Статья поступила в редакцию 7.11.2012.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 622.7; 549.514.5; 549.514.6

РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КВАРЦ-РУТИЛОВОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ТИТАНА И КРЕМНИЯ

Ю.И. РЯБКОВ*, П.В. ИСТОМИН*, А.В. НАДУТКИН*, Л.Ю. НАЗАРОВА*, О.М. ЛЕЗИНА*, С.А. РУБЦОВА*, ЮЙХЭ ТАН**

**Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
***Guangzhou Research Institute of Non-Ferrous Metals Sub-Institute of Mineral Processing Engineering, China*
ryabkov-yi@chemi.komisc.ru, *tyh1648@163.net*

Проведены сравнительные экспериментальные исследования процессов обогатительной переработки титанооксидного сырья на примере кварц-рутилового (лейкоксенового) сырья Ярегского месторождения методами карботермии, автоклавной переработки и флотации. Показано, что карботермическая схема обработки лейкоксенового концентрата (ЛК) позволяет эффективно разделять титан- и кремнийсодержащие компоненты и получать чистые оксидные или карбидные соединения титана и кремния. Определены условия автоклавной переработки ЛК, позволяющие получить смесь тонкодисперсных порошков рутила и анатаза. Предложены новые сераорганические соединения, повышающие эффективность традиционных схем флотации. Комбинированное использование перечисленных методов открывает новые возможности оптимизации технологии обогащения труднообогатимого сырья, позволяющие получать высокочистые и высокоактивные порошки для производства функциональных материалов на основе соединений кремния и титана.

Ключевые слова: **кварц-рутиловое сырье, обогащение, карботермия, автоклавная переработка, флотация, функциональные материалы**

Yu.I. RYABKOV, P.V. ISTOMIN, A.V. NADUTKIN, L.Yu. NAZAROVA, O.M. LEZINA, S.A.RUBTSOVA, TANG YUHE. WORKING OUT **OF SCIENTIFIC BASES OF TECHNOLOGIES OF COMPLEX PROCESSING OF QUARTZ-RUTILE RAW MATERIALS FOR FUNCTIONAL NANOMATERIALS ON THE BASIS OF TITANIUM AND SILICON COMPOUNDS**

Comparative pilot researches of processes of concentrating processing of quartz-rutile (leucoxene) raw materials of the Yaregsky field are conducted by methods of carbothermy, autoclave processing and flotation. It is shown that the carbothermic scheme of processing of the leucoxene concentrate (LC) allows to separate effectively the titanous and siliceous compounds and to obtain pure oxidic or carbide compounds of titanium and silicon. Conditions of autoclave processing of the LC, allowing to obtain a mixture of fine-dispersed powders of rutile and anatase are defined. The new sulphur-organic compounds increasing efficiency of flotation are proposed. Combined use of the listed methods opens new opportunities for optimization of technology of concentration of the hard-cleaning raw materials, allowing to obtain high-clean and highly active powders for production of functional materials on the basis of silicon and titanium compounds.

Key words: **quartz-rutile raw materials, upgrading, carbothermic treatment, autoclave processing, flotation, functional materials**

В России и Китае запасы титанового сырья огромны, но разрабатываемые крупные месторождения заметно истощаются. В связи с этим в последние годы активизировались исследования, направленные на актуализацию некоторых технологий переработки титанового сырья применительно к малоосвоенным месторождениям и разработку технологий получения на основе соединений титана и кремния современных технически важных материалов.

В распределенном фонде балансовых запасов диоксида титана России крупнейшие месторождения находятся: в Республике Коми – лейкоксен-

кварцевые нефтеносные песчаники (Ярегское месторождение) и Читинской области (титаномагнетитовые и апатит-ильменит-титаномагнетитовые россыпи). Около 80% разведанных запасов диоксида титана россыпных месторождений сосредоточено на Ярегском нефтетитановом месторождении. Руды этого месторождения труднообогатимы: значительная часть рутила содержится в кварцевой матрице, что существенно снижает применение наименее затратных и экологически безопасных – флотационных, магнитосепарационных и других нехимических методов разделения. Оптимальная промышленная технология обогащения этого титанового сырья пока окончательно не отработана [19,22–25].

Все российские месторождения титана – комплексные руды, содержащие соединения железа, ванадия, фосфора, циркония, кремния, алюминия. Для таких минеральных образований требуется тщательный выбор технологических схем выделения ценных компонентов. Многочисленными исследованиями показано, что фазовый и химический составы минерального сырья предопределяют последовательность операций обогащения и существенным образом влияют на уровень физико-химических характеристик полученных продуктов. Традиционно получаемые концентраты титанооксидного сырья обычно перерабатываются в диоксид титана или металлический титан. Однако привлекают внимание работы, в которых доказано, что целенаправленная переработка концентратов с примесями железа и других переходных и редких элементов позволяет получать функциональные материалы – основу для электротехнических изделий и катализаторов, других технически важных объектов [5, 12–14, 20, 28].

Показано, что высокотемпературная обработка обогащенного ильменитсодержащего сырья Пижемского месторождения (Республика Коми) приводит к образованию ферритовых фаз, обладающих высокой способностью поглощать ЭМИ в СВЧ-диапазоне. Изучены основные закономерности влияния примесей металлов на химическое строение и электрофизические свойства материалов, полученных при обработке ильменитсодержащего сырья [2–4].

Многочисленные исследования процессов высокотемпературной восстановительной обработки оксидтитанового сырья (ИМЕТ РАН, Москва; ИХТТ УрО РАН, Екатеринбург; Челябинский филиал НИПРОИНС, наши исследования и другие) доказали, что кроме титановой лигатуры и электродных материалов могут быть получены ценные нитридные, карбидные, карбидосилицидные и карбидонитридные материалы с уникальными механическими и электрофизическими свойствами (абразивостойкость, высокий уровень поглощения СВЧ-излучения и др.) [3-8,10,17,18,21, 26–29]. При этом особое внимание уделяется остаточному присутствию соединений кремния, часто понижающих эксплуатационные свойства металлических, оксидных и карбидных титансодержащих материалов [30, 31].

Промышленно опробованный способ переработки Ярегских титаноносных песков был основан на сочетании флотации с использованием природных флотореагентов (из остаточной нефти) или таллового масла с последующим хлорированием или восстановительным обжигом флотоконцентрата. При этом содержание двуокиси титана в лейкоксеновых концентратах было на уровне 45–50 мас. %. Разработка способов дальнейшей переработки лейкоксенового концентрата определялась либо задачей использования этого продукта в производстве пигментов (содержание TiO_2 не менее 65 мас.%), либо в производстве титанооксидных электрокерамических или функциональных материалов, где требования к содержанию примесей обычно более жесткие (в сумме не более долей мас.%). Практика показала, что хлорированием кварц-рутилового концентрата с последующей переработкой $TiCl_4$ в TiO_2 в промышленных масштабах удается получать высококачественные пигменты, наполнители каучуков и электроустановочную керамику с высокими эксплуатационными характеристиками [32]. Необходимо отметить, что даже небольшой сбой технологических режимов флотации приводит к значительным выбросам титансодержащих компонентов в «хвосты», а использование в технологии передела газообразного хлора создает необходимость повышения класса опасности данного производства (табл.1).

Таблица 1

Состав титаноносных песков Ярегского месторождения, промышленного продукта флотационного обогащения (лейкоксенового концентрата – ЛК) и отдельных проб хвостов флотационного обогащения, мас.%

Оксидные компоненты	Титаноносные пески Ярегского месторождения (используемые для обогащения)	Лейкоксеновый концентрат (ЛК) (представительная проба)	Хвосты флотационного обогащения (отдельные пробы)
SiO_2	85-91	46-52	90-95
TiO_2	7-10	45-50	2-6
Al_2O_3	2-3	2-4	2-4
Fe_2O_3	2-3	1-3	1-3

С учетом современных требований по совершенствованию существующих технологий обогащения минерального сырья, включая титанооксидное, актуальным является разработка новых подходов к процессам обогащения и решение проблем получения комплексных экологически благоприятных результатов, основанных на безотходности процессов переработки, минимизации выбросов в окружающую среду химически агрессивных и энергонасыщенных реагентов. Проведены сравнительные экспериментальные исследования процессов обогатительной переработки кварц-рутилового (лейкоксенового) сырья Ярегского месторождения методами карботермии, автоклавной переработки и флотации [1,6,8,9].

Карботермическая схема переработки. Технологическая схема переработки с использованием карботермического воздействия на оксидные минеральные смеси является высокоэффективным способом термохимической переработки оксидного сырья и альтернативна хлорному или сульфатному способу [1, 21, 36]. Она позволяет достичь эффективного разделения титановых и кремниевых компонентов. Нами показано, что при этом появляется возможность регулировать состав и, следовательно, ряд технически важных свойств получаемых продуктов. Из наиболее важных результатов вакуумной карботермической обработки лейкоксенового 50%-ного концентрата следует выделить получение наноламинатных материалов на основе карбидосилицидной фазы Ti_3SiC_2 [1,7,8,10].

Карботермическое восстановление оксидных компонентов ЛК активированным углем проводилось при температурах до 1800 К в диапазоне давлений газовой среды от глубокого вакуума (10^{-3} Па) до атмосферного давления (10^5 Па).

Показано, что карботермический процесс позволяет целенаправленно формировать фазы субмикронного β-SiC и наноламинатного Ti_3SiC_2 в результате протекания двух конкурирующих реакций:

реакция 1:

$C + SiO = SiC + CO$ (силицирование углерода);

реакция 2:

$3TiC + SiO = Ti_3SiC_2 + CO$ (силицирование карбида титана).

Силицирующим агентом в обоих случаях является газообразный SiO. На начальных и промежуточных стадиях карботермического процесса SiO генерируется в результате восстановления диоксида кремния углеродом и низшими оксидами титана. Возможность такого рода взаимодействий в условиях карботермического процесса подтверждена термодинамическими расчётами и в экспериментах с модельными системами, которые мы выполняли ранее [17,18].

Основные реакции газификации кремния с образованием SiO приведены ниже:

$SiO_2 + C = SiO + CO$;

$SiO_2 + 2TiO = SiO + Ti_2O_3$;

$SiO_2 + 3Ti_2O_3 = SiO + 2Ti_3O_5$.

На заключительных стадиях карботермического процесса, когда конверсия кремния из оксидной формы в карбидную практически полностью завершена, источником SiO выступает карбид кремния SiC, который может восстанавливать оксиды титана по реакциям:

$SiC + 2Ti_2O_3 = SiO + CO + 4TiO$;

$SiC + TiO = SiO + TiC$.

Наличие свободного углерода в реакционной смеси, а также повышенное содержание CO в газовой фазе подавляют силицирование карбида титана (реакция 2), что приводит к смещению карботермического процесса в сторону образования преимущественно субмикронного β-SiC. Тем самым исходная концентрация углерода и режим удаления газообразных продуктов (SiO и CO) из зоны реакции являются ключевыми факторами, позволяющими регулировать конечный состав продуктов (табл. 2). На основе полученных данных предложена схема фазовых превращений основной минеральной части ЛК при карботермическом восстановлении, учитывающая оба конкурирующих процесса силицирования.

В результате показано, что в ходе карботермической переработки ЛК при давлениях газовой среды ниже атмосферного и при концентрации активированного угля в исходной шихте от 11 до 17 мас.% обеспечивается глубокое разделение титан- и кремнийсодержащих компонентов лейкоксенового сырья. При указанных условиях кремний практически полностью переходит в газовую фазу в виде SiO, а твёрдофазный продукт представлен смесью низших оксидов титана Ti_3O_5, Ti_2O_3 и оксикарбида титана с малым содержанием углерода TiO_xC_y (y – > 0) (табл. 2). В ходе вакуумной переработки ЛК в указанных условиях содержание примесей железа в твёрдофазном продукте снижается до уровня приблизительно 1 мас. % (в пересчёте на Fe_2O_3), а последующее применение выщелачивающей обработки концентрированной соляной кислотой позволяет дополнительно понизить содержание железа до уровня 0,3 мас. % (в пересчёте на Fe_2O_3).

Таблица 2

Изменение состава лейкоксенового концентрата в результате карботермической обработки

Химический состав (основные компоненты)	Состав представительных проб исходного материала, мас.%	Состав (в пересчете на оксиды) после одностадийной переработки, мас.%	
		Твердый остаток (44-74 мас.%)	Конденсат (26-46 мас.%)
SiO_2	46-52	0,4-36,9	90,0-99,7
TiO_2	45-50	55,4-95,4	0,1-0,2
Al_2O_3	2-5	0,1-3,6	0,8-4,9
Fe_2O_3	1-3	1,2-4,6	0,4-2,3
Другие компоненты	1-3	0,8-1,5	0,4-1,3

Таблица 3

Изменение состава материала отходов (хвостов) флотационного обогащения лейкоксеновой руды в результате карботермической обработки

Химический состав (основные компоненты)	Состав исходного материала, мас.%	Содержание компонентов после одностадийной переработки, мас.% (в пересчете на оксиды)	
		Твердый остаток (13-66 мас.%)	Конденсат (47-90 мас.%)
SiO_2	90-95	11,1-16,5	85,5-99,1(SiO)
TiO_2	2-6	72,2-81,9	0,1-0,2
Al_2O_3	2-4	1,1-4,5	0,1-2,5
Fe_2O_3	1-5	1,2-3,2	0,3-2,5
Другие компоненты	2-5	2,1-3,8	0,4-2,8

На основании сравнительной оценки энергозатрат и выхода полезных компонентов (табл. 2, 3) показано, что использование операций высокотемпературной восстановительной обработки даже в сочетании с существующими традиционными технологическими стадиями обогащения титанового сырья позволит снизить экологические риски обогатительных производств. Продолжение подобных исследований направлено прежде всего на выработку научно обоснованных комплексных технологических схем переработки – обогащения кварцсодержащего титанооксидного сырья и получения наряду или взамен традиционных качественно превосходящих технических продуктов.

Флотационное обогащение. Разрабатывая флотационную стадию обогащения лейкоксен-кварцевых песчаников, необходимо учитывать размеры рутиловых вкраплений (20-50 мкм) и возможную аморфизацию поверхности частиц при высокой степени измельчения (например, в результате механоактивации). В связи с этим возникает задача, с одной стороны – выбора реагентов для химической модификации поверхности, образующейся в процессе измельчения, с другой – поиска новых селективно работающих эффективных флотореагентов. Такие предварительные экспериментальные исследования применительно к лейкоксен-кварцевому и ильменитовому сырью нами проведены с использованием сераорганических соединений [33].

Совершенствование процессов флотационного выделения титанооксидных компонентов руды [19] может заключаться в оптимизации собственно процесса флотации за счет использования более эффективных флотореагентов или включении в технологический цикл переработки сырья дополнительных подготовительных операций. Выбор сераорганических соединений в качестве флотореагентов был основан на известных свойствах веществ-собирателей [34, 35] и применяемых для флотации оксидных минералов. Алкилсульфаты показывают свою эффективность при разделении гранатов, хромитов, компонентов руд, содержащих карбонаты. Алкилсульфонаты применяются при переработке оксидных и фторидных минеральных композиций. Регулируя степень поляризации связей в органических молекулах за счет введения различных функциональных групп-заместителей при их синтезе удается направленно оптимизировать эффект взаимодействия этих молекул с активными поверхностными центрами флотируемых частиц минералов.

В сравнении с продуктами нефтепереработки (фракции Арланской нефти от керосиновой до дизельно-топливной с температурами кипения от 110° до 410°С) в качестве флотореагентов были испытаны синтетические сераорганические соединения дибензилтиолсульфонат и 1-метилимидазол-2-сульфокислота. Испытания проведены на трех фракциях (виброизмельчение и рассев) разной крупности от -0,063 до +0,200 мкм. Результаты испытания природных и синтетических флотореагентов проанализированы с целью выработки требований для синтеза новых органических соединений применительно к эффективным флотосистемам на этапе исследований, в котором лучшие результаты показал образец 2 (1-метилимидазол-2-сульфокислота). При его использовании достигнут выход продукта с содержанием 70,6 мас.% диоксида титана и низким содержанием красящих оксидов (содержание оксида железа в обогащенном продукте понизилось с 3,3 до 1,1 мас.% и др.).

Описанные выше схемы карботермии и автоклавной обработки опробованы также применительно к хвостам флотационного обогащения титаноносных песков, содержащим 2-6 мас.% TiO_2. При этом карботермический метод обеспечивает практически полное разделение титан- и кремнийсодержащих компонентов (табл. 3), в то время как в результате автоклавной обработки кварц-рутиловых смесей с высоким исходным содержанием кварца титанооксидный продукт содержит примесь кремниевых соединений в пересчете на SiO_2 не менее 3-5%.

Обработка лейкоксенового концентрата в автоклаве. Известный прием обработки ЛК в автоклаве в растворах NaOH (3-15%) при температурах 160°–220°С позволяет растворить кварцевую «рубашку» лейкоксеновых агломератов. Ранее был предложен температурно-временной режим обработки, который обеспечивает 88–95%-ную очистку титанооксидного продукта от соединений кремния [25]. В результате выполнения данной работы были исследованы твердые продукты, полученные после термобарического воздействия на ЛК: водный раствор гидроксида натрия (5–7 %), температура 160°–200°С, время процесса 12–24 час, коэффициент заполнения автоклава 0,75.

После завершения процесса твердые продукты – тонкодисперсные порошки промывали и осаждали с помощью центрифуги (14000–16000 об/мин). Исследование твердых продуктов проводили с использованием методов рентгенографии, рентгенофлюоресцентного анализа и электронной микроскопии. Отмечено, что при термобарическом воздействии на руду (ЛК) в течение 15–20 час, наряду с переводом кварца в растворимый метасиликат, начинается частичная (10–15%) перекристаллизация рутила в анатаз. Полученные титанооксидные твердые продукты содержат следовые количества примесей кремния, железа, алюминия (сумма менее 1,5 мас.%). Они отличаются высокой дисперсностью (в основном менее 0,5 мкм), а формирование активной анатазной модификации диоксида титана открывает дополнительные возможности использования продуктов автоклавной переработки ЛК для синтеза функциональных титанооксидных материалов.

Заключение

Сравнительная оценка результатов разделения (с использованием методов карботермии, флотации и автоклавирования) и выхода основных полезных компонентов, их готовности для дальнейшего использования в производстве функциональных материалов показала, что использование операций высокотемпературной восстановительной обработки в сочетании с существующими традиционными технологическими стадиями обогащения титанового сырья позволит снизить энергопотребление и эколо-

гические риски обогатительных производств. Продолжение подобных исследований направлено прежде всего на выработку научно обоснованных комплексных технологических схем переработки-обогащения кварцсодержащего титанооксидного сырья и получения наряду или взамен традиционных качественно превосходящих технических продуктов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологической части проектов обогатительных производств для повышения эффективности отделения (выделения) как титансодержащих, так и кремнийсодержащих компонентов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ проект ОФИ № 12-3-021-КНЦ и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект № 12-П-3-1038.

Литература

1. *Голдин Б.А., Рябков Ю.И., Истомин П.В.* Петрогенетика порошков, керамики, композитов: монография / Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2006. 276 с.
2. *Патент* 2363770, РФ. Двухслойная монолитная радиопрозрачная пластина / Б.А. Голдин, Н.А. Секушин, Ю.И. Рябков. Коми НЦ УрО РАН. Опубл. 10.08.2009. Бюл.№22.
3. *Голдин Б.А., Секушин Н.А., Назарова Л.Ю., Рябков Ю.И.* Композиционные материалы на основе железо-титанового минерального сырья для поглощения высокочастотного электромагнитного излучения // Огнеупоры и техническая керамика. 2010. №1–2. С.25–29.
4. *Разработка наноструктурированных* керамических композитов / Б.А.Голдин, В.Э.Грасс, П.В.Истомин, Н.А.Секушин, Ю.И.Рябков // Известия Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2010. Вып.1. С. 16 – 23.
5. *Патент* 2005114, РФ, МПК С04В 35/10. Способ изготовления электропроводящего керамического материала / Б.А.Голдин, Ю.И.Рябков, Н.А. Секушин. Опубл. 30.12.1993. Бюл. № 47–48. 4 с.
6. *Патент* 2075529, РФ, МПК С22В 34/12. Способ обогащения лейкоксенового концентрата/ Б.А. Голдин, П.В. Истомин, Ю.И. Рябков, Н.А. Секушин, Г.П. Швейкин. Приоритет 18.11.1993; Опубл. 20.03.1997. Бюл. № 8. 4 с.
7. *Патент* 2082693, РФ, МПК С04В35/46. Способ получения оксидтитановой керамики / Б.А. Голдин, П.В. Истомин, Ю.И. Рябков, Н.А. Секушин, Г.П. Швейкин. Приоритет 20.12.1993; опубл. 27.06.1997. Бюл. № 18. 4 с.
8. *Патент* 2086690, РФ, МПК С22В34/12. Способ переработки лейкоксенового концентрата / Б.А. Голдин, П.В. Истомин, Ю.И. Рябков. Приоритет 11.05.1994; опубл. 10.08.1997. Бюл. № 22. 4 с.
9. *Патент* 2136378, РФ, МПК В03С1/02, В03В1/02. Способ обогащения бокситов / Б.А. Голдин, В.Э. Грасс, Ю.И. Рябков. Приоритет 02.12.1997; опубл. 10.09.1999. Бюл. № 25. 4 с.
10. *Рябков Ю.И.* Карботермическое восстановление оксидов при получении новых карбидных материалов // Конструкции из композиционных материалов. 2006. № 4. С. 43–46.
11. *Попова С.А., Чукичева И.Ю., Кучин А.В.* Алкилирование резорцина камфеном в присутствии твердых кислотных катализаторов и алкоксосолей // Бутлеровские сообщения, 2011. Т.25. № 6. С.81–85.
12. *Yadav, Ganapati D.* Synergism of Clay and Heteropoly Acids as Nano-Catalysts for the Development of Green Processes with Potential Industrial Applications // Catalysis Surveys from Asia, 2005. Vol. 9. No.2. P. 117–137.
13. *G.Sartori, R.Maggi.* Use of Solid Catalysts in Friedel-Crafts Acylation Reactions // Chem. Rev., 2006. Vol. 106. P. 1077–1104.
14. *S.M.Kumbar, et al.* Heteropoly acid supported on titania as solid acid catalyst in alkylation of p-cresol with tert-butanol // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 2006. Vol. 256. P.324–334.
15. *Структура многослоевых* углеродных нанотрубок, полученных химическим осаждением из газовой фазы / Е.М.Байтингер, Н.А.Векессер, И.Н.Ковалев, А.А.Синицын, И.А.Цыганков, Ю.И.Рябков, В.В.Викторов // Неорганические материалы. 2011. Т.47. №3. С.301–305.
16. *Нелинейные эффекты* в корунде и ильмените в высокочастотных электромагнитных полях/ Б.А.Голдин, Ю.И.Рябков, Н.А.Секушин, Л.Ю.Назарова, А.М. Асхабов // Доклады Академии наук. 2011. Т.436. № 1. С. 72–74.
17. *Голдин Б.А., Рябков Ю.И., Истомин П.В., Грасс В.Э.* Высокотемпературная восстановительная переработка оксидного минерального сырья. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 216 с.
18. *Голдин Б.А., Рябков Ю.И., Истомин П.В., Швейкин Г.П.* Устойчивые фазовые состояния системы TiO2 – SiO2 – C в условиях вакуума // Доклады РАН. 1996. Т. 350. №2. С. 223 – 225.
19. *Патент* 2250926, РФ. Способ переработки титан-кремнийсодержащих концентратов / М.П.Федун, В.К.Баканов, В.Е.Охрименко, Е.К.Георгиади, Л.Б.Чистов, В.В.Пастихин. Опубл. 27.04.2005.
20. *Xiaobo Chen, Samuel S. Mao.* Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications. Chem. Rev, 2007. Vol.107. P.2891–2959.
21. *Резниченко В.А., Аверин В.В., Олюнина Т.В.* Титанаты: научные основы, технология, производство / Отв. ред. Л.И. Леонтьев. М.: Наука, 2010. 267 с.
22. *Патент* 2458743, РФ. Способ флотации титаносодержащих руд и руд водоносного типа для извлечения минералов / В.В.Муляк, А.Р.Хабибуллин, В.П.Родак, С.В.Родак. Приоритет 21.01.2011.
23. *Патент* 2032756, РФ. Способ переработки лейкоксеновых концентратов / Б.А.Остащенко, И.Н.Бурцев; Н.Н.Усков. Опубл. 10.04. 1995.

24. *Патент* 1766087, РФ. Способ переработки титановых концентратов / Б.А. Остащенко, И.Н.Бурцев, Н.Н. Усков. Опубл. 1982.
25. *Игнатьев В.Д., Бурцев И.Н.* Лейкоксен Тимана: минералогия и проблемы технологии. СПб., 1997. 215 с.
26. *Патент* 2382094, РФ. Способ переработки кремнисто-титановых концентратов/ А.С.Клямко, В.В.Коржаков, В.И.Власенко, А.А.Пранович. Опубл. 20.02.2010.
27. *Патент* 2216517, РФ. Способ получения искусственного рутила из лейкоксенового концентрата / Г.Б.Садыхов, И.М.Зеленова, В.К.Баканов, М.П. Федун. Опубл. 20.11.2003.
28. *Патент* №2090509, РФ, МПК C01G 23/047. Способ комплексной переработки лейкоксенового концентрата / Г.Н.Кожевников, А.Г.Водопьянов, Н.А.Ватолин, Л.И.Леонтьев. Опубл. 20.09.1995.
29. *Патент* 2334799, РФ. Способ переработки нефтетитановых лейкоксеновых концентратов / А.В.Аладьин, В.В.Пастихин, Г.В.Ардасов, С.В. Агеев, Ю.П. Москвичев, И.А. Молодов. Опубл. 21.06.2007.
30. *Патент* 2336348, РФ. Способ переработки титан-кремнийсодержащих концентратов с получением искусственного рутила/ М.П.Федун, В.К.Баканов, Ю.Н.Назаров, В.А.Крохин, В.В.Туляков. Приоритет 07.03.2007; Опубл. 20.10.2008.
31. *Федорова М.Н.* Химическая доводка титанового концентрата путем автоклавного выщелачивания кремневой кислоты // Титан и его сплавы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. Вып. 9. С.36–41.
32. *Тарасов А.В.* Металлургия титана. М.: Академкнига, 2003. С.142–143.
33. *Новые технологические* решения рудоподготовки и извлечения ценных минералов / О.Б.Котова, О.М.Лезина, Л.Ю.Назарова, С.А.Рубцова, Ю.И. Рябков // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. №10. С.32–34.
34. *Небера В.П., Соболев Д.С.* Состояние и основные направления развития флотации за рубежом. М., 1968.
35. *Глембоцкий В.А., Классен В.И.* Флотационные методы обогащения. 2 изд. М., 1981.
36. *Добровольский И.П.* Химия и технология оксидных соединений титана. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 172 с.

Статья поступила в редакцию 17.12.2012.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 581.526.325.2(282.256.62)

СТРУКТУРА ЛЕТНЕГО ФИТОПЛАНКТОНА РЕКИ ОЛЁКМЫ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ) И СРЕДА ЕГО ОБИТАНИЯ

В.А. ГАБЫШЕВ, О.И. ГАБЫШЕВА

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск
v.a.gabyshev@ibpc.ysn.ru

Получены первые сведения о пространственной структуре фитопланктона и химическом составе воды обширного участка средней и нижней Олёкмы (Восточная Сибирь, бассейн р. Лены). Выявлены особенности формирования фитопланктона р. Олёкмы на участках с различными гидрологическими условиями. Значительно пополнены имевшиеся сведения о видовом разнообразии фитопланктона реки. Определены основные факторы, лимитирующие количественное развитие фитопланктона. Формирование химического состава и физических параметров вод р. Олёкмы происходит под действием природных факторов, связанных, главным образом, с влиянием вечномерзлых грунтов. Проведена комплексная оценка качества вод реки.

Ключевые слова: **река Олёкма, Восточная Сибирь, фитопланктон, физико-химические данные воды, качество воды**

V.A. GABYSHEV, O.I. GABYSHEVA. **SPATIAL STRUCTURE OF THE PHYTOPLANKTON OF OLYOKMA RIVER (EASTERN SIBERIA) IN SUMMER AND ITS HABITAT CONDITIONS**

The first results of the study of phytoplankton and chemical composition of water of the middle and lower Olyokma River (Eastern Siberia, Lena River basin) were reported. The study revealed spatial structure of phytoplankton communities of river sections with various hydrologic conditions. The available information on the species diversity of the river was significantly replenished. Main factors that limit phytoplankton density and biomass were found. Formation of chemical composition and physical parameters of waters of the river Olyokma occurs under the influence of natural factors connected, mainly, with the influence of permanently frozen soils. Water quality was estimated from phytoplanktic bioindicators and water chemical characteristics.

Key words: **Olyokma River, Eastern Siberia, phytoplankton, physical-chemical characteristics, water quality**

Река Олёкма – крупный правый приток р. Лены. Длина реки 1310 км, площадь бассейна 201,2 тыс. км^2. Олёкма берет начало в Муройском хребте Олёкминского Становика. Река протекает по горной стране, большей частью имеет глубокую и узкую долину. Территория бассейна реки характеризуется сплошным распространением вечномерзлых грунтов, климат резкоконтинентальный. В бассейне реки работают предприятия добывающей промышленности, в том числе крупный Олёкминский горно-обогатительный комбинат по добыче железной и титановой руд. В рамках регионального проекта по созданию Южно-Якутского промышленного района в бассейне реки планируется прокладка магистрального газопровода. Участок р. Олёкмы протяженностью 130 км расположен на территории Олёкминского государственного заповедника.

Первые сведения о водорослях р. Олёкмы приводятся в работе Л.Е. Комаренко [1], которая основана на материалах сборов в устье реки (1948–1951 гг.) и посвящена изучению её альгофлоры. Автором выявлено 62 вида водорослей из трех отделов: Bacillariophyta (44 вида), Chlorophyta (16) и Chrysophyta (2). В 1992–1995 гг. О.Ю. Рожковой [2] отработаны материалы на участке р. Олёкмы в пределах Олёкминского заповедника. Автором проведен таксономический и эколого-географический анализ речной альгофлоры, выполнена оценка качества воды по гидрохимическим параметрам. Альгофлора реки включает 108 видов из шести отделов. От-

мечено доминирование Bacillariophyta и Chlorophyta (95% видового состава), а также низкое развитие биомассы фитопланктона (0,03–0,10 мг/л). Основу общей биомассы (48–100%) составляют диатомеи.

Материалом для единственной публикации о таксономическом составе собственно фитопланктона р. Олёкмы [3] послужили сборы 1981–1982 гг., выполненные в устьевой части реки. В планктоне реки авторами выявлено 79 видов водорослей из четырех отделов; доминируют диатомовые (54 вида, или 68% от общего числа видов фитопланктона) и зеленые (20 видов, 25%). Отмечено, что 10% видового состава фитопланктона – это альпийские и арктоальпийские организмы. Индекс сапробности невысокий – 1,5.

Основные цели настоящего исследования: выявить особенности пространственной структуры планктонных сообществ водорослей р. Олёкмы в летний период и оценить качество воды на основе ее гидрохимических параметров и биоиндикационных свойств водорослей планктона.

Материал и методы

Сбор полевого материала выполнен в период с 28 июня по 4 июля 2011 г. на участке реки от впадения р. Нюкжи до устья (638 км) (рис. 1). На основе особенностей гидрологического режима и гидрографических характеристик обследованная часть реки условно разделена на два участка.

Участок А начинается от впадения р. Нюкжи и простирается до устья р. Тас-Миеле. Общая длина участка – 253 км. На протяжении первых 75 км участка А Олёкма огибает отроги Северного Дырындинского и Станового хребтов. Скорость течения – до 1,2 м/с. Ниже устья р. Хани река входит в ущелье между хребтами Каларским, Становым и Удокан, долина резко сужается и приобретает характер каньона. Русло представляет стремнину с большим количеством крупных порогов, где скорость течения высокая – 1,7–2,2 м/с, а местами – до 5,5. Глубина реки по фарватеру достигает 3 м. Прозрачность воды по диску Секки составляет 2,5–2,9 м. Берега реки и дно ее русла сложены, главным образом, галькой, в ущелье – крупными валунами. Температура воды колеблется по пунктам наблюдений от 16,3 до 22,2°С, а в устьях притоков понижена до 13,3–15,5°С.

Участок В длиной 385 км – от впадения р. Тас-Миеле до устья Олёкмы. На этом участке река покидает ущелье и огибает сначала Чугинское, а затем Олёкмо-Чарское плоскогорья, а перед впадением в р. Лену протекает по Приленскому плато. Долина реки расширяется, берега и дно преимущественно галечные, а в нижней части участка – с примесью песка. Скорость течения меньше, чем на предыдущем участке, – от 0,9 до 1,5 м/с и снижается по направлению к устью реки. Глубина русла меняется от 1,9 до 6,4 м. Прозрачность воды варьирует в пределах от 2,0 до 2,5 м, а в устьях притоков понижается до 1,3–1,5 м. Температура воды варьирует от 16,3 до 18,4°С, в устьях притоков – 10,4–14,2°С.

Условные обозначения:

○ - пункты отбора проб фитопланктона

● - пункты отбора проб фитопланктона и гидрохимии

Ⓐ Ⓑ - участки р. Олёкмы

Масштабная линейка:

50 км

Рис. 1. Пункты отбора проб на р. Олёкме.

Всего собрана и обработана 21 проба воды для гидрохимического анализа и 48 планктонных альгологических проб. Отбирались они в 24 пунктах (рис. 1) в прибрежной зоне, либо по фарватеру из поверхностного горизонта воды (0-0,3 м). Химический анализ проб воды выполнен по общепринятым методикам [4]. При сборе, обработке и анализе материала фитопланктона применены унифицированные методы [5]. Для проведения комплексной оценки качества воды использованы классификации В. Сладечека (V. Sládeček) [6], О.П. Оксиюк и др. [7], а также нормативы ПДК рыбохозяйственного назначения [8].

Результаты работы

Гидрохимия

Вода р. Олёкмы не имеет запаха и вкуса, показатели прозрачности высокие на всем протяжении реки. Реакция среды близка к слабощелочной. Кислородный режим – в пределах нормы (таблица). По компонентному составу главных ионов воды реки сульфатного класса, кальциево-магниевой группы, третьего типа, пресные, маломинерализованные, очень мягкие. Концентрация компонентов солевого состава и процентное соотношение элементов на различных участках реки значительно не меняются. На долю сульфатов приходится 30–38 %-экв. от общей суммы катионов и анионов, на долю кальция и магния – 20–38, гидрокарбонатов – 15–21, хлоридов – 5–12, натрия – 1–9, калия – 1–2 %-экв. Превышения ПДК по солевому составу не зафиксировано.

Воды р. Олёкмы бедны биогенными и органическими элементами (таблица). Отмечен низкий уровень содержания фосфорных соединений (фосфатов, фосфора общего). Невысока концентрация азотистых соединений (азота нитратного, нитритного и аммонийного). Низкими показателями содержания характеризуется комплекс органических веществ – легкоокисляемые органические вещества (по БПК$_5$), перманганатная окисляемость, фенолы, нефтепродукты и анионные поверхностно-активные вещества (АПАВ). Особенностей в распределении комплекса биогенных и органических соединений по продольной оси реки не обнаружено, превышения ПДК нет.

Зарегистрировано повышенное содержание железа общего и трудноокисляемых органических веществ (таблица). По их концентрации вода реки характеризуется низким уровнем загрязнения; по содержанию железа общего участок А имеет низкий уровень загрязнения, а участок В – средний.

Фитопланктон

В результате собственных наблюдений в планктоне р. Олёкмы выявлено 232 вида водорослей (248 таксонов рангом ниже рода, включая номенклатурный тип вида) из семи отделов, 13 классов, 20 порядков, 47 семейств, 93 родов.

По видовому богатству преобладают представители отдела Chlorophyta (44,0% от общего чис-

Физико-химические параметры поверхностных вод р. Олёкмы на различных участках (пределы колебаний)

Показатели	ПДК$_{вр}$ [8]	Участки реки	
		А	В
Компонентный состав главных ионов			
Минерализация, мг/л	1000	20,04-42,46	20,93-77,35
Общая жёсткость, мг-экв/л	7	0,28-0,58	0,28-1,06
Ca^{2+}, мг/л	180	2,81-6,01	3,21-14,43
Mg^{2+}, мг/л	40	0,24-4,62	0,73-7,05
Na^{+}, мг/л	120	1,20-1,80	1,20-3,30
K^{+}, мг/л	50	0,2	0,10-0,20
HCO_3^{-}, мг/л	не лимит.	1,22-15,87	3,66-25,63
Cl^{-}, мг/л	300	2,13-3,90	2,48-7,44
SO_4^{2-}, мг/л	100	9,13-20,17	4,80-25,46
Физические показатели			
Запах, баллы	2	0	0
Вкус, баллы	2	0	0
Прозрачность, м	-	2,50-2,90	1,25-2,50
Цветность, градусы	20	15-**23**	13-**33**
Взвешенные вещества, мг/л	-	11,20-14,00	14,40-22,00
pH	6,50-8,50	7,03-7,79	7,41-8,00
Температура воды, С°	-	13,30-22,20	10,40-18,40
Газовый режим			
O_2, мг/л	более 6,0	7,68-9,71	8,90-11,03
Насыщенность кислородом, %	100	91-99	87-100
CO_2, мг/л	-	3,96-6,60	2,64-5,28
Биогенные и органические вещества			
$N-NH_4^{+}$, мг/л	0,39	0,06-0,43	0,06-0,26
$N-NH_2^{-}$, мг/л	0,02	0,002-0,005	0,002-0,006
$N-NH_3^{-}$, мг/л	9,10	0,07-0,10	0,02-0,11
$P-PO_4^{3+}$, мг/л	0,20	0,00-0,01	0,01-0,03
$P_{общ.}$, мг/л	0,20	0,01-0,10	0,01-0,14
$Si-SiO_2$, мг/л	-	0,84-1,88	0,94-2,44
ХПК, мг/л	15,00	**28,30-35,40**	**23,70-34,60**
БПК$_5$, мг/л	менее 2,0	0,18-0,97	0,24-1,02
Перманганатная окисляемость, мг/л	15,00	7,92-15,00	2,88-14,40
$Fe_{общ.}$, мг/л	0,10	0,07-**0,16**	0,04-**0,52**
Фенолы, мг/л	0,001	0,0004	0,0004
АПАВ, мг/л	0,10	0,02	0,02
Нефтепродукты, мг/л	0,05	0,004	0,004

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК$_{вр}$; прочерк – значение ПДК$_{вр}$ отсутствует.

ла видов) и Bacillariophyta (40,1%). Разнообразно представлены Chrysophyta (5,6%) и Cyanophyta (4,7%); Xanthophyta (3,0%), Euglenophyta и Dinophyta (по 1,3%) – меньше.

На уровне классов выделяются Pennatophyceae (37,9% видового состава), Conjugatophyceae (27,6%) и Chlorophyceae (16,4%); на уровне порядков – Raphales (31,9%), Desmidiales (26,7%) и Chlorococcales (13,8%).

Наиболее крупные по числу видов семь семейств включают 123 вида водорослей (53,0% от общего числа видов), которые принадлежат к отделам Chlorophyta, Bacillariophyta и Chrysophyta. Одно- и двувидовых семейств в спектре водорослей планктона р. Олёкмы – 22, т.е. 46,8% от их общего количества.

Анализ родового спектра водорослей планктона р.Олёкмы указывает на неравномерность распределения видов по родам. Так, девять ведущих родов, составляющих 9,7% всего родового состава, охватывают 38,0% общего числа видов. Одно- и двувидовыми являются 73,1% всех родов водорослей планктона реки, причем на их долю приходится 35,8% видового состава. Пропорции флоры 1:2, 0:4, 9:5,3. Родовая насыщенность – 2,5. Вариабельность вида – 1,1.

В фитопланктоне Олёкмы преобладают случайно-планктонные (бентосные) виды (30,2% видового состава) планктонно-бентосных (27,4%) и истинно-планктонных форм (18,5%). Отмечено пять реофильных видов: *Gomphonema angustatum* (Kütz.) Rabenh. *var. productum* Grun., *G. longiceps* Ehr. *var. montanum* (Schum.) Cl. *f. suecicum* Grun., *G. parvulum* (Kütz.) Grun., *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Meridion circulare* Ag. и два вида, предпочитающих хорошо аэрированные воды, – *Hantzschia elongata* (Hantzsch) Grun. и *Pinnularia borealis* Ehr.

Воды р. Олёкмы маломинерализованные, что обусловливает преобладание в фитопланктоне олигогалобов (61,3%). Активная реакция вод близка к слабощелочной, поэтому значительна доля индифферентов (18,1%), а также алкалифилов и алкалибионтов (в сумме 16,9%), ацидофилов (11,7%), ацидобионты отсутствуют.

По географической принадлежности основу фитопланктона реки составляют космополиты (55,6%). В связи с особенностями природных условий региона наибольший интерес представляют альпийские и арктоальпийские организмы, доля которых в фитопланктоне реки – 9,3%. Среди них три вида отмечены в большинстве пунктов наблюдений: *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt, *Hannaea arcus*, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz. Доля бореальных видов и представителей голарктического географического царства – меньше (по 4,4%). Географическое положение р. Олёкмы объясняет присутствие в планктоне стенотермных холодолюбивых диатомей: *Aulacoseira distans* (Ehr.) Simon. *var. alpigena* (Grun.) Simon., *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib., *D. hiemale var. mesodon* (Ehr.) Grun., *Eunotia diodon* Ehr., *E. praerupta* Ehr., *E. praerupta var. bidens* (W. Sm.) Grun., *Gomphonema ventricosum* Greg.

По отношению к концентрации органических веществ в водной толще состав водорослей-индикаторов р. Олёкмы на 19,9% образован b-мезосапробными формами, 16,7 – олигосапробными, 32,7% – видов, развивающиеся в переходной зоне между b-мезо- и олигосапробной. Меньше водорослей, характеризующих воды с высокими показателями сапробности (β-α, α-β, α, β-ρ), – 7,6% и с очень низкими (x, x-o, o-x, x-β) – 23,1%.

В трёх пунктах наблюдений на реке обнаружены инициальные и вегетативные клетки реликтового вида, представителя диатомей – *Pliocaenicus costatus* Flower, Ozornina et Kuzmina.

Участок А. В фитопланктоне р. Олёкмы на этом участке выявлено 163 вида (167 внутривидовых таксонов) из семи отделов. По числу видов основу фитопланктона составляют зеленые (44,8% общего числа видов) и диатомовые водоросли (38,0%). Золотистых – меньше (6,1%), синезеленых и желтозеленых встречено по шесть видов, динофитовых и эвгленовых – по три.

Численность фитопланктона основного русла этого участка реки составляет в среднем 25,6 тыс. кл/л, биомасса – 0,03 мг/л. В районе устьев притоков эти показатели выше – 42,5 тыс. кл/л и 0,07 мг/л. Основу численности и биомассы фитопланктона формируют диатомовые как в русловой части реки (соответственно 76,7 и 85,4%), так и в районе устьев притоков (97,3 и 90,9%) (рис. 2, 3). Показатели развития зеленых водорослей следующие: в русловой части реки – 6,6% общей численности фитопланктона и 10,8% общей биомассы, в устьях притоков – соответственно 2,7 и 9,1%. Доля представителей других отделов в количественном развитии фитопланктона незначительна, однако в основном русле реки золотистые водоросли имеют высокий показатель численности, составляя 16,5% от общей численности фитопланктона.

Состав структурообразующих видов фитопланктона этого участка реки неоднороден. В верхней части участка, до впадения р. Хани, эдификаторами являются представители диатомей и золотистых водорослей: доминант – *Tabellaria flocculosa*, субдоминант – *Dinobryon divergens* Imhof. Это арктоальпийский вид и космополит, представители планктонно-бентосного типа местообитаний и истинного планктона. В нижней части участка (ниже устья р. Хани) *Dinobryon divergens* выпадает из числа видов-эдификаторов и в их составе исключительно диатомеи: доминанты *Tabellaria flocculosa* и *Achnanthes nodosa* A. Cl. и субдоминант – *Hannaea arcus*. Это арктоальпийские планктонно-бентосные и случайно-планктонные (бентосные) виды.

Индекс биоразнообразия участка А р. Олёкмы варьирует по различным пунктам наблюдений от 3,34 до 4,92. Индекс сапробности в среднем для участка – 1,25.

Участок В. Видовое богатство планктона здесь несколько выше, чем на предыдущем участке, и составляет 181 вид (194 вида и разновидно-

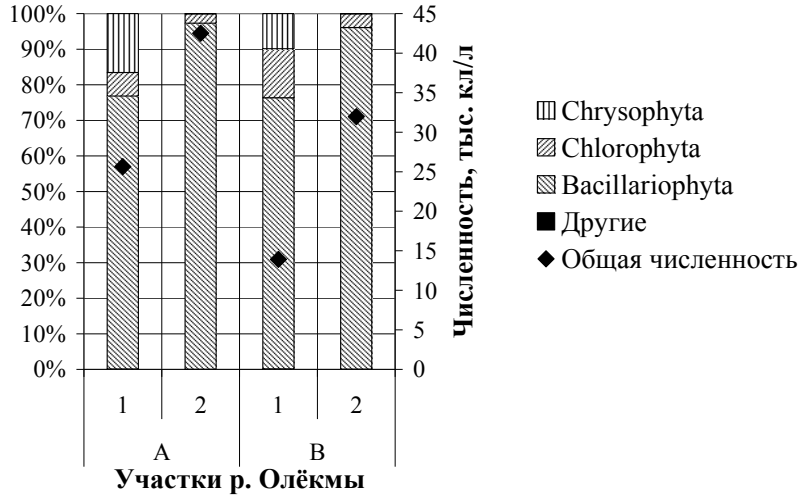


Рис. 2. Доля доминирующих отделов водорослей в общей численности фитопланктона, а также её абсолютный показатель на различных участках р. Олёкмы в основном русле (1) и в районе устьев главных притоков (2).

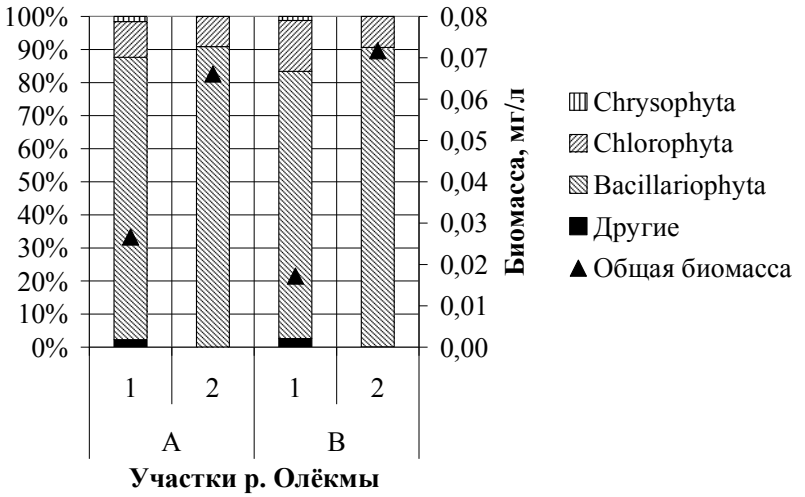


Рис. 3. Доля доминирующих отделов водорослей в общей биомассе фитопланктона, а также её абсолютный показатель на различных участках р. Олёкмы в основном русле (1) и в районе устьев главных притоков (2).

сти) водорослей, которые относятся к семи отделам. Основу флористического состава фитопланктона, как и на участке А, представляют Bacillariophyta (47,5% от общего числа видов) и Chlorophyta (38,1%). Менее разнообразны водоросли отделов Cyanophyta (5,5%) и Chrysophyta (4,4%); из Dinophyta и Xanthophyta встречено по три вида, из Euglenophyta – два.

Уровень вегетации фитопланктона основного русла реки снижается в сравнении с вышерасположенным участком (рис. 2, 3) и составляет 13,9 тыс. кл/л и 0,02 мг/л. В районе устьев притоков количественные показатели развития фитопланктона, как и на участке А, выше, чем в русловой части реки (32,0 тыс. кл/л и 0,07 мг/л). Основу фитопланктона, как и на участке А, формируют диатомовые, составляя 76,2% общей численности и 80,8% общей биомассы в русловой части реки, и соответственно 96,0% и 90,5% – в районе устьев притоков (рис. 2, 3). Зеленые водоросли на втором месте, достигая в среднем для участка В: 13,8% общей численности фитопланктона и 15,4% общей биомассы в русловой части реки, а в устьях притоков – соответственно 3,9 и 9,4%. В фитопланктоне основного русла реки, как и на предыдущем участке, золотистые водоросли имеют относительно высокий показатель численности, составляя 9,8% от общей численности фитопланктона. Вклад в количественное развитие фитопланктона представителей других отделов незначителен.

Набор структурообразующих видов фитопланктона меняется в сравнении с вышерасположенным участком реки: это – представители отдела Bacillariophyta. В числе доминантов планктонно-бентосные виды: космополит – *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr. и северо-альпийский вид – *Tabellaria flocculosa*. Субдоминантом является случайно-планктонный арктоальпийский вид – *Achnanthes nodosa*.

Индекс биоразнообразия меняется по пунктам отбора проб от 2,43 до 5,10. Индекс сапробности – 1,45.

Обсуждение результатов

Воды р. Олёкмы бедны биогенными и органическими элементами. Повышенное содержание железа общего и трудноокисляемого органического вещества имеет природный характер. Данные компоненты накапливаются в поверхностных водах за счет интенсивных процессов оттаивания и размывания поверхностного слоя грунтов, а также в результате разложения донных осадков. На современном этапе река является нетрансформированным водотоком и находится преимущественно под влиянием природных факторов.

Основу видового списка фитопланктона р.Олёкмы на 84,1% составляют зеленые и диатомовые водоросли. Для устья Олёкмы этот факт был отмечен прежними исследователями [3]. Подобное соотношение характерно и для других рек Севера [9]. Преобладание видов с небольшим числом родов и значительное число одно- и двувидовых родов являются особенностью флоры водорослей северных водоемов [10]. Полученные данные о фитопланктоне р.Олёкмы позволили значительно пополнить имеющиеся сведения о его видовом разнообразии.

Отмечена тенденция увеличения числа видов во флоре планктона по направлению к устью реки, видовой состав фитопланктона участка В несколько богаче, чем участка А. Наибольшие значения индекса биоразнообразия фитопланктона р.Олёкмы зафиксированы для пунктов наблюдений, расположенных в низовье реки. В состав чаще встречающихся в реке видов, отмеченных нами во всех пунктах наблюдений, входят представители зеленых и диатомовых водорослей: *Closterium leibleinii* Kütz., *C. littorale* Gay *f. minus* Komarenko, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *T. flocculosa*. Значительная доля в планктоне реки случайно-планктонных (бентосных) форм, а также наличие аэрофильных и холодолюбивых видов водорослей отражают горный характер р. Олёкмы.

Реликтовый вид – представитель диатомей *Pliocaenicus costatus* был обнаружен нами в Олёкме впервые. Однако он широко распространен в озерах бассейна р. Олёкма [11], и очевидно, оттуда попадает в планктон реки. Оптимум развития представителей рода был в плиоцене, когда он насчитывал восемь видов. Есть сведения о его находке лишь в Северном полушарии. Современные популяции представлены одним видом (*P. costatus)*, который отмечен в арктических и горных областях Азии.

Наиболее высокий уровень количественного развития фитопланктона р. Олёкмы зарегистрирован в районе устьев её притоков, являющихся неглубокими горными потоками, а также на участке А – основного русла реки с ярко выраженным горным характером (рис. 2, 3). Это обусловливает занос в планктон водорослей из донных обрастаний. Аналогичный факт отмечен в развитии фитопланктона других рек региона на участках с высокой скоростью течения [12].

Уровень вегетации фитопланктона реки невысокий. Максимальное значение биомассы, зафиксированное нами в одном из пунктов наблюдений на р. Олёкме (0,12 мг/л), сопоставимо с ранее полученными данными для реки (0,10 мг/л) [2], а также с имеющимися сведениями по другим горным рекам региона [13].

Развитие фитопланктона р. Олёкмы лимитируют такие факторы, как: высокая скорость течения реки (течение – основной фактор, ограничивающий развитие планктона [14]), низкое содержание в водах реки биогенных элементов и низкая минерализация вод.

Основу численности и биомассы фитопланктона всех исследованных участков реки составляют Bacillariophyta и Chlorophyta (рис. 2, 3). Это характерно и для других северных рек [12,13]. В планктоне основного русла реки по численности выделяются также золотистые водоросли, которые предпочитают холодные чистые воды [5]. В устьях притоков р. Олёкмы в фитопланктоне доля диатомей как по численности, так и по биомассе выше, чем в русловой части реки. В притоках Олёкмы как горных потоках температура воды ниже, чем в самой реке. Здесь активно вегетируют прикрепленные формы диатомей. Из обрастаний они попадают в планктон. Доминирование диатомовых водорослей в биомассе планктона р. Олёкмы было отмечено исследователями и ранее [2]. В составе структурообразующих видов фитопланктона р. Олёкмы – представители Bacillariophyta и Chrysophyta, планктонно-бентосные и бентосные формы. Учитывая, что на значительном протяжении Олёкма – типично горная река, вполне объяснимо наличие в фитопланктоне среди эдификаторов трёх арктоальпийских видов и одного реофила.

Коэффициент сходства (Съеренсена) видового состава фитопланктона участков А и В р. Олёкмы – средний (0,63). Это объясняется сменой условий обитания фитопланктона, главным образом гидрологии и морфометрии реки.

Изменения флористического состава фитопланктона, выявленные с помощью кластерного анализа, пространственно совпадают с участками реки, на которых происходит смена гидрологических условий (рис. 4). Первый, самый крупный флористический сдвиг, отмечен ниже устья р. Хани (пункт 4),

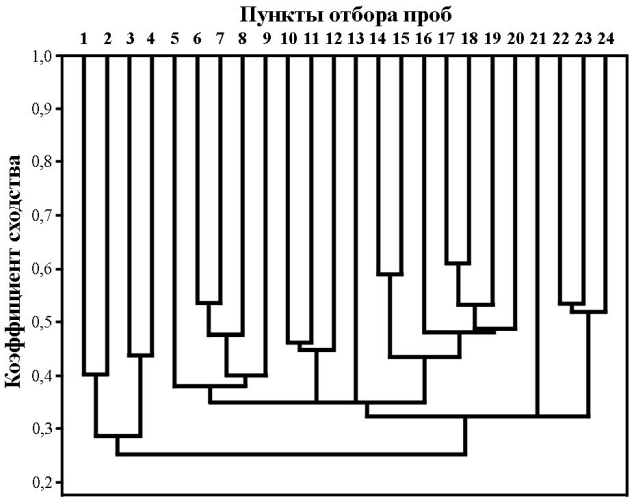


Рис. 4. Дендрограмма иерархического кластерного анализа флоры фитопланктона р. Олёкмы.

где Олёкма входит в горное ущелье. Второй значительный сдвиг виден в пункте 21. Он отделяет флору предустьевого участка, где река выходит на Приленское плато и приобретает наиболее выраженный равнинный характер. Отмечена еще серия из двух меньших флористических сдвигов: первый из них – ниже устья р. Тас-Миеле (пункт 10), где река покидает горное ущелье, второй – ниже устья р. Орюс-Миеле (пункт 13) и свидетельствует о том, что смена популяций фитопланктона от горного участка реки к равнинному происходит не сразу, а постепенно. Индекс сапробности для исследованных участков р. Олёкмы соотносится с данными, полученными исследователями около 30 лет назад [3].

Выводы

Результаты анализа пространственной структуры таксономического состава и количественного развития фитопланктона р.Олёкмы свидетельствуют о его неоднородности на различных участках реки. Это согласуется с положениями концепции речного континуума [15] и обусловлено закономерной сменой по направлению к устью реки действующих на фитопланктон гидрологических, гидрофизических факторов среды.

По классификации Сладечека (Sládeček) [6] воды р. Олёкмы относятся к слабозагрязненным. На основе классификации О.П. Оксиюк и В.Н.Жукинского [7] по уровню биомассы фитопланктона воды реки на всём её протяжении имеют разряд «предельно чистые», по индексу сапробности – «вполне чистые», по комплексу физико-химических показателей – относятся к 2-3 классам чистоты и характеризуются как «чистые – умеренно загрязненные». Это соотносится с ранее опубликованными результатами о качестве воды р. Олёкмы [2]. Полученные данные о структуре фитопланктона и физико-химических параметрах вод р. Олёкмы являются фоновыми и послужат основой биомониторинга речной экосистемы при дальнейшем промышленном развитии восточносибирского региона.

Литература

1. *Комаренко Л.Е.* Характеристика флоры водорослей и зоопланктона водоемов бассейна среднего течения р. Лены // Труды Ин-та биологии ЯФ Сиб. отд. АН СССР. Якутск, 1956. Вып. 2. С. 145–212.
2. *Рожкова О.Ю.* Водоросли водотоков Олёкминского заповедника: таксономия, экология, качество воды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Якутск, 1998. 22 с.
3. *Васильева И.И., Ремигайло П.А., Соколова Л.С.* Санитарно-биологическая характеристика отдельных участков рек Лены, Олёкмы, Чаруодокана // Биологические проблемы Севера: БНТИ. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО АН СССР, 1984. С. 10–12.
4. *Семенов А.Д.* Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1977. 540 с.
5. *Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др.* Водоросли: Справочник. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.
6. *Sládeček V.* System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. 1973. Vol. 7. № 1. P. 1–218.
7. *Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. №4. С. 62–76.
8. *Перечень ПДК* и ОБУВ вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов/ Под ред. М.Л. Кашинцева, О.А. Черникова, Н.А. Шиленко, С.А. Соколова, С.Н. Анисова. М., 1995. 141 с.
9. *Комулайнен С.Ф., Чекрыжева Т.А., Вислянская И.Г.* Альгофлора озёр и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2006. 81 с.
10. *Гецен М.В.* Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л., 1985. 165 с.
11. *Бондаренко Н.А.* Фитопланктон горных озёр Восточной Сибири // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2006. Т. 8. № 1. С. 176–190.
12. *Габышев В.А., Габышева О.И.* Современное состояние фитопланктона и химического состава вод р. Амга // Сиб. экол. журн. 2011. Т. 18, № 1. (23-31) Gabyshev V. A., Gabysheva O. I. Phytoplankton of the Amga River and chemical composition of the water: Contemporary State // Contemp. Probl. Ecol. 2011. Vol. 4. №1. (15-20) DOI: 10.1134/S1995425511010036
13. *Бондаренко Н.А., Томберг И.В., Логачёва Н.Ф., Тимошкин О.А.* Фитопланктон и гидрохимия рек Витим, Мама и Чуя (Забайкалье, бассейн реки Лены) // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биол. Экол. 2010. Т. 3. № 4. С. 70–81.
14. *Allan J.D., Castillo M.M.* Stream ecology: structure and function of running waters. 2nd ed. Dordrecht: Springer, 2007. 436 pp.
15. *Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W. et al.* The river continuum concept // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. Vol. 37. №1. P. 130–137.

Статья поступила в редакцию 26.03.2012.

УДК 630*116.13:582.475(1-924.82)(470.13)

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПОЧВ ХВОЙНЫХ ЭКОСИСТЕМ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛЕСООБРАЗУЮЩЕЙ ПОРОДЫ И ТИПА ЛЕСА

Э.П. ГАЛЕНКО

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

Рассматривается термический режим почвы пяти хвойных сообществ подзоны средней тайги. Определен характер экстремальных температур поверхности почвы в зависимости от типа леса. Установлены суммы температур почвы за летний сезон на разной глубине. В рассматриваемых лесных экосистемах в сезонной динамике выявлены особенности и различия накопления тепла в почве.

Ключевые слова: **тайга, хвойные фитоценозы, температурный режим почвы**

E.P. GALENKO. THERMAL REGIME FORMATION OF SOILS IN CONIFEROUS ECOSYSTEMS OF BOREAL ZONE IN REFERENCE TO DOMINATING TREE SPECIES AND FOREST TYPE

The paper deals with thermal regime of soils in five coniferous communities of middle taiga subzone. Extremely high or low soil surface temperatures were measured depending on forest type. The sums of soil temperatures for the summer period at different depths were estimated. Particularities and variations in heat accumulation by soils in the studied forest ecosystems in seasonal dynamics were identified.

Key words: **taiga, coniferous phytocenoses, soil temperature regime**

Почвенное тепло зависит от поступающей солнечной радиации и температуры воздуха, а механизм передачи тепла в системе «атмосфера → поверхность почвы → почвенный профиль по вертикали» испытывает значительные колебания. В одних и тех же климатических условиях термический режим почвы обуславливается типом почвы, ее механическим составом и физическими свойствами. Существенное влияние на температурный режим оказывает и лесной полог, так как он ограничивает поступление солнечной энергии, изменяет излучение подстилающей поверхности, нивелирует температурный режим приземного воздуха, дольше сохраняет снеговой покров в лесу. Особенности состава и строения древесного яруса, подлеска, напочвенного покрова также вызывают различия в прогревании почвы [1– 4].

Тепловые ресурсы почвы активно воздействуют на поглощение питательных элементов корнями, ряд физиологических процессов, протекающих в подземных органах растений, деятельность почвенных микроорганизмов [5–8 и др.]. В настоящее время температурный режим лесных почв рассматривается и как одна из важнейших функций углеродного цикла наземных экосистем [9–13].

Цель данной работы – оценить характер и различия тепловых ресурсов почвы сосновых и еловых экосистем подзоны средней европейской тайги в вегетационный период.

Исследования проводились ежедневно с 20 мая по 10 сентября 1983 г. на Чернамском лесном стационаре Института биологии Коми научного центра УрО РАН, расположенном в подзоне средней тайги (62° 00′ с.ш., 50° 20′ в.д.). Объектами изучения служили пять сосновых и еловых насаждений (пробные площади) на бореальных подзолистых почвах (табл. 1). На каждой пробной площади (ПП) ежедневно измерялись максимальная, минимальная и срочная температуры на поверхности почвы и температура почвы на глубинах 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60 и 80 см. Для этих целей использовались: максимальные, минимальные, срочные, Савинова и почвенно-вытяжные термометры. Показания термометров на всех ПП снимались практически одновременно (разница во времени до 30 мин.), что позволило провести корректный анализ полученных данных.

Сезонная динамика экстремальных температур поверхности почвы. *Средние* (за декаду в мае и сентябре, за месяц в июне, июле, августе) *максимальные температуры поверхности почвы* на всех исследуемых участках в последней декаде мая в сосняках равны +20..+24 °С, в ельниках и сосново-еловом древостое – +13…+15 °С. К июлю они достигают самых высоких значений в сосняках – +30…+33°С, в ельниках и сосново-еловом насаждении – +23+24 °С, снижаясь постепенно в августе до +22...+24 °С и +17...+19 °С, а в I

Таблица 1

Характеристика объектов исследования (по: [7])

№ пп.	Насаждение	Состав древостоя	Возраст, лет	Класс бонитета	Полнота	Запас древесины, м³/га	Средние		Число стволов, шт/га	Почва
							диаметр, см	высота, м		
1.	Сосняк черничный влажный (ПП 1)	9С1Б	60	III	0.82	205	12	16	1730	торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-гумусовая, подзол песчаный на суглинках
2.	Ельник черничный свежий (ПП 2)	8Е2Б + С	80-200	IV	0.86	267	17	15	2323	торфянисто-подзолисто-глееватая, иллювиально-гумусово железистая на суглинках
3.	Сосново-еловый черничный (ПП 3)	8С2Б + Е (I яр.) 6Е2С2Б (II яр.)	50-90	III IV	0.95	235	16 8	15 9	3070	тофянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-гумусово-железистая, на суглинках
4.	Сосняк чернично-сфагновый (ПП-4)	10С + Б ед.Е	70	V	0.56	109	10	11	2040	торфянисто-подзолисто-глееватая, гумусовая песчаная на суглинках
5.	Ельник долгомошно-сфагновый (ПП-5)	7Е2Б1С	70-180	V	0.78	170	15	14	1858	торфянисто-подзолисто-глееватая, иллювиально-гумусовая , песчаная

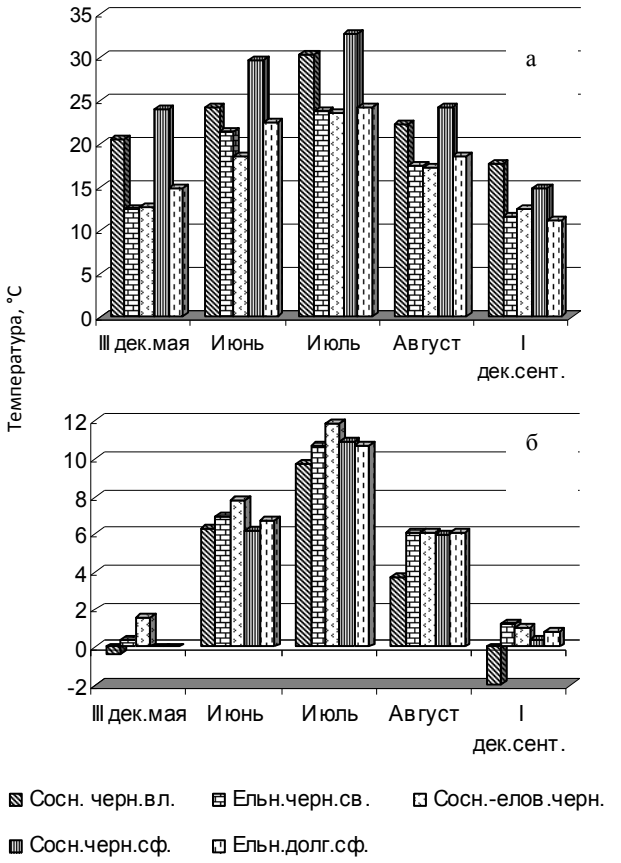


Рис. 1. Сезонная динамика средних максимальных (а) и минимальных (б) температур поверхности почвы.

декаде сентября – до +15...+18°С и +11...+12°С соответственно (рис. 1а).

Наибольшая сумма максимальных температур поверхности почвы отмечена в сосняке черничнo-сфагновом, затем по степени уменьшения суммы температур следуют сосняк черничный влажный → ельник долгомошно-сфагновый → ельник черничный свежий → сосново-еловое насаждение черничного типа. Последние три насаждения по этому показателю отличаются незначительно.

Разность между максимальными температурами поверхности почвы сосновых и еловых древостоев наибольшая в мае (8–9 °С), в июне-июле различия снижаются до 6–8 °С, а в августе-сентябре – до 4–5 °С. Абсолютный максимум температуры поверхности почвы наблюдается в июле и достигает в сосняках +43…+48 °С, в ельниках и сосново-еловом древостое он значительно ниже и равен +30…+32 °С (табл. 2).

Анализируя изменения *средних минимальных температур поверхности почвы* в течение сезона, следует отметить, что для действия низких температур наиболее уязвима поверхность почвы сосняка чернично-влажного, меньше – поверхность почвы сосняка чернично-сфагнового и ельников, и менее всего подвержен действию низких температур сосново-еловый древостой (рис. 1б).

В среднем минимальные температуры поверхности почвы в последнюю декаду мая составляют от -0,4°С в сосняке черничном влажном до +1,6°С в сосново-еловом древостое. В июне температурный минимум повышается до +6+8 °С, в июле – до +10+12 °С. В августе минимальные температуры поверхности почвы снижаются на 4–6 °С, а в нача-

ле сентября держатся в интервале -2,0°… +1,2°С. В течение вегетационного периода только в июле на поверхности почвы не наблюдались отрицательные температуры. Абсолютный температурный минимум на почве сосняка чернично-влажного составлял в конце мая -7,7 °С, в июне – -1,7°, августе – -3,5°, в I декаде сентября – -4,7 °С. В остальных фитоценозах самые низкие температуры на поверхности почвы были в пределах -1,1°… -5,5 °С (табл. 2).

в почве сосняка в начале июня, в ельнике он запаздывает на 10–15 дней. В северной тайге изотермы +8°…+10 °С на глубину 20–40 см опускаются в сосняке в конце июня-начале июля, а в ельнике на этой глубине температура почвы не превышает +6°…+7 °С.

Мощность зоны с активными температурами в средней тайге достигает в сосняках постоянно глубины 70–80 см и более, а в ельниках – до 45 (редко до 80) см. В северной подзоне тайги этот

Таблица 2

Абсолютные температурные экстремумы (°С) на поверхности почвы хвойных экосистем

Период	пп.1		пп.2		пп.3		пп.4		пп.5	
	Сосняк черн.влажн.		Ельник черн.свеж.		Сосново-еловый черн.		Сосняк черн.сфагн.		Ельник долг.сфагн.	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
III дек. мая	25,1	-7,7	20,5	-4,2	19,6	-3,1	31,6	-5,5	22,3	-4,3
Июнь	40,7	-1,7	37,6	-0,8	29,1	-0,4	38,9	-2,0	33,5	-1,0
Июль	48,0	1,9	31,9	3,0	31,5	3,5	43,4	3,5	29,9	2,0
Август	36,1	-3,5	23,0	-2,0	24,5	-0,7	34,5	0,0	25,7	-1,3
I дек. сентября	20,5	-4,7	12,9	-1,1	14,5	-1,5	16,7	-2,5	13,3	-1,5

Таблица 3

Сезонная динамика прогрева почвы в слое 20–40 см

.Температура, °С	Этап жизнедеятельности корневых систем древесных растений	Подзона северной тайги		Подзона средней тайги	
		Сосняк чернично-зеленомошный	Ельник чернично-зеленомошный	Сосняк черничный влажный	Ельник черничный свежий
0	Оттаивание	I-II декада июня	II-III декада июня	I-II декада мая	II-III декада мая
+4…+5	Начало ростовых процессов	II-III декада июня	II-III декада июля	III декада мая	I декада июня
≥ + 8…+10	Интенсивный рост	III декада июня–I декада июля	не наблюдалась	I декада июня	II-III декада июня

Динамика температур по вертикальному почвенному профилю. При движении с севера на юг увеличивается мощность слоя почвы, подверженного суточным колебаниям температуры. Как показали наши исследования, проведенные в средней, а ранее и в северной тайге [5], суточная амплитуда затухания колебания температуры почвы наблюдается на глубине 20 см в северной и 30-40 см – в средней тайге. Именно в этих горизонтах почвы сконцентрирована основная масса корневых систем древесных растений [7].

На глубине 20–40 см весенняя нулевая изотерма может удерживаться в северной тайге до II-III декады июня, в то время как в средней тайге – под ельником до конца мая, а под сосняком в это время почва уже прогрета до +3°…+4 °С (табл. 3). Почвы в сосняках средней тайги полностью оттаивают в I-II , а в ельниках – II-III декадах мая. В северной тайге – соответственно на месяц позже. Благоприятная температура для начала роста корней древесных растений в слое почвы 0–20 см наступает в среднетаежном сосняке в конце мая, ельнике – в начале июня. В северной тайге такие условия наблюдаются аналогично во второй половине июня и июля. С прогревом почвы до +8°+10 °С (активные температуры) начинается интенсивный рост и жизнедеятельность древесных корней. Период активных температур, как правило, начинается в средней тайге

показатель колеблется в пределах 40–60 см в сосняке и 5–10 (редко до 30–40) см – в ельнике.

Передача тепла в глубь почвы в течение сезона. Средние температуры *поверхности почвы* в последней декаде мая равны в сосняках +12°… +16 °С, в ельниках и сосново-еловом древостое – +9°…+10 °С. В июне поверхность почвы прогревается соответственно до +18°…+21 °С и +15°…+16 °С. В июле они достигают наибольших значений, поднимаясь еще на 2–3 градуса. В августе поверхность почвы начинает охлаждаться. Средние температуры независимо от видового состава и типа насаждения выравниваются и составляют +13°…+16°С в августе и +7°…+8°С в первой декаде сентября (рис.2 а).

На *глубине 5-20 см* (рис. 2 б, в) почва прогревается в последнюю декаду мая в сосняках до +5 °С, сосново-еловом древостое – +4°С, ельниках – +3,0°…+3,5 °С. В июне-июле тепловые ресурсы почв увеличиваются ежемесячно еще на 3-5 градусов, температура достигает в июне от +6°…+7 °С в ельниках до +8°…+9 °С в сосняках, а в июле соответственно – от +9°…+10 °С до +12°…+13 °С. В августе почва этого горизонта остывает на 1–2 градуса, приближаясь по этому показателю к тепловым условиям июня. В сентябре охлаждение верхнего горизонта почвы идет более быстрыми темпами. За первую декаду температура почвы по срав-

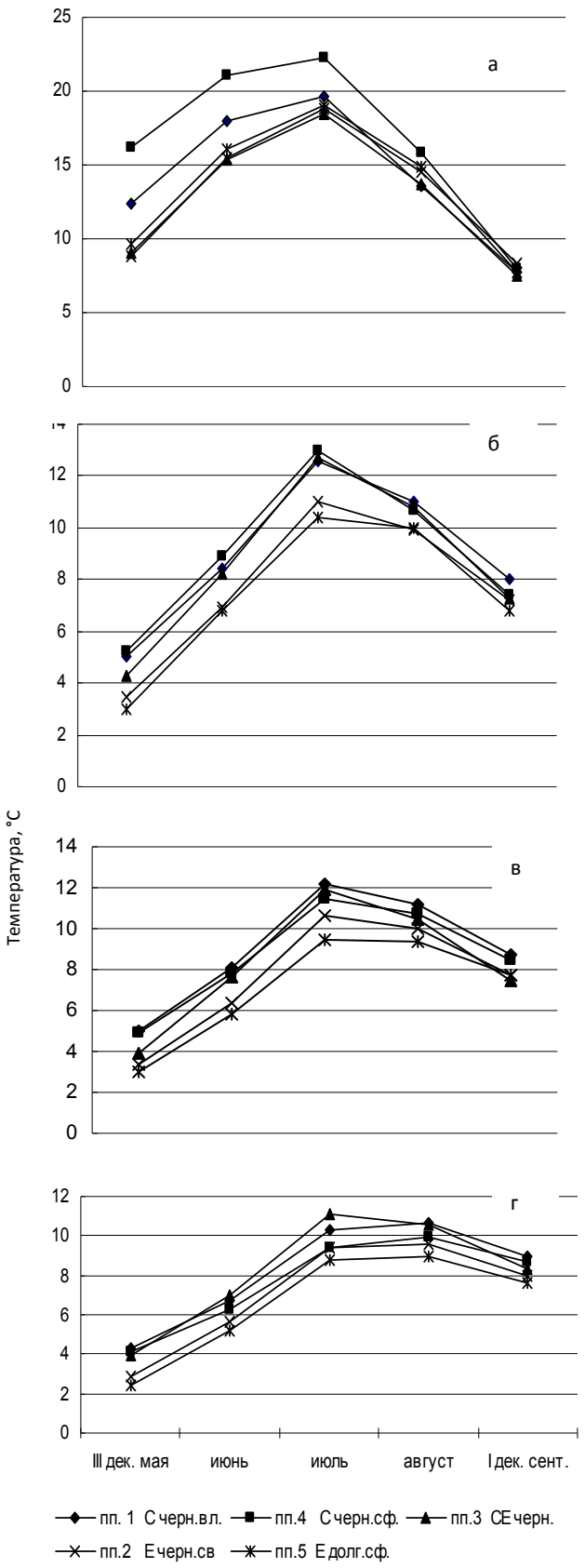


Рис.2. Сезонная динамика температуры почвы на разной глубине: а – поверхность почвы; б, в, г – на глубинах 5, 20, 60 см.

нению с августом снижается на 2–3,5 градуса, причем медленнее остывают почвы ельников. В результате происходит сглаживание температурных различий между сосняками и ельниками. Температура почвы на этих глубинах в этот период составляет +7,0°…+8,5 °С.

На *глубине 60 см* (рис.2 г) температура почвы в сосняках и сосново-еловом древостое в конце мая около +4 °С, в ельниках – +2,5°…+3,0 °С. В июне почва этого горизонта прогрета до +5,0°…+7,0 °С, оставаясь наиболее холодной в ельниках. В июле идет дальнейший прогрев почвы до +9,0°…+11,0 °С. Интенсивнее прогревается почва сосново-елового древостоя (на 4 °С), на один градус меньше – почвы сосняков и ельников. Видимо, в сосново-еловом насаждении играет роль двухъярусность древесного полога, в результате чего в ночные часы поверхность почвы охлаждается в меньшей степени. В августе почва на этой глубине сохраняет тепло июля, а в первой декаде сентября температура снижается на 1,0°–1,5 °С и равна +8,0…+9,0 °С.

Следовательно, на протяжении наблюдаемого периода в рассматриваемых типах леса почва наиболее холодная в мае (+2,5°…+5,0 °С). В июне и I декаде сентября тепловые ресурсы верхнего слоя почвы (5-20 см) равноценны и находятся в пределах +6,0°…+8,0 °С. Более глубокий же слой почвы в начале сентября даже теплее, чем в июне на 2,0°–2,5°С. Самая теплая почва в июле (+9,0°…+12,0 °С). В августе она холоднее на 1°С только в верхнем горизонте.

Накопление тепла в почве в течение летнего сезона. Почва как резервуар тепла. Определены суммы температур почвы за период с 19 мая по 9 сентября по вертикальному профилю от поверхности почвы до глубины 80 см (табл. 4, рис. 3). Величина поступающей к поверхности почвы солнечной радиации зависит от структуры и полноты древостоя, поэтому наибольшее количество тепла проникает на поверхность почвы в черничносфагновом сосняке, полнота древостоя которого 0,56, наименьшее – в двухъярусном сосново-еловом древостое с полнотой 0,95. В остальных рассматриваемых фитоценозах с полнотами 0.78÷0.86 суммы температур на поверхности почвы составляют в еловых сообществах 70%, в сосняке черничном влажном – 90% от максимальной аналогичной величины в сосняке чернично-сфагновом.

Дальнейшее проникновение тепла в глубину почвы резко сокращается на 32–45% в самом верхнем 5-сантиметровом слое, так как тепло в почве поступает от слоя к слою только в результате молекулярной передачи без турбулентной составляющей. Значительную роль в прогреве почвы начинают играть масса напочвенного покрова, структура и влажность почвы. Так, максимальное уменьшение (45%) тепловых ресурсов на глубине 5 см происходит в сосняке чернично-сфагновом, масса напочвенного покрова которого, по данным К.С.Бобковой [7], равна 4,4 т/га абс. сух. в., а мощность подстилки составляет 17см. В сосново-еловом насаж-

Таблица 4

Суммы температур почвы по вертикальному профилю, °С (с 19 мая по 9 сентября)

Древостой	№ ПП	Глубина, см										
		$0_{см}$ max	$0_{см}$ min	0	5	10	15	20	30	40	60	80
С черн.вл.	1	1871.7	361.8	1195.4	757.3	765.2	760.3	752.8	748.2	721.4	678.1	645.8
С черн.сф.	4	2077.9	458.5	1387.6	762.8	734.4	729.9	721.1	691.9	676.4	625.5	594.1
СЕ черн.	3	1401.4	522.0	1093.2	740.5	711.0	709.8	703.1	726.5	709.0	684.0	639.5
Е черн.св.	2	1444.6	478.9	1114.1	648.1	622.0	641.9	639.3	645.6	601.5	590.5	556.8
Е долг.сф.	5	1485.5	462.5	1120.3	623.9	565.6	557.9	581.0	563.0	554.5	524.9	463.6

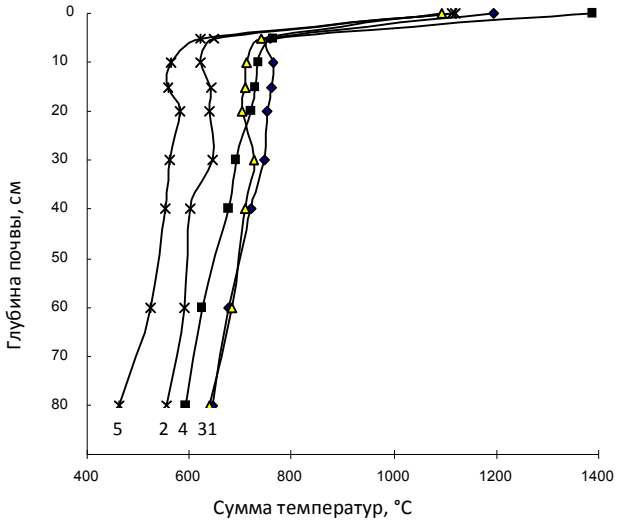


Рис. 3. Суммы температур почвы по вертикальному профилю в сосновых и еловых сообществах (19 мая – 9 сентября).
1 – сосняк черничный влажный; 4 – сосняк чернично-сфагновый; 3 – сосново-еловый древостой черничный; 2 – ельник черничный свежий; 5 – ельник долгомошно-сфагновый.

дении с самой маленькой массой растений нижних ярусов, равной 0,9 т/га абс. сух. в. и подстилкой высотой 9–11 см этот показатель составляет 32%. Дальше с глубиной в слое почвы от 5 до 80 см тепло убывает постепенно, около 1–2% на каждые 10 см глубины.

С глубины 5 см начинается четкая дифференциация тепловых ресурсов между еловыми и сосновыми сообществами в пользу последних на 100÷130°С. Самой холодной по всему профилю является почва ельника долгомошно-сфагнового, а наиболее теплой – почва сосняка черничного влажного.

Выводы

1. Различия в проникновении тепла под полог древостоя в лесных фитоценозах обусловлены полнотой и структурой древесного яруса насаждений. В результате разница в поступлении тепла на поверхность почвы в рассматриваемых лесных сообществах составляет 15–20%.

2. С исчезновением турбулентной составляющей в механизме передачи тепла в почве и наличием только молекулярного способа передачи происходит резкое уменьшение (на 30–45%) тепловых ресурсов поверхностного слоя (0–5 см) почвы, в слое почвы от 5 до 80 см тепло убывает постепенно, около 1–2% на каждые 10 см глубины.

3. Увеличение массы напочвенного покрова (в пять раз) и мощности подстилки (в два раза) ведет к снижению тепловых ресурсов верхнего 5-сантиметрового слоя дополнительно до 13 %.

4. По степени убывания запасов тепла в почве рассматриваемые экосистемы можно представить в виде ряда:
$С_{черн..вл..} \rightarrow С_{черн.сф.} \rightarrow СЕ_{черн..} \rightarrow Е_{черн.св} \rightarrow Е_{долг.сф.}$
Причем каждое следующее насаждение недобирает 3–6% тепла по сравнению с предыдущим.

5. Оттаивание и начало роста корневых систем в ельниках по сравнению с сосняками и сосново-еловым древостоем запаздывает на 10, а активный рост – на 10–15 дней. В результате период активного роста корневых систем древесных растений по температурным условиям почвы возможен в сосняках и сосново-еловом древостое до 85–90, в ельниках – 70–75 дней.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 10-04-00067-а, 13-04-00548.

Литература

1. *Сапожникова С.А.* Микроклимат и местный климат. Л., 1950. 242 с.
2. *Китредж Дж.* Влияние леса на климат, почвы и водный режим /Пер. с англ. М., 1951. 456 с.
3. *Молчанов А.А.* Лес и климат. М.,1961. 247 с.
4. *Шульгин А.М.* Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 341 с.
5. *Галенко Э.П.* Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 129 с.
6. *Кононенко А.В.* Гидротермический режим таежных и притундровых почв европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1986. 144 с.
7. *Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
8. *Забоева И.В., Бобкова К.С.* Лесорастительные условия функционирования хвойных экосистем Севера // Лесное почвоведение: итоги, проблемы, перспективы: Тез. докл. Межд. науч. конф. Сыктывкар, 2007. С.4.
9. *Кузнецов М.А.* Сезонная динамика эмиссии CO_2 с поверхности торфянисто-подзолисто-глееватой почвы заболоченного ельника средней тайги // Резервуары и потоки углерода в

лесных и болотных экосистемах бореальной зоны: Тез. докл. Межд. науч. конф. Сыктывкар, 2011. С. 67–68.
10. *Осипов А.Ф.* Динамика содержания органического углерода в заболоченных сосняках средней тайги: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. Сыктывкар, 2011. 18 с.
11. *Осипов А.Ф.* Поток углекислого газа с поверхности болотно-подзолистой почвы сосняка средней тайги // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны: Тез. докл. Межд. науч. конф. Сыктывкар, 2011. С. 94–95.
12. *Тужилкина В.В., Галенко Э.П.* Экологические основы углеродного цикла ели в условиях Севера // Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны: Тез. докл. Межд. науч. конф. Сыктывкар, 2011. С. 110–111.
13. *Тужилкина В.В., Галенко Э.П.* Фотосинтетическая активность хвойных в связи с экологическими факторами в условиях Севера // Многолетние процессы в природных комплексах заповедников России: Матер. Всеросс. науч. конф., посвященной 80-летию ЦЛГПБЗ. В.Луки, 2012. С. 63–66.

Статья поступила в редакцию 21.03.2012.

УДК 595.768.12: 591.9 (470.1)

АРЕАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФАУНЫ ЛИСТОЕДОВ (COLEOPTERA, CHRYSOMELIDAE) ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

М.М. ДОЛГИН

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

Анализируется ареалогическая структура фауны листоедов европейского Северо-Востока России. Выделено два комплекса и 36 ареалогических групп с характеристикой их качественного состава и ареалов. Показано, что фауна листоедов исследованного региона сравнительно не богата, мало специфична и слагается из обычных широко распространенных видов, но имеет сложную ареалогическую структуру.

Ключевые слова: **фауна, листоеды, ареалогическая характеристика, европейский Северо-Восток**

M.M. DOLGIN. AREAL CHARACTERISTICS OF LEAF-BEETLES FAUNA (COLEOPTERA, CHRYSOMELIDAE) OF THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

Areal structure of leaf-beetles of the European North-East of Russia is analyzed. 2 complexes and 36 areal groups with characteristics of their quality data and areals are revealed. It is shown that fauna of leaf-beetles of the studied region is not rather rich, is little specific and consists of widespread species, but it has a complex areal structure.

Key words: **fauna, leaf-beetles, areal characteristics, European North-East**

Основным методом определения ареалогической структуры фауны является группирование видов на основе общности типов их ареалов. Форма ареала любого вида и характер распределения особей внутри его зависят от многих факторов. Поскольку каждый вид имеет свою историю происхождения и расселения, а также только ему характерные экологические требования к условиям существования, то видов с абсолютно одинаковыми ареалами не бывает. Тем не менее по ряду признаков ареалы разных видов можно объединять в группы. Теория ареалов и их классификация разрабатывалась многими учеными. Для зоогеографического анализа фауны насекомых наиболее часто используют два подхода. Первый основан на описании границ распространения вида в трех измерениях: широтном, долготном и высотном [1, 2]. Второй базируется на принципе климатической зональности в сочетании с ландшафтными характеристиками [3], и названия ареалов даются по названиям зоогеографических выделов, в которых встречается вид.

Материал и методы

Данная работа посвящена анализу ареалогической структуры фауны листоедов европейского Северо-Востока России на основе многолетних полевых сборов автора, проведенных в течение 1978–2010 гг. Помимо собственных материалов изучались сборы коллег, преимущественно из тундровой зоны, коллекции Зоологического института РАН (г. Санкт-Петербург), Зоологического музея МГУ (г. Москва), Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар), Коми государственного педагогического института (г. Сыктывкар) и Зоологического музея Сыктывкарского государственного университета, а также анализировались имеющиеся в литературе сведения. Это позволило охватить почти всю территорию европейского Северо-Востока России (рис. 1). В работу включен материал из 113 географических точек, некоторые близко расположенные точки на рисунке объединены. Сбор материала и обработку осуществляли по общепринятым в эколого-фаунистических исследованиях насекомых методикам [4, 5]. Всего за период исследований собрано и обработано свыше 10 тыс. экз. 212 видов листоедов.

Анализ географического распространения листоедов проведен на основе каталогов и фаунистических сводок отечественных и зарубежных авторов [6–19 и др.]. Для обозначения типов ареалов листоедов нами использована схема К.Б. Городкова [1, 2], предложенная для насекомых тундр и лесной зоны европейской части России, без учета высотной составляющей, поскольку материала по распространению листоедов по горным хребтам Сибири мало.

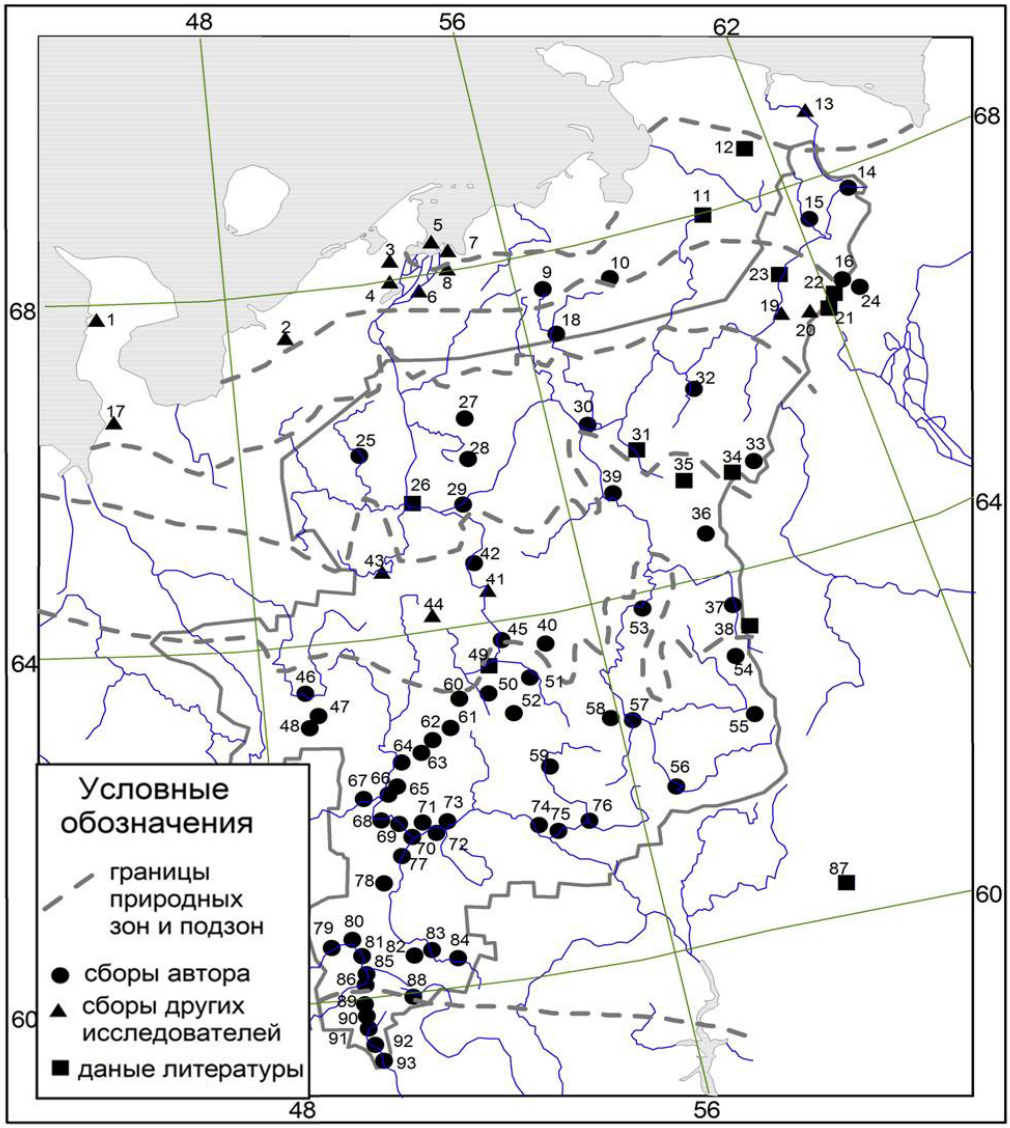


Рис. 1. Картосхема района исследований.

Тундра: 1 – пос. Шойна, 2 – р. Индига, 3 – оз. Хабуйка-то, 4 – р. Нерута, 5 – о. Кашин, 6 – о. Кудриншар, 7 – мыс. Болванский Нос, 8 – р. Ортина, 9 – оз. Лая-то, 10 – Верховье р. Колва, 11 – оз. Вашуткины, 12 – хр. Пай-Хой, 13 – р. Кара, 14 – оз. Усва-ты, 15 – г. Воркута, 16 – ст. Полярный Урал.

Лесотундра: 17 – с. Несь, 18 – пос. Харьягинск, 19 – ст. Сивая Маска, 20 – р. Юньяга, р. Пага, р. Пальник-Шор, 21 – гора Пай-Ер, 22 – гора Яркеу, 23 – ст. Сейда, 24 – ст. Красный Камень, гора Рай-Из.

Крайнесеверная тайга: 25 – р. Тобыш, 26 – с. Усть-Цильма, дер. Сергеево-Щелья, 27 – оз. Нижне-Маерское, 28 – оз. Волочанское, 29 – пос. Щельяюр, 30 – г. Усинск , 31 – р. Большая Сыня, 32 – г. Инта, 33 – хр. Малды-Нырд, гора Северные Малды, 34 – гора Народная.

Северная тайга: 35 – гора Сабля, 36 – р. Малый Паток, 37 – р. Щугор, 38 – гора Неройка, 39 – г. Печора, 40 – пос. Нижний Одес, 41 – пос. Том, 42 – с. Ижма, 43 – р. Пижма, 44 – заказник «Белая Кедва», 45 – заказник «Чутьинский».

Средняя тайга: 46 – пос. Усогорск, 47 – пос. Селэгвож, 48 – пос. Междуреченск, 49 – г. Ухта, пос. Шудаяг, 50 – пос. Ярега, 51 – р. Седъю, 52 – р. Вежавож, 53 – г. Вуктыл, пос. Подчерье, 54 – р. Кожымъю, гора Макар-Из, 55 – хр. Яны-Пупу-Нёр, 56 – пос. Якша, 57 – с. Троицко-Печорск, 58 – пос. Нижняя Омра, р. Сойва, 59 – с. Помоздино, 60 – пос. Тобысь, пос. Боровой, 61 – пос. Иоссер, 62 – ст. Синдор, 63 – ст. Весляна, 64 – г. Емва, 65 – пос. Серегово, 66 – дер. Ляли, 67 – с. Вогваздино, пос. Студенец, 68 – с. Палевицы, 69 – пос. Кэччойяг, 70 – г. Сыктывкар, с. Выльгорт, 71 – пос. Седкыркещ, с. Озел, 72 – с. Корткерос, 73 – Биостанция СыктГУ, пос. Приозерный, дер. Важкуръя, 74 – с. Усть-Кулом, 75 – с. Дон, 76 – пос. Югыдъяг, 77 – с. Шошка, дер. Соколовка, 78 – с. Визинга, 79 – с. Лойма, 80 – с. Спаспоруб, 81 – с. Занулье, 82 – пос. Кузьель, 83 – с. Койгородок, 84 – пос. Кажым, 85 – с. Объячево, 86 – с. Черныш, 87 – гора Денежкин Камень.

Южная тайга: 88 – дер. Кобра, 89 – с. Ношуль, 90 – дер. Ловля, 91 – с. Летка, 92 – дер. Черемуховка, с. Мутница, с. Гурьевка, с. Слудка, 93 – с. Прокопьевка.

Результаты исследований

Листоеды встречаются во всех природных зонах и подзонах европейского Северо-Востока России [20]. К настоящему времени на территории исследованного региона зарегистрировано 212 видов листоедов, относящихся к 12 подсемействам и 51 роду. Один вид в данном регионе представлен двумя подвидами. Номинативный подвид *Chrysolina marginata marginata* L. обитает во всех ландшафтно-климатических зонах в равнинной части. Второй подвид *Chrysolina marginata borealis* L. Medv. встречается в тундре и лесотундре на Полярном и Приполярном Урале [21]. Наибольшее количество видов включают подсемейства Halticinae (52 вида), Chrysomelinae (51), Cryptocephalinae (33), Donaciinae (24), Galerucinae (20) и Cassidinae (14 видов), составляющие вместе 91.5 % всей фауны. Самыми крупными родами являются *Cryptocephalus* (32 вида), *Chrysolina* (16), *Donacia* (16), *Cassida* (14), *Longitarsus* (9); *Gonioctena* и *Phyllotreta* включают по восемь видов; *Plateumaris*, *Chrysomela*, *Galerucella* и *Chaetocnema* – по семь, *Altica* и *Psylliode*s – по шесть, остальные рода – от одного до пяти видов [22]. Впервые для региональной фауны нами указываются 92 вида и один подвид. Два вида (*Donacia gracilipes* Jac. и *Colaphus alpinus* Gebl.) являются новыми для европейской части России [23].

Всё разнообразие типов ареалов по долготной составляющей, которое характерно для листоедов европейского Северо-Востока, можно разделить на 13 групп (табл.1).

Таблица 1

Типы ареалов листоедов европейского Северо-Востока России

Долготная составляющая	Широтная составляющая					Всего
	П	Т	Б	ГБ	А	
Голарктическая	11	8	-	3	-	22
Транспалеарктическая	15	2	-	-	-	17
Западнопалеарктическая	1	2	-	-	-	3
Западноцентральнопалеарктическая	6	1	-	-	-	7
Трансевразийская	11	57	8	2	-	78
Евро-ленская	2	3	1	1	-	7
Евро-байкальская	1	11	3	1	-	16
Евро-обская	3	10	1	-	-	14
Европейская	1	10	3	-	-	14
Евро-кавказская	4	4	-	-	-	8
Евро-сибиро-центрально-азиатская	9	9	-	-	-	18
Урало-сибирская	-	2	1	3	2	8
Американо-европейская антропогенная	1	-	-	-	-	1
Всего:	65	119	17	10	2	213

Примечание. П – полизональная, Т – температная, Б – бореальная, ГБ – гипоаркто-бореальная, А – арктическая широтные группы.

Голарктическая группа представлена 22 видами (*Lilioceris merdigera, Bromius obscurus, Chrysolina marginata borealis, Ch. septentrionalis, Ch. staphylea, Gastophysa polygoni, G. viridula, Phaedon armoraciae, Prasocuris phellandrii, Plagiodera versicolora, Chrysomela lapponica, Gonioctena arctica, G. decemnotata, G. viminalis, Phratora vulgatissima, Galerucella calmarensis, G. nymphaeae, Phyllotreta armoraciae, Ph. striolata, Hippuriphila modeeri, Psylliodes affinis, Cassida rubiginosa*), обитающими в Евразии и Северной Америке. Для них характерны циркумареалы, опоясывающие весь Земной шар.

Транспалеарктическая группа включает 17 видов (*Chrysolina sanguinolenta, Chrysomela populi, Galerucella lineola, Galeruca tanaceti, Phyllotreta vittula, Longitarsus kutscherae, L. luridus, L. parvulus, Altica oleracea, Crepidodera aurata, Chaetocnema aridula, Ch. hortensis, Psylliodes cucullatus*, *Cassida denticollis, C. flaveola, C. viridis, C. vittata*), ареалы которых охватывают Европу, Северную Африку, Кавказ, Сибирь, Дальний Восток и хотя бы отчасти Западную и Центральную Азию.

Западноцентральнопалеарктическая группа из семи видов (*Donacia simplex, Cryptocephalus pusillus, Chrysolina marginata marginata, Hydrothassa glabra, Aphthona euphorbiae, Longitarsus pratensis, Psylliodes hyoscyami*) отличается от транспалеарктической тем, что эти виды не известны с территории Дальнего Востока.

К западнопалеарктической группе относятся три вида: *Neocrepidodera ferruginea, Mantura chrysanthemi*, *Chaetocnema arida,* обитающие в Европе и Северной Африке.

Трансевразиатская группа – самая большая, объединяет широко распространенные в Евразии (от Атлантики до Тихого океана) и встречающиеся также на Кавказе, частично в Западной, Центральной и Средней Азии, но неизвестные с Северной Африки виды. На европейском Северо-Востоке она представлена 78 видами (*Donacia aquatica*, *D. clavipes, D. obscura, D. thalassina, D. versicolorea, D. vulgaris, Plateumaris consimilis, P. sericea, P. weisei, Lema cyanella*, *Oulema erichsonii, O. gallaeciana, Syneta betulae, Zeugophora subspinosa, Labidostomis tridentata, Pachybrachis hieroglyphicus, Cryptocephalus androgyne, Cr. bilineatus, Cr. bipunctatus, Cr. cordiger, Cr. coryli, Cr. distinguiendus, Cr. exiguus, Cr. flavipes, Cr. labiatus, Cr. nitidulus, Cr. parvulus, Cr. pini, Cr. sexpunctatus, Chrysolina aurichalcea, Ch. cerealis, Ch. graminis, Ch. polita, Phaedon cochleariae, Ph. concinnus, Hydrothassa hannoveriana, Chrysomela collaris, Ch. cuprea, Ch. tremula, Ch. vigintipunctata, Linnaeidea aenea, Gonioctena flavicornis, G. linnaeana, Phratora atrovirens, Ph. laticollis, Ph. polaris, Ph. vitellinae, Galerucella grisescens, G. tenella, Pyrrhalta viburni, Lochmaea caprea, Galeruca dachli, G. pomonae, Luperus flavipes, L. viridipennis, Phyllotreta atra, Ph. flexuosa, Ph. nemorum, Ph. undulata, Aphthona abdominalis, A. erichsoni, Longitarsus brunneus, L. holsaticus, L. nasturtii, L. suturellus, Altica tamaricis, Crepidodera aurea, Cr. plutus, Chaetocnema concinna, Ch. sahlbergii, Ch. semicoerulea, Psylliodes attenuatus, Cassida nebulosa, C. nobilis, C. panzeri, C. prasina, C. sanguinolenta, C. vibex*).

Евро-ленская группа включает семь видов (*Zeugophora turneri, Hydrothassa marginella, Gonioctena norvegica, G. pallida, G. quinquepunctata, Phyl-*

lotreta tetrastigma, Altica helianthemi), у которых восточная граница ареала проходит по р. Лена.

Евро-байкальская группа состоит из 16 видов (*Macroplea appendiculata*, *Donacia crassipes, D. Impressa D. semicuprea, Orsodacne cerasi, Cryptocephalus octopunctatus, Pachnephorus pilosus, Chrysolina sturmi, Ch. tundralis, Galeruca laticollis, Phyllobrotica quadrimaculata, Luperus luperus, Lythraria salicariae Neocrepidodera femorata, Derocrepis rufipes, Cassida ferruginea*), идущих на восток до Байкала.

В евро-обскую группу входят 14 видов листоедов: *Donacia dentata, D. sparganii, Plateumaris affinis, P. braccata, P. rustica, Cryptocephalus aureolus, Cr. laetus, Cr. moraei, Cr. ocellatus, Cr. punctiger, Cr. violaceus, Chrysolina fastuosa, Ch. varians, Batophila rubi,* распространенных в Европе и Западной Сибири до Оби.

Европейская группа также представлена 14 видами: *Donacia antiqua, D. brevitarsis, D. malinowskyi, Plateumaris discolor, Cryptocephalus decemmaculatus, Cr. hypochoeridis Cr. querceti, Cr. vittatus, Galerucella aquatica, G. sagittariae, Lochmaea suturalis, Calomicrus pinicola, Altica aenescens, A. longicollis*, которые встречаются только в Европе и дальше Урала на восток не идут.

Евро-кавказская группа объединяет восемь видов: *Smaragdina affinis, S. flavicollis, S. salicina, Cryptocephalus quinquepunctatus, Chrysolina geminata, Phaedon laevigatus, Altica lythri, Psylliodes picinus*, характерных для Европы и Кавказа.

В евро-сибиро-центрально-азиатскую группу входят 18 видов: *Oulema melanopus, Zeugophora scutellaris, Labidostomis longimana, Clytra quadripunctata, Cryptocephalus biguttatus, Cr. sericeus, Cr. solivagus, Chrysolina limbata, Chrysomela saliceti, Agelastica alni, Aphthona lutescens, Longitarsus melanocephalus, Neocrepidodera motschulskii, Crepidodera fulvicornis, Chaetocnema mannerheimii, Psylliodes napi, Cassida murraea, C. sanguinosa,* ареалы которых охватывают Европу, Кавказ, Западную и Центральную Азию и частично Сибирь.

В урало-сибирскую группу включены сибирские виды, у которых западная граница ареала проходит по западным склонам Урала (*Donacia gracilipes, Cryptocephalus hirtipennis, Cr. krutovskyi, Cr. orotshena, Chrysolina cavigera tolli, Ch. subsulcata*) или они выходят в равнинную часть территории европейского Северо-Востока России (*Colaphus alpinus Cercyonops caraganae*). Два последних вида имеют разорванные ареалы.

К американо-европейским антропогенным видам мы относим колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*), завезенного вместе с картофелем на побережье Западной Европы и за столетие сумевшего продвинуться на восток до Зауралья, а на север – до северной границы подзоны средней тайги.

По широтной составляющей выделено пять групп, среди которых преобладают температная (119 видов) и полизональная (65 видов) группы.

С учетом же долготной и широтной составляющих все виды листоедов фауны европейского Северо-Востока России разбиваются на два комплекса и 36 ареалогических групп. В голарктический комплекс входят 22 вида, образующие три ареалогические группы. Остальные виды листоедов региональной фауны распространены в пределах Палеарктики. Этот комплекс включает 33 ареалогические группы, соотношение которых дано в табл. 2.

Таблица 2

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

Зоогеографические комплексы и группы	Кол-во видов	Доля, %
Голарктический комплекс	**22**	**10,33**
Голарктическая гипоаркто-бореальная группа	3	1,41
Голарктическая температная группа	8	3,75
Голарктическая полизональная группа	11	5,15
Палеарктический комплекс	**191**	**89,67**
Транспалеарктическая температная группа	2	0,93
Транспалеарктическая полизональная группа	15	7,04
Западнопалеарктическая температная группа	2	0,93
Западнопалеарктическая полизональная группа	1	0,44
Западноцентральнопалеарктическая температная группа	1	0,44
Западноцентральнопалеарктическая полизональная группа	6	2,82
Трансевразийская гипоаркто-бореальная группа	2	0,93
Трансевразийская бореальная группа	8	3,75
Трансевразийская температная группа	57	26,77
Трансевразийская полизональная группа	11	5,15
Евро-ленская гипоаркто-бореальная группа	1	0,44
Евро-ленская бореальная группа	1	0,44
Евро-ленская температная группа	3	1,41
Евро-ленская полизональная группа	2	0,93
Евро-байкальская гипоаркто-бореальная группа	1	0,44
Евро-байкальская бореальная группа	3	1,41
Евро-байкальская температная группа	11	5,15
Евро-байкальская полизональная группа	1	0,44
Евро-обская бореальная группа	1	0,44
Евро-обская температная группа	10	4,69
Евро-обская полизональная группа	3	1,41
Европейская бореальная группа	3	1,41
Европейская температная группа	10	4,69
Европейская полизональная группа	1	0,44
Евро-кавказская температная группа	4	1,87
Евро-кавказская полизональная группа	4	1,87
Евро-сибиро-центрально-азиатская температная группа	9	4,22
Евро-сибиро-центрально-азиатская полизональная группа	9	4,22
Урало-сибирская арктическая группа	2	0,94
Урало-сибирская гипоаркто-бореальная группа	3	1,41
Урало-сибирская бореальная группа	1	0,44
Урало-сибирская температная группа	**2**	0,93
Американо-европейская антропогенная полизональная группа	1	0,45
Итого:	213	100

Заключение

В результате исследований на европейском Северо-Востоке России выявлено 212 видов (один вид представлен двумя подвидами), относящихся к двум крупным зоогеографическим комплексам и 36 группам. Преобладают представители палеаркти-

ческого комплекса – 89,67%, среди которых по долготной составляющей доминируют трансевразийские виды – 36,6 %. По широтной составляющей в региональной фауне листоедов в целом преобладают виды с температным (119) полизональным (65) распространением. Фауна листоедов исследованного региона имеет комплексный миграционный характер и сложную ареалогическую структуру.

Ареалогический анализ фауны листоедов европейского Северо-Востока России показывает, что она сравнительно не богата, мало специфична и слагается из обычных широко распространенных видов. Совершенно отсутствуют эндемичные виды. Причина этого – плейстоценовые оледенения, которые уничтожили местную флору и фауну. В среднем плейстоцене во время днепровского и московского оледенений практически вся территория Севера европейской части России была подвержена влиянию обширной морской трансгрессии и частично перекрыта льдами. Северную часть Печорской низменности скрывали воды Северного Ледовитого океана. Бассейны Вычегды и Мезени оказались под покровом скандинавского ледника, который временами соединялся с ледниками Тимана и Урало-Пайхойского центра. В районе Северных Увалов и к югу от них существовал крупный ледниково-озерный бассейн [24]. Условий для существования насекомых в это время не было. Фауна листоедов исследованного региона, как и фауны других групп насекомых [25], имеет комплексный миграционный характер. Она сформировалась после таяния ледников за счет вселенцев с соседних территорий. Иммиграция сибирских и европейских неморальных видов продолжается и в настоящее время, которые обогащают фауну региона.

Исследования выполнены в рамках Программы отделения биологических наук РАН, финансируемых из средств Уральского отделения, проект 12-Т-4-1001.

Литература

1. *Городков К.Б.* Типы ареалов насекомых тундры и лесных зон европейской части СССР // Ареалы насекомых европейской части СССР. Л., 1984. С. 3–20.
2. *Городков К.Б.* Типы ареалов двукрылых (Diptera) Сибири // Систематика, зоогеография и кариология двукрылых насекомых (Insecta: Diptera). Л., 1992. С. 45–56.
3. *Емельянов А.Ф.* Предложения по классификации и номенклатуре ареалов // Энтомол. обозрение. 1974. Т. 53. Вып. 3. С. 497–522.
4. *Фасулати К.К.* Полевое изучение наземных беспозвоночных. М., 1971. 424 с.
5. *Цуриков М.Н., Цуриков С.Н.* Природосберегающие методы исследования беспозвоночных животных в заповедниках России // Труды Ассоциации особо охраняемых природных территорий Центрального Черноземья России. Вып. 4. Тула, 2001. 126 с.
6. *Weise J.* Chrysomelidae // Catalogus Coleopterorum Europae et Caucasi. 1883. P. 191–206.
7. *Chujo M., Kimoto S.* Systematic catalog of Japanese Chrysomelidae (Coleoptera) // Pasific Insects. 1961. Vol. 3. N 1. P. 117–202.
8. *Gressitt J.L., Kimoto S.* The Chrysomelidae (Coleoptera) of China and Korea. Part 1 // Pasific Insects Monograph. 1961. 300 p.
9. *Gressitt J.L., Kimoto S.* The Chrysomelidae (Coleoptera) of China and Korea. Part 2 // Pasific Insects Monograph. 1963. P. 301–1026.
10. *Медведев Л.Н.* Листоеды МНР. М., 1982. 302 с.
11. *Медведев Л.Н.* Сем. Chrysomelidae – Листоеды//Определитель насекомых Дальнего Востока СССР. Т. 3. Ч. 2. СПб.: Наука, 1992. С. 533–602.
12. *Медведев Л.Н., Шапиро Д.С.* Chrysomelidae – Листоеды // Определитель насекомых европейской части СССР. Т. 2. Жесткокрылые. М.-Л.: Наука, 1965. С. 419-474.
13. *Лопатин И.К.* Жуки-листоеды (Chrysomelidae) Средней Азии и Казахстана. Определители по фауне СССР. Т. 113. Л.: Наука, 1977. 270 с.
14. *Лопатин И.К.* Жуки-листоеды фауны Белоруссии и Прибалтики: Определитель. Минск: Высшая школа, 1986. 131 с.
15. *Burakowski B., Mroczkowski M. and Stefanska J.* Coleoptera. Stonkowate-Chrysomelidae. 1. Katalog fauny Polski, Cz. 23. T. 16. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1990. 279 s.
16. *Burakowski B., Mroczkowski M. and Stefanska J.* Coleoptera. Stonkowate-Chrysomelidae. 2. Katalog fauny Polski, Cz. 23. T. 17. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1991. 227 s.
17. *LeSage L.* Family Chrysomelidae, leaf-beetles // Checklist of Beetles of Canada and Alaska. Biosyst. Research Centre, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario, 1991. P. 301–323.
18. *Медведев Л.Н., Дубешко Л.Н.* Определитель листоедов Сибири. Иркутск, 1992. 224 с.
19. *Bieńkowski A.O.* Leaf-beetles (Coleoptera, Chrysomelidae) of the Eastern Europe. New key to subfamilies, genera and spesies. M., 2004. 278 pp.
20. *Долгин М.М.* Ландшафно-географическое распределение листоедов (Coleoptera, Chrysomelidae) европейского Северо-Востока России // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2011. Т. 116. Вып. 2. С. 12–19.
21. *Долгин М.М., Беньковский А.О.* Жуки-листоеды (Coleoptera, Chrysomelidae). СПб.: Наука, 2011. 291 с. (Фауна европейского Северо-Востока России. Жуки-листоеды. Т. VIII, ч. 3).
22. *Долгин М.М.* Фауна и экология листоедов (Coleoptera, Chrysomelidae) европейского Северо-Востока России // Экология арктических и приарктических территорий: Материалы Междунар. симп. Архангельск, 2010а. С. 12–14.
23. *Долгин М.М.* Новые виды фауны листоедов европейского Северо-Востока России // Вестник Поморского университета. Серия «Естественные науки». 2010б. Вып. 3. С. 43–46.
24. *Данилов И.Д.* Плейстоценовые трансгрессии на севере Западной Сибири и в Печорской низменности // Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое/Под ред. А.И.Толмачева. Л., 1970. С. 368–373.
25. *Татаринов А.Г., Долгин М.М.* Булавоусые чешуекрылые. СПб.: Наука, 1999. 183 с. (Фауна европейского Северо-Востока России. Булавоусые чешуекрылые; Т. VII, ч. 1).

УДК 595.754

ФАУНА ПОЛУЖЕСТКОКРЫЛЫХ (HETEROPTERA) ОКРЕСТНОСТЕЙ ОЗЕР ХАРБЕЙСКОЙ СИСТЕМЫ (БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКАЯ ТУНДРА)

А.Н. ЗИНОВЬЕВА

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

В окрестностях озер Харбейской системы (восточная часть Большеземельской тундры) выявлено 28 видов клопов из 19 родов и 7 семейств. Впервые для европейского Северо-Востока России указан *Chlamydatus opacus* (Zett.). Наиболее богато представлена гемиптерофауна интразональных злаковых и разнотравных сообществ, мохово-кустарничковая и ерниковая тундры обеднены клопами. По характеру ярусного распределения выделено четыре группы, среди которых преобладают хортобионты (58 %). Ядро локальной фауны образуют голарктические виды (57 %) с широкими в поясном отношении типами ареала.

Ключевые слова: **полужесткокрылые, фауна, Большеземельская тундра**

A.N. ZINOVYEVA. FAUNA OF TRUE BUGS (HETEROPTERA) IN THE VICINITY OF LAKES OF KHARBEI SYSTEM (BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA)

In the vicinity of lakes of Kharbey system (eastern part of Bolshezemelskaya tundra) 28 species of true bugs from 19 genera and 7 families are revealed. For the first time for the European Northeast of Russia *Chlamydatus opacus* was found. The hemipterofauna of intrazonal cereals and herb communities is most richly represented, moss-shrub and dwarf birch tundra is poor in bugs. By the character of distribution four groups are singled out, among which ckhortobionts prevail (58%). The center of local fauna is formed of golarctic species (57%) with wide area of natural habitat in zone aspect.

Key words: **Heteroptera, fauna, inhabitants, Bolshzemelskaya tundra**

Полужесткокрылые, или клопы (Heteroptera) – многочисленный отряд насекомых с неполным превращением, численность и видовое разнообразие которых уменьшаются при продвижении на Север. По данным А.Н. Кириченко [1], наиболее богата гемиптерофауна пустынной и полупустынной зон, беднее – степной, меньшее число видов характерно для лесной и тундровой зон. Работ, посвященных полужесткокрылым тундровой зоны европейского Севера России, немного, и, в основном все они представляют собой аннотированные списки видов [2–4]. До сих пор не исследованы структура населения и экологические особенности Heteroptera, отсутствуют данные о топических группировках и ярусном распределении клопов, не выявлены причины угнетения на Севере многих семейств отряда.

Материал и методы

Исследования проводили в июле – августе 2009 г. в окрестностях озер Большой Харбей и Головка, которые относятся к бассейну реки Сейда и располагаются в восточной части Большеземельской тундры (рис. 1). Они имеют ледниково-аккумулятивное происхождение, занимают пониженные части рельефа и обладают вытянутой русловой формой. Берега сложены каменистыми отложениями, галькой и песком [5]. По природной зональности район исследований относится к подзоне южной тундры. На плакорах преобладают кустарниковые, или ивняковые тундры (*Salix glauca* L., *Salix* sp., *Betula nana* L., *Ledum palustre* L., *Rubus chamaemorus* L., *Sphagnum* sp.). Отмечены плоскобугристые и осоковые болота, моховые и лишайниковые тундры. Пойма ручьев и окрайка озер представлена ивняками, реже – разнотравными и злаковыми луговинами (*Carex* sp., *Equisetum* sp., *R. arcticus* L., *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Festuca* sp., *Galium boreale* L., *Veronica longifolia* L., *Polemonium boreale* Adams., *Bistorta major* S.F. Gray., *Tanacetum bipinnatum* (L.) Sch.Bip.,). Климат суровый, годовая суммарная радиация равна 63.5-72.0 ккал./см^2. Холодный период продолжается около 8 месяцев, среднегодовая температура воздуха составляет -3.9 -5.7 °С., годовая сумма осадков 400–570 мм [6] .

Наземных клопов собирали энтомологическим сачком методом кошения по травянистой и кустарниковой растительности, водных клопов отлавливали водным сачком. Определение имаго прово-

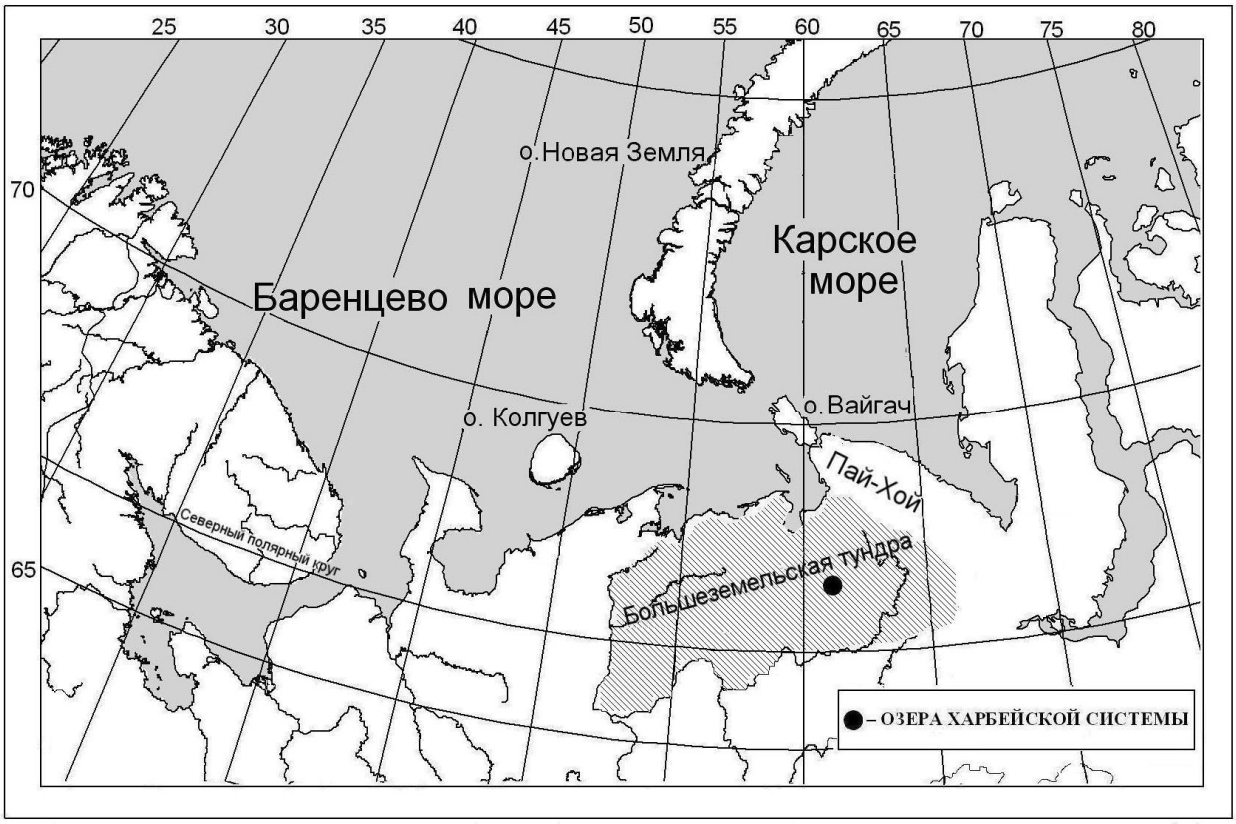


Рис. 1. Карта-схема района исследований.

дили в лабораторных условиях [7]. Всего собрано и определено 350 экземпляров клопов. Материал хранится в научном музее Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Название таксонов и распространение видов приводится по каталогам Палеарктики [8]. Распределение видов по ярусам растительности указано в соответствии с работой В.В. Яхонтова [9]. Тип ареала приведен по схеме К.Б. Городкова [10].

Структура населения наземных полужесткокрылых была изучена на пяти учетных площадках в интразональных сообществах. Для биотопов, где число обнаруженных видов не превышало два–четыре, расчеты не проводились. Обилие видов оценивалось по пятибалльной логарифмической шкале Ю.А. Песенко [11], согласно которой массовые виды обозначены баллом 5, многочисленные – 4, обычные – 3, малочисленные – 2 и редкие – 1. Анализ видового разнообразия клопов в пределах одного сообщества включал расчеты показателей видового богатства и индексов неоднородности: S – общее число видов в сообществе; d – индекс доминирования Бергера-Паркера; $D_{мп}$ – индекс Менхиника; $D_{мд}$ – индекс Маргалефа; H' – индекс Шеннона [11, 12]. Сравнение видового состава клопов в природных сообществах (присутствие–отсутствие вида) проведено методом кластерного анализа (присоединение по невзвешенному среднему арифметическому сходству). В качестве показателя соответствия использовался индекс Чекановского-Съеренсена (Jc-s). Расчеты и построение дендрограммы производились в программе Biodiv м. 4 for DOS.

Результаты исследований

В ходе проведенной работы выявлено 28 видов полужесткокрылых из 19 родов и 7 семейств, что составляет 53 % от общего числа видов, отмеченных в Большеземельской тундре и прилежащих районах лесотундры [2–4]. Впервые для региональной фауны указан *Chlamydatus opacus* (Zett.).

Фауна полужесткокрылых окрестностей озер Большой Харбей и Головка выявлена достаточно полно. Среди указанных ранее А.В. Журавским и И.А. Куликом девяти наземных видов [2], обнаружение семи из них подтвердилось нами спустя столетие. Существующий список дополнился водными и околоводными представителями, наземниками и цветочными клопами. Вполне ожидаемо также обнаружение в районе исследования собственно арктических *Chiloxanthus stellatus* (Curt.), *Trigonotylus fuscitarsis* Lam., *Orthotylus artemisiae* Sahlb., *Chlamydatus acanthioides* (Sahlb.) и аркто-бореальных видов *Cymatia bonsdorffii* (Sahlb.), *Orthotylus lenensis* Lind. Возможна находка аркто-борео-монтанного *Chlamydatus wilkinsoni* (Dgl. Sc.), ареал которого захватывает Европу (кроме южной), север России, северные районы Сибири, Дальний Восток, Северную Америку [8].

Наибольшее видовое богатство характерно для слепняков (Miridae) – 16 видов (рис. 2), по четыре вида насчитывают водомерки (Gerridae) и околоводники (Saldidae), единичными видами представлены семейства гребляков (Corixidae), клопов-

охотников (Nabidae), хищников-крошек (Anthocoridae) и наземников (Lygaeidae). По мнению Н.Н. Винокурова и А.Д. Степанова [13], увеличение роли Miridae и Saldidae на фоне значительного снижения биологического разнообразия Heteroptera характерно для Субарктики в целом. По родам клопы распределены следующим образом: лидерами являются Gerris, Saldula и Chlamydatus (по три вида), по два вида насчитывают роды Leptopterna, Teratocoris и Psallus, подавляющее большинство родов (13) включают по одному виду.

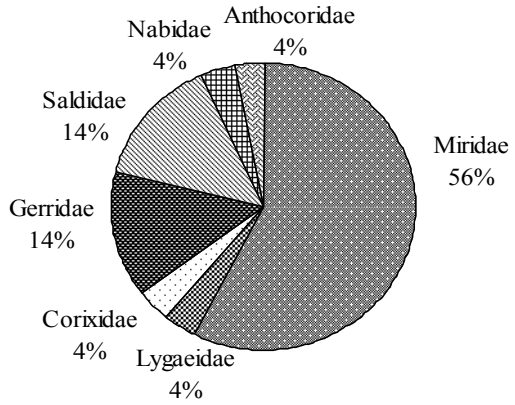


Рис. 2. Видовая насыщенность семейств полужесткокрылых окрестностей озер Большой Харбей и Головка.

Распределение полужесткокрылых по биотопам неоднородно (табл. 1). Наиболее богата фауна клопов интразональных сообществ, расположенных в пойме озер, где число видов изменяется от четырех до десяти. Зональные сообщества обеднены и включают два–четыре вида. В оз. Головка на заиленном мелководье, среди прибрежной растительности выявлены *Limnoporus rufoscutellatus* и *Gerris lacustris*. В оз. Большой Харбей гребляки и водомерки не отмечены, что, вероятно, обусловлено глубиной и слабой прогреваемостью водоема. Разновозрастные личинки и имаго *Callicorixa producta* встречались во временных водоемах и лужах на плакорах, наряду с *Gerris argentatus* и *G. lateralis*. Многочисленными были *C. producta* и *G. lateralis.*

При сравнении исследованных биотопов (водные и околоводные местообитания не учитывались) на дендрограмме выделилось два кластера (рис. 3). Первый кластер включает виды травянистых интразональных сообществ: крупнозлакового, мелкозлакового, осоково-злакового сообществ и разнотравной луговины. Наиболее сходны в фаунистическом отношении мелкозлаковая и разнотравная луговины (Jc-s=0.50). Общими для этих биотопов являются *Nabis flavomarginatus*, *Labops sahlbergi, Chlamydatus pulicarius.* Второй кластер образуют виды зональных сообществ: ерниковой и мохово-кустарничковой тундры. По видовому составу клопов ивняки, расположенные в пойме озер, тяготеют к зональным сообществам за счет видов тамнобионтов *Closterotomus samoje-dorum* и *Psallus betuleti.*

Таблица 1

Видовой состав и биотопическое распределение полужесткокрылых в окрестностях озер Харбейской системы

Название семейств и видов	Местообитание									
	Пойма							Плакор		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Corixidae										
Callicorixa producta (Reuter, 1880)	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Gerridae										
Gerris argentatus Schummel, 1832	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Gerris lacustris (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–
Gerris lateralis Schummel, 1832	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Limnoporus rufoscutellatus (Latreille, 1807)	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
Saldidae										
Calacanthia trybomi (J. Sahlberg, 1878)	–	–	+	–	–	–	+	–	–	+
Saldula fucicola (J. Sahlberg, 1870)	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
Saldula orthochila (Fieber, 1859)	–	–	+	–	–	–	+	–	–	–
Saldula pallipes (Fabricius, 1794)	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
Nabidae										
Nabis flavormarginatus Scholtz, 1847	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
Anthocoridae	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Anthocoris nemorum (Linnaeus, 1761)	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Miridae										
Capsus cinctus (Kolenati, 1845)	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–
Closterotomus samojedorum (J. Sahlberg, 1878)	–	–	+	–	+	–	–	–	+	–
Lygocoris rugicollis (Fallén, 1807)	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–
Polymerus unifasciatus (Fabricius, 1794)	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
Leptopterna dolabrata (Linnaeus, 1758)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Leptopterna ferrugata (Fallén, 1807)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 1

Название семейства и вида	Местообитание									
	Пойма							Плакор		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Teratocoris saundersi Douglas & Scott, 1869	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–
Teratocoris viridis Douglas & Scott, 1867	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Euryopicoris nitidus (Meyer-Dür, 1843)	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
Labops sahlbergii (Fallén, 1829)	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
Orthotylus discolor J. Sahlberg, 1878	+	+	–	–	+	–	–	–	–	–
Chlamydatus pulicarius (Fallén, 1807)	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–
Chlamydatus pullus (Reuter, 1870)	+	+	–	–	–	–	–	–	–	+
Chlamydatus opacus (Zetterstedt, 1838)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Psallus aethiops (Zetterstedt, 1838)	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Psallus betuleti (Fallén, 1826)	–	–	–	–	+	–	–	–	+	+
Lygaeidae	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Nysius ericae groenlandicus (Zetterstedt, 1838)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
S – общее число видов	8	9	10	4	6	2	4	4	2	3

Условные обозначения: I – крупнозлаковое сообщество, II – мелкозлаковое сообщество, III – разнотравная луговина, IV – осоково-злаковое сообщество, V – ивняки, VI – оз. Головка, VII – бечевник, VIII – лужи на плакорах, IX – ерник, X – моховокустарничковая тундра, прочерк – отсутствие вида.

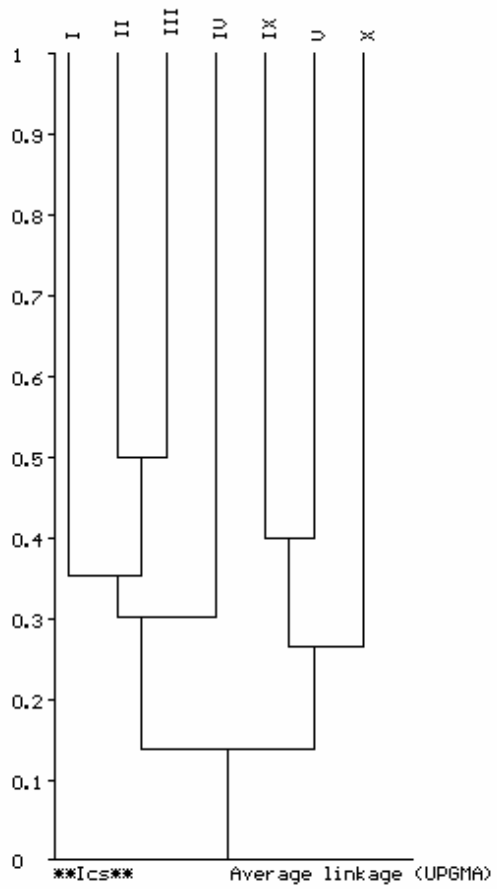


Рис. 3. Дендрограмма фаунистического сходства наземных полужесткокрылых в окрестностях озер Большой Харбей и Головка. Обозначение биотопов как в табл. 1.

Таблица 2

Показатели видового разнообразия наземных полужесткокрылых (Heteroptera) в природных сообществах окрестностей озер Харбейской системы

Индексы разнообразия	Местообитание				
	I	II	III	IV	V
S – число видов в сообществе	8	9	10	4	6
d – индекс доминирования Бергера-Паркера	0,53	0,69	0,33	0,71	0,29
Dmn – индекс Менхиника	1,1	1,09	1,58	0,72	0,93
Dmg – индекс Маргалефа	1,76	1,90	2,44	0,87	1,34
H' – индекс Шеннона	1,48	1,20	1,88	0,91	1,66

Примечание. Обозначение биотопов указано в табл. 1.

Структура населения наземных полужесткокрылых была изучена на пяти учетных площадках (табл. 2). На крупнозлаковой луговине зарегистрировано восемь видов, среди которых доминирует *Teratocoris saundersi* (52%), обычный – *N. flavomarginatus* (17%), малочисленные – *T. viridis*, *L. sahlbergi* (по 10% соответственно), редкими видами являются *Capsus cinctus, Orthotylus discolor, Chlamydatus pullus* и *P. aethiops.* Структура населения полужесткокрылых мелкозлаковой луговины характеризуется высоким обилием *O. discolor* (70%). Видов с баллом обилия 4 и 3 не выявлено. В малом числе отмечены *Leptopterna dolabrata, C. pullus* и др. Редкие виды представлены *N. flavomarginatus*, *Nysius ericae groenlandicus, L. sahlbergi.* Наименьший уровень видового богатства клопов был отмечен в осоково-злаковом сообществе, где выявлено четыре вида, среди которых доминирует питающийся на ситниковых и осоковых *T. saundersi* [7]. Обычный для сообщества вид *C. cinctus* развивается на злаковых, в меньшем числе обнаружен *T. viridis*. Обитающий на ивах *Lygocoris rugicollis*, вероятно, случайно попал в исследуемый биотоп.

Для крупнозлакового, осоково-злакового и мелкозлакового сообществ характерно высокое

значение d (табл. 2). В первых двух сообществах доминирует *T. saundersi,* трофически связанный с осоковыми. В мелкозлаковом сообществе по обилию преобладал *O. discolor.* Наиболее богато представлена гемиптерофауна разнотравной луговины (10 видов). Субдоминантом является *T. saundersi* (32%), обычными – *Euryopicoris nitidus*, *L. sahlbergi*. В малом числе обнаружены *C. samojedorum* и *C. pulicarius,* остальные виды – редкие. В ивняках субдоминантами являются *O. discolor* и *Psallus aethiops* (26% и 28% соответственно), обычные виды *C. samojedorum*, *Lygocoris rugicollis*, *P. betuleti,* редкий – *Anthocoris nemorum.* На разнотравной луговине и в ивняках виды распределены равномерно.

Распределение Heteroptera в крупнозлаковом, мелкозлаковом и осоково-злаковом сообществах, а также индексы выравненности и разнообразия соответствуют модели логарифмического ряда (рис. 4). Данная модель характеризует сообщества с

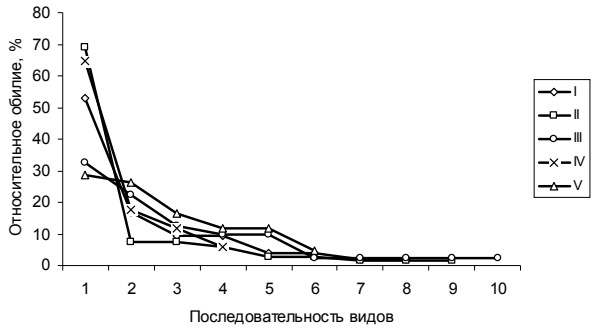


Рис. 4. Ранговое распределение обилий видов наземных клопов в исследованных биотопах. (Названия растительных сообществ как в табл. 1).

малым числом обильных видов и большой долей редких. Подобное распределение обилий видов типично для сообществ, где определяющее значение имеет один или немногие экологические факторы и пространство ниши разделено по иерархическому признаку [14]. Ранговое распределение обилий видов на разнотравной луговине и в ивняках описывается логарифмической нормальной моделью распределения, что указывает на зрелое, разнообразное сообщество [12]. На структуру таких сообществ в меньшей степени влияют условия среды и в большей – разделение экологических ниш [15].

Для наземных клопов отмечена приуроченность видов к ярусу растительности. В напочвенном ярусе, на бечевнике зарегистрированы виды рода Saldula и *Calacanthia trybomi*. Последний встречается также на плакорах в мохово-кустарничковой тундре, проникает в пойменные сообщества. Травяно-кустарничковый ярус населяют клопы-хортобионты (58 %). На цветках и листьях *Tanacetum bipinnatum* отмечены *O. discolor* и *Chlamydatus sp.*, на *Bistorta major* – *Teratocoris* sp., *L. sahlbergi*, *Chlamydatus* sp., на *Poa pratensis* L. – личинки и имаго *N. flavomarginatus*, имаго *C. cinctus*, *Chlamydatus* sp., *Nysius groenlandicus*. Менее разнообразно представлены тамнобионты (17%). На листьях *Betula nana* встречается *P. betuleti.* На *Salix* sp. обычны *L. rugicollis* и *P. aethiops.* Некоторые виды не приурочены к одному ярусу растительности. Например, характерные для деревьев и кустарников *A. nemorum* и *C. samojedorum* встречаются на травянистой растительности. Таким образом, в условиях кустарниковой тундры наблюдается снижение разнообразия ярусных групп и преобладание хортобионтов.

Основу исследуемой локальной фауны составляют виды с голарктическим распространением: *C. producta*, *L. rufoscutellatus*, *C. trybomi*, *N. flavomarginatus*, *C. cinctus*, *Polymerus unifasciatus*, *L. dolabrata*, *L. ferrugata*, *T. saundersi*, *T. viridis*, *O. discolor*, *C. opacus, C. pullus*, *P. aethiops, P. betuleti*, *N. groenlandicus* (16 видов). На втором месте группа видов с трансевразиатским ареалом: *G. lateralis*, *Saldula fucicola, A. nemorum*, *E. nitidus*, *L. sahlbergi, C. pulicarius* (шесть видов). Полужесткокрылые, выходящие в своем распространении за пределы Голарктики, немногочисленны и включают *Saldula pallipes*, *Saldula orthochila*, *L. rugicollis*. Виды с евросибиро-среднеазиатским (*C. samojedorum*), западно-центральнопалеарктическим (*G. argentatus*) и транспалеарктическим (*G. lacustris*) ареалами представлены единично (рис. 5).

Рис. 5. Долготные группы полужесткокрылых окрестностей озер Большой Харбей и Головка.

В широтном отношении гемиптерофауна озер Харбейской системы представлена пятью группами. Многочисленны температные виды, распространение которых на севере ограничено тундрой, на юге – лесостепной ландшафтной зоной умеренного пояса (рис. 6). Широко распространенная полизональная группа образована *G. argentatus*, *G. lacustris*, *S. pallipes, S. orthochila, L. rugicollis*, *P. unifasciatus*. Высокий процент температных и полизональных видов объясняется влиянием пойменных интразональных сообществ, с которыми трофически связана большая часть обнаруженных видов. Клопы, населяющие тундровую и таежную зоны, представлены *C. producta*, *T. saundersi*, *T. viridis*, *C. opacus, P. aethiops*. Собственно арктическими являются *C. trybomi* и *O. discolor.* Циркумполярный арктический *C. trybomi* встречается в равнинных и горных областях тундровой зоны Евразии, на Аляске и в

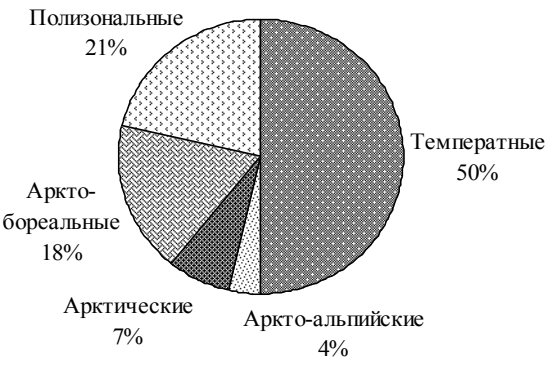


Рис. 6. Широтные группы полужесткокрылых окрестностей озер Большой Харбей и Головка.

Канаде [8]. В европейской части России вид отмечался ранее на архипелаге Новая Земля [16], п-ове Канин и о. Колгуев, в Малоземельской и Большеземельской тундрах [2], на о. Долгий [17] и на Полярном Урале [18, 19]. Характерен для тундр Западной Сибири и Дальнего Востока [8], в Восточной Сибири доходит до Колымского нагорья [20]. Обычным для южных тундр региона и Полярного Урала является *O. discolor* [3, 19]. В Сибири этот слепняк отмечен в тундре и лесотундре [13]. Единственным представителем аркто-альпийской группы является *N. ericae groenlandicus*, ареал которого охватывает Гренландию, Исландию, Финляндию, Швецию, Норвегию, восточноевропейские тундры, некоторые районы Западной и Восточной Сибири, Дальний Восток, Аляску, Канаду, США, а также высокогорья Тянь-Шаня и Памиро-Алтая [2, 8, 21].

Заключение

В окрестностях озер Харбейской системы выявлено 28 видов полужесткокрылых из 19 родов и 7 семейств. В таксономическом отношении наиболее разнообразно представлено семейство Miridae (56%), что типично для восточноевропейских тундр. По характеру долготного распределения преобладают голарктические виды с широкими в поясном отношении типами ареала. Арктические, аркто-альпийские и аркто-бореальные виды занимают подчиненное положение. Наиболее богаты клопами разнотравные, крупно- и мелкозлаковые сообщества, представленные в основном температными и полизональными видами. Обеднены в гемиптерологическом отношении зональные тундры.

Работа выполнена в рамках междисциплинарного проекта «Ландшафтно-зональные условия, биогеохимия и видовое разнообразие беспозвоночных животных на европейском Севере: оценка роли природных и антропогенных факторов». Рег. № 09-М-45-2001.

Литература

1. *Кириченко А.Н.* Настоящие полужесткокрылые (Hemiptera) европейской части СССР. Определитель и библиография. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 424 с.
2. *Кириченко А.Н.* Настоящие полужесткокрылые (Heteroptera) восточного сектора Арктической Евразии // Энтомол. обозр. 1960. Т. 39. Вып.3. С. 619–628.
3. *Зиновьева А.Н.* К фауне полужесткокрылых (Heteroptera) Большеземельской тундры // Русский энтомол. журн. 2006. Т. 15. Вып. 2. С. 127–130.
4. *Зиновьева А.Н.* Обзор полужесткокрылых (Heteroptera) равнинной тундры европейского Северо-Востока России // Север: арктический вектор социально-экологических исследований. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2008. С. 289–295.
5. *Голдина Л.П.* География озер Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1972. 102 с.
6. *Власова Т.А.* Гидрологические и гидрохимические условия биологического продуцирования в озерах Харбейской системы // Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1976. С. 6–8.
7. *Кержнер И.М., Ячевский Т.Л.* Отряд Hemiptera (Heteroptera) – Полужесткокрылые, или клопы. Определитель насекомых европейской части СССР. М.-Л.: Наука, 1964. Т. 1. С. 655–845.
8. *Catalogue of the Heteroptera* of the Palaearctic Region / Eds. B. Aukema, Chr. Rieger. Amsterdam. Netherlands Entomol. Soc.; 1995. Vol. 1. 222 p.; 1996. Vol. 2. 361 p.; 1999. Vol. 3. 577 p.
9. *Яхонтов В.В.* Экология насекомых. М.: Высшая школа, 1964. 464 с.
10. *Городков К.Б.* Типы ареалов насекомых тундры и лесных зон европейской части СССР // Ареалы насекомых европейской части СССР. Л.: Наука, 1984. С.3–20.
11. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
12. *Мэггарран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение / Пер. с анг. М.: Мир, 1992. 166 с.
13. *Винокуров Н.Н., Степанов А.Д.* Полужесткокрылые (Heteroptera) лесотундры и низменных редколесий северо-восточной Якутии // Зоол. журн. 2003. Т. 82. № 6. С. 744–747.
14. *Татаринов А.Г., Долгин М.М.* Видовое разнообразие и методы его оценки: учебное пособие. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2010. 44 с.
15. *Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы. М.: Просвещение, 1975. 328 с.
16. *Бианки В.* Acanthia (Calacanthia) trybomi (J. Sahlb.) с Новой Земли // Ежегодник Зоологического музея Импер. акад. наук. Т. II. СПб., 1897. С. 362–364.

17. *Макарова О.Л., Макаров К.В.* Полужесткокрылые насекомые (Heteroptera) Арктического острова Долгий (Баренцево море) // Зоол. журн. 2006. Т. 85. Вып. 6. С. 702–711.
18. *Кириченко А.Н.* Полужесткокрылые (Hemiptera-Heteroptera) // Науч. рез. эксп. бр. Кузнецовых на Полярный Урал. Зап. Акад. наук. (VIII). Физ.-мат. отд. 1916. Т. XXVIII. Вып. 19. С. 1–11.
19. *Седых К.Ф.* Животный мир Коми АССР. Беспозвоночные. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1974. 192 с.
20. *Винокуров Н.Н.* Новые данные о распространении полужесткокрылых семейства Saldidae (Heteroptera) в Сибири // Зоол. журн. 2005. Т. 84. №7. С. 885–888.
21. *Böcher J.* Biology and ecology of the arctic-alpine bug *Nysius groenlandicus* (Zett.) (Heteroptera: Lygaeidae) in Greenland // Norw. J. Ent. 1978. Vol.25. P. 72.

Статья поступила в редакцию 05.03.2012.

УДК 612.1/2(470.13) + 613.614

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДОНОЗОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТА «МАРС-500» В СЫКТЫВКАРЕ И ЕКАТЕРИНБУРГЕ

Ю.Г. СОЛОНИН*, А.Л. МАРКОВ*, Е.Р.БОЙКО*, Я.Л. ГАБИНСКИЙ**, С.А. РАЕНГУЛОВА**, Т.Ю. САФОНОВА***

**Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
***ГБУЗ СО Уральский институт кардиологии, г. Екатеринбург*
****Уральская государственная медицинская академия Минздравсоцразвития РФ, г. Екатеринбург*
solonin@physiol.komisc.ru

В рамках эксперимента «Марс-500» в разные сезоны года обследованы группы мужчин в Сыктывкаре (северяне) и Екатеринбурге (уральцы). Показано, что влияние климатического фактора у «северян» проявилось в более высоком напряжении регуляторных механизмов кровообращения, в повышенном риске развития донозологических состояний. Роль экологического фактора у «уральцев» выявлена по существенному замедлению зрительно-моторных реакций. В обеих группах не обнаружено влияния сезонного фактора.

Ключевые слова: **эксперимент «Марс-500», жители Сыктывкара, жители Екатеринбурга, кровообращение, донозологические состояния, климатические влияния, экологические влияния**

YU.G.SOLONIN, A.L.MARKOV, E.R.BOJKO, YA.L.GABINSKY, S.A.RAENGULOVA, T.YU.SAFONOVA. **COMPARISON OF THE RESULTS OF PRENOSOLOGICAL STUDIES OF "MARS-500" EXPERIMENT PARTICIPANS IN SYKTYVKAR AND YEKATERINBURG**

Two groups of men – one in Syktyvkar (northerner) and one in Yekaterinburg (Urals resident) – were studied in different seasons of the year during "Mars-500" experiment. It was shown that influence of the climatic factor in northerners was manifested in more high strain of regulatory blood circulation mechanisms, in higher risk of prenosological states development. The role of the ecological factor in the Urals residents is revealed in significant inhibition of visual-motor reactions. In both groups no effects of seasonal factors were found.

Key words: **"Mars-500" experiment, residents of Syktyvkar, residents of Yekaterinburg, blood circulation, prenosological states, effects of climate, ecological effects**

Донозологические исследования испытателей-волонтеров в масштабном наземном эксперименте «Марс-500» в ряде городов России (Москва, Воронеж, Екатеринбург, Сыктывкар, Магадан) и мира (Минск, Алматы, Прага, Берлин, Торонто) проводятся для сравнения с данными экипажа испытателей, находящихся в гермокамере макета «марсианского» корабля в Москве [1–4 и др.]. Выбор разных регионов и городов обусловлен не только наличием исследовательской базы, но и особенностями в этих пунктах климатических условий и экологической обстановки, могущими повлиять на организм испытателей-волонтеров в длительном медико-экологическом эксперименте. Такие исследования важны как для космической медицины, так и для практического здравоохранения, которое занимается вопросами диагностики здоровья и профилактики заболеваний населения [5,6].

В связи с этим представляется интересным сравнить данные донозологических исследований в группах испытателей, проживающих в регионах страны с разными климатическими и экологическими условиями. Из литературы известно, что климатические особенности проживания в разных географических регионах оказывают влияние на физиологические функции человека, и это влияние обнаруживается как при трансширотных перемещениях людей [7], так и сопоставлении физиологического статуса у постоянных жителей разных регионов [4,8–10]. Интересно было по единой методике сопоставить результаты исследований групп испытателей в Сыктывкаре (Север) и Екатеринбурге (Средний Урал).

Разница в географическом положении сравниваемых городов составляет по широте около 5° и по долготе – около 10°. Сыктывкар находится на

широте 61º40´ и долготе 50º51´, а Екатеринбург – на широте 56º48´ и долготе 60º38´. Этим определяются некоторые различия между ними по климатическим параметрам. Соответственно в этих пунктах продолжительность солнечного сияния в год составляет около 1500 и около 1900 час., среднегодовая температура воздуха – 0,4 и 2,7ºС, среднегодовая скорость ветра – 4,1 и 3,1 м/с, снежный покров держится в среднем 182 и 165 дней. Имеется разница в атмосферном давлении и световом режиме, особенно в контрастные сезоны года (табл. 1). Экологическая обстановка в сравниваемых городах также различна. По официальным данным, в 2010 г. в Сыктывкаре среднегодовая концентрация формальдегида в атмосферном воздухе составила 2,7 предельно-допустимой концентрации (ПДК), бенз(а)пирена 1,6. В 2010 г. в Екатеринбурге среднегодовые концентрации составили по формальдегиду 6,9 ПДК, по диоксиду азота – 1,8, по бенз(а)пирену – 1,5, по аммиаку – 1,1 ПДК. По остальным определяемым веществам в обоих городах среднегодовые концентрации не превышали санитарных нормативов. По состоянию атмосферного воздуха Екатеринбург в 2010 г. продолжал входить в список городов России с наибольшим уровнем загрязнения. Из вышесказанного следует, что в обоих сравниваемых регионах природные и экологические условия проживания далеки от комфортных.

Целью настоящей работы явилось сравнение результатов донозологических исследований у испытателей двух городов России (Сыктывкар и Екатеринбург) для установления в каждом из пунктов возможного влияния климатических и экологических факторов на организм и роли фактора сезонности.

Таблица 1

Сравнение функциональных показателей у испытателей в двух регионах в разные сезоны года (M ± m)

Показатели	Зима (декабрь)		Весна (март)		Лето (июнь)		Средне-широтные нормативы
	Северяне n = 16	Уральцы n = 10	Северяне n = 16	Уральцы n = 10	Северяне n = 16	Уральцы n = 10	
Температура воздуха, ºС	-17,0 ((-31)-0)	-14,0 ((-30)-0)	-5,0 ((-20)-7)	-5,0 ((-18)-4)	16,0 (4-30)	18,0 (5-29)	-
Световой день на 21 число месяца, часы	5,30	6,75	12,30	12,23	19,60	17,85	-
Атмосферное давление, мм рт.ст.	754 (722-766)	741 (715-750)	750 (720-770)	739 (709-758)	750 (743-758)	731 (719-739)	-
Масса тела, кг	79,6 ± 3,30	77,6 ± 2,88	80,6 ± 3,00	77,8 ± 2,98	79,9 ± 2,90	78,9 ± 2,86	-
Индекс массы тела, кг/м²	25,9 ± 0,88	24,7 ± 1,21	26,3 ± 0,80	24,9 ± 1,24	26,1 ± 0,77	25,3 ± 0,77	20-25
САД, мм рт.ст.	123 ± 2,9	117 ± 3,4	120 ± 2,2	123 ± 2,4	120 ± 1,7	118 ± 2,6	100-140
ДАД, мм рт.ст.	78 ± 1,1	76 ± 1,9	74 ± 1,7	77 ± 3,0	75 ± 1,3	74 ± 2,8	60-90
ЧСС, уд/мин	74 ± 1,6	74 ± 2,9	74 ± 1,8	74 ± 1,8	75 ± 2,1	69 ± 4,1	55-75
ИФИ, баллы	2,49 ± 0,07	2,36 ± 0,09	2,43 ± 0,05	2,45 ± 0,08	2,44 ± 0,05	2,30 ± 0,10	до 2,59
Индекс «Миокард», %	13,5 ± 0,84	13,9 ± 0,41	12,9 ± 0,94	14,3 ± 0,91	14,6 ± 1,40	14,3 ± 0,53	до 15
ПАРС, баллы	3,63 ± 0,52	4,90 ± 0,86	3,29 ± 0,47	3,60 ± 0,67	3,41 ± 0,42	4,44 ± 0,67	1-3
Индекс централизации, усл.ед.	4,20 ± 1,12	3,10 ± 0,65	3,31 ± 0,86	2,30 ± 0,64	2,71 ± 0,47	2,54 ± 0,51	до 2,5
Аритмии, %	0	0	0	0,16 ± 0,16	0	0,28 ± 0,28	до 4
Стресс-индекс, усл.ед.	126 ± 15,1	111 ± 32,4	139 ± 16,3	89 ± 15,6*	141 ± 17,3	79 ± 21,1*	80-150
SDNN, мс	40,9 ± 3,1	55,3 ± 9,2	38,4 ± 2,7	54,6 ± 8,3	38,9 ± 2,8	65,1 ± 12,5	40-80
pNN50, %	10,3 ± 3,1	17,4 ± 4,7	16,8 ± 8,9	18,0 ± 5,3	10,7 ± 3,0	27,2 ± 7,2*	
RMSSD, мс	28,8 ± 3,3	39,4 ± 7,4	27,1 ± 2,4	43,4 ± 8,6	28,6 ± 3,1	53,1 ± 13,3	20-50
Суммарная мощность спектра TP, мс²	1562 ± 241	3407 ± 1150	1344 ± 195	3234 ± 1092	1282 ± 191	4782 ± 1936	800-1500
Мощность HF,%	30,5 ± 4,4	30,1 ± 4,6	29,4 ± 2,4	37,8 ± 4,6	32,0 ± 3,1	32,2 ± 3,7	10-30
Мощность LF,%	42,9 ± 3,7	54,8 ± 4,5	47,0 ± 3,5	46,6 ± 5,4	45,7 ± 2,7	51,4 ± 4,6	15-45
Мощность VLF,%	26,5 ± 3,3	15,0 ± 3,0*	23,5 ± 3,0	15,6 ± 3,3	22,2 ± 3,1	16,4 ± 3,0	20-60
Индекс вегетативного баланса (LF/HF)	2,60 ± 0,73	2,44 ± 0,47	2,30 ± 0,70	1,78 ± 0,56	1,74 ± 0,25	1,97 ± 0,46	-
Самочувствие, баллы	4,3 ± 0,51	3,4 ± 0,50	4,4 ± 0,49	4,2 ± 0,55	4,0 ± 0,41	3,7 ± 0,37	до 2
Сумма баллов по анкете на 1 человека	10,0	12,3	9,4	11,6	8,7	11,4	-

Примечание. Здесь и в табл. 2 звездочками показаны статистически значимые различия между группами сравнения (P<0,05).

Материал и методы

Для медико-физиологического мониторинга отобраны практически здоровые лица, прошедшие полное поликлиническое обследование и давшие письменное согласие на участие в эксперименте «Марс-500». В Сыктывкаре обследованы 16 мужчин

(в дальнейшем «северяне») в возрасте 25–45 лет (в среднем 32,4±1,4 года) с ростом 164–188 см (в среднем 175±1,6 см) и массой тела 57–114 кг (в среднем 79,6±3,3 кг). В Екатеринбурге обследовано 10 мужчин (в дальнейшем «уральцы») в возрасте 27–38 лет (32,0±1,3 года), с ростом 167–187 см (177,7±2,3 см) и массой тела 63–93 кг (77,6±2,9 кг). В обоих городах волонтеры представляли профессии служащих и научных работников. Работа выполнена под руководством головной организации проекта «Марс-500» – Института медико-биологических проблем РАН (Москва) по единой методике [11], аналогичной той, которая применялась в основном эксперименте в гермокамере макета «марсианского» корабля (научный руководитель программы медико-экологических исследований – д.м.н., проф. Р.М.Баевский).

В исследовании нами использован аппаратно-программный комплекс «Экосан-2007», созданный фирмой «Медицинские компьютерные системы» (г.Зеленоград). Этот комплекс реализует методологию донозологического контроля за уровнем здоровья человека и позволяет оценивать состояние сердечно-сосудистой системы и ее регуляторных механизмов, измерять психофизиологические показатели. Система прибора «Кардиовизор» дает возможность на основе нового метода донозологической диагностики – дисперсионного картирования ЭКГ – выявлять ранние изменения уровня функционирования миокарда и оценивать показатель «Миокард». Система прибора «Кардиовар» позволяет анализировать вариабельность сердечного ритма по таким показателям, как: стандартное отклонение кардиоинтервалов (SDNN), доля числа пар кардиоинтервалов с длительностью более 50 мс (pNN50), квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD), суммарная мощность спектра во всех частотных диапазонах (TP), доли спектров высокочастотного (HF,%), низкочастотного (LF,%) и сверхнизкочастотного компонентов (VLF,%), выявлять аритмии, рассчитывать такие параметры, как «показатель активности регуляторных систем» (ПАРС), «индекс централизации» (ИЦ), «стресс-индекс» или индекс напряжения регуляторных систем. Система прибора СКУС предназначена для измерения времени простой (ПЗМР) и сложной (СЗМР) зрительно-моторных реакций.

Помимо этого в эксперименте применяли общепринятые методики и показатели. Рассчитывали «индекс массы тела» (ИМТ). Показатели гемодинамики: систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление и частоту сердечных сокращений (ЧСС) определяли электронным прибором модели UA-767 (A&D Company Ltd., Япония). Рассчитывали «индекс функциональных изменений» (ИФИ), характеризующий степень адаптации системы кровообращения, и «вегетативный индекс Кердо» (ВИК). Показатели кровообращения у волонтеров определяли также при выполнении кратковременной физической нагрузки (проба Мартине-Кушелевского) и ортостатической пробы. Испытатели ежемесячно отвечали на вопросы специально разработанной анкеты о самочувствии, образе жизни, жалобах, состоянии здоровья. Их ответы оценивали в баллах.

Данные о наружной температуре и атмосферном давлении брали на сайте Института космических исследований РАН (www.iki.rssi.ru/mars500). В настоящей работе анализируются результаты, полученные в месяцы, характеризующие только три сезона года (декабрь – зима 2010 г., март – весна и июнь – лето 2011 г.). Зрительно-моторные реакции были измерены в июне и сентябре 2010 г.

Полученные данные подвергнуты статистической обработке с помощью программ Microsoft Excel и Biostat (версия 4.03). Сравнение данных двух выборок и оценку сезонных различий (в связанных выборках) осуществляли с использованием критерия Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $P<0,05$.

Результаты и обсуждение

Основные результаты представлены в табл. 1. В дни исследований зимой и летом средняя температура наружного воздуха в Сыктывкаре несколько ниже, чем в Екатеринбурге. Длительность светового дня в Сыктывкаре была меньше зимой, а в Екатеринбурге заметно меньше летом. Во все сезоны года атмосферное давление существенно выше в Сыктывкаре, чем в Екатеринбурге, что означает более высокое парциальное давление кислорода в атмосфере Сыктывкара.

Переходя к анализу функциональных показателей, следует отметить, что в отобранных группах преобладали «нормо- и симпатикотоники». Среднее значение ВИК по месяцам колебалось у «северян» от -3 до -6, у «уральцев» – от -2 до -11. У «северян» по сравнению с «уральцами» зимой статистически значимо выше значения VLF,% (повышение уровня активности энергометаболического звена регуляции), весной – выше «стресс-индекс», летом – выше «стресс-индекс», но ниже pNN50. Это свидетельствует о преобладании активности центральных механизмов регуляции над автономными и симпатического звена регуляции над парасимпатическим.

При сравнении данных у «северян» и «уральцев» нельзя не отметить, что во все сезоны года прослеживаются следующие четкие тенденции: у «северян» по сравнению с «уральцами» выше значения ИМТ, ИЦ, «стресс-индекса», VLF,%, балла самочувствия, но ниже значения ПАРС, SDNN, pNN50, RMSSD, TP. Сумма баллов по анкетам в целом была выше у «уральцев», и аритмии встречались только весной и летом у отдельных лиц из группы «уральцев».

Из литературы известно [8,9], что северяне отличаются замедленными сенсо-моторными реакциями. И в группе испытателей-сыктывкарцев примерно у половины лиц время ПЗМР превышало среднеширотный норматив (табл. 2). Но у «уральцев», проживающих южнее на 5°, состояние психомоторики оказалось гораздо хуже. Время зрительно-моторных реакций (как простой, так и сложной)

Таблица 2

Зрительно-моторные реакции у испытателей в двух регионах в разные сезоны года (M ± m)

Показатели	Лето (июнь)		Осень (сентябрь)		Среднеширотные нормативы
	Северяне n = 16	Уральцы n = 12	Северяне n = 16	Уральцы n = 12	
ПЗМР, мс	200±6	258±19*	206±6	254±21*	до 200
СЗМР, мс	244±5	300±7*	233±9	281±11*	до 300

было статистически значимо как летом, так и осенью, больше у «уральцев», чем у «северян». Скорее всего, этот факт можно объяснить повышенным содержанием в атмосфере Екатеринбурга поллютантов с нейротоксическим действием (формальдегид, диоксид азота, аммиак). Ранее показано, что контакт с нейротропными ядами в более значительной степени, чем контакт с гепатотропными ядами, замедляет зрительно-моторные реакции у работающих [12].

В связи с проживанием обследуемых групп в зонах с некомфортной природной и экологической средой у многих испытателей по большинству показателей наблюдались отклонения от среднеширотных нормативов (табл. 3). Доля испытателей с отклонениями от нормы по таким показателям, как

Таблица 3

Процент испытателей с отклонениями некоторых показателей от среднеширотных нормативов

Показатели	Зима		Весна		Лето	
	Северяне	Уральцы	Северяне	Уральцы	Северяне	Уральцы
Индекс массы тела	50,0	30,0	52,9	30,0	47,0	44,4
САД	6,2	0	0	0	0	0
ЧСС	37,5	20,0	47,0	30,0	41,2	33,3
ВИК с минусом	62,5	66,7	52,9	66,7	58,8	66,7
Индекс централизации	43,7	50,0	41,2	20,0	47,0	22,2
Наличие аритмий	0	0	0	10,0	0	11,1
Стресс-индекс	37,5	20,0	35,3	10,0	41,2	11,1
TP	62,5	100,0	64,7	60,0	58,8	77,8
RMSSD	31,2	40,0	29,4	30,0	17,6	44,4
SDNN	68,7	50,0	64,7	30,0	58,8	33,3
HF,%	62,5	40,0	58,8	80,0	47,0	77,7
LF,%	43,7	90,0	64,7	50,0	58,8	66,6
VLF,%	37,5	60,0	35,3	80,0	47,0	77,7
ИФИ	43,7	11,1	29,4	33,3	29,4	11,1
Индекс «Миокард»	12,5	10,0	5,9	10,0	11,8	0
ПАРС	43,7	60,0	35,3	40,0	41,2	55,5
Самочувствие	93,7	60,0	94,0	80,0	88,0	100,0

ИМТ, ЧСС, «стресс-индекс», SDNN во все сезоны года была выше среди «северян», чем среди «уральцев». Она также выше у «северян» по САД зимой, по TP – весной, по ИЦ – весной и летом, по HF,% – зимой, по LF,% – весной, по ИФИ – зимой и летом, по индексу «Миокард» – зимой и летом, по самочувствию – зимой и весной. Среди «уральцев» доля испытателей с отклонениями от нормы была во все сезоны года выше по ВИК, RMSSD, ПАРС, VLF,%, а также по ПЗМР и СЗМР – летом и осенью, по ИЦ – зимой, по TP – зимой и летом, по HF,% – весной и летом, по LF,% – зимой и летом, по ИФИ – весной, по индексу «Миокард» – весной, по самочувствию – летом. В целом отклонения от нормы встречались с одинаковой частотой у «северян» и «уральцев», но у «северян» по сравнению с «уральцами» в сумме по всем показателям степень отклонения была выше на 41,5%.

При пробе с кратковременной физической нагрузкой (рис. 1) у «северян» было выше исходное и рабочее значение САД зимой и летом, но ниже исходная ЧСС зимой и весной, ниже рабочая ЧСС и ее прирост во все сезоны года. Рабочий прирост ЧСС составил зимой у «северян» 45%, у «уральцев» – 50, весной у «северян» – 40, у «уральцев» – 69, летом у «северян» – 34, у «уральцев» – 60%. Это может говорить об инертности у «северян» механизмов регуляции гемодинамики при кратковременной физической нагрузке.

При ортостатической пробе (рис. 2) у «северян» были выше исходные значения САД и ДАД, но ниже их рабочий прирост во все сезоны года. Так, рабочий прирост ДАД составил зимой у «северян» – 7%, «уральцев» – 10, весной у «северян» – 10, у «уральцев» – 17, летом у «северян» – 7, у «уральцев» – 19%. Все это свидетельствует о повышенном тонусе артерий в покое лежа и о ригидности реакции сосудов на ортопробу у «северян».

В обеих группах при сравнении данных по месяцам ни в одной из групп, ни по одному показателю не выявляется заметных однозначных сезонных сдвигов. Это может быть обусловлено тем, что отобранные волонтеры по характеру своей деятельности большую часть времени на работе и в быту находятся в условиях комфортного микроклимата и искусственного освещения, т.е. мало подвержены прямому влиянию внешней среды. Известно, что сезонность в функциональных сдвигах более четко проявляется у лиц, пребывающих по нескольку часов в день на открытом воздухе [13,14].

Предварительный анализ оценки риска развития донозологических состояний в группах, проведенный А.Г.Черниковой на основе вероятностного подхода [5,15], показал, что вероятность состояния «физиологическая норма» у «северян» составляет 0,679, у «уральцев» – 0,822, вероятность «донозологического состояния» – у «северян» 0,316, «уральцев» – 0,175. В целом по усредненным функциональным состояниям за год обследования группа «северян» попадает в зону «донозологических состояний», а группа «уральцев» – в зону «физиологическая норма».

Отмеченные различия между сравниваемыми выборками по целому ряду показателей можно объяснить разнонаправленным влиянием в двух

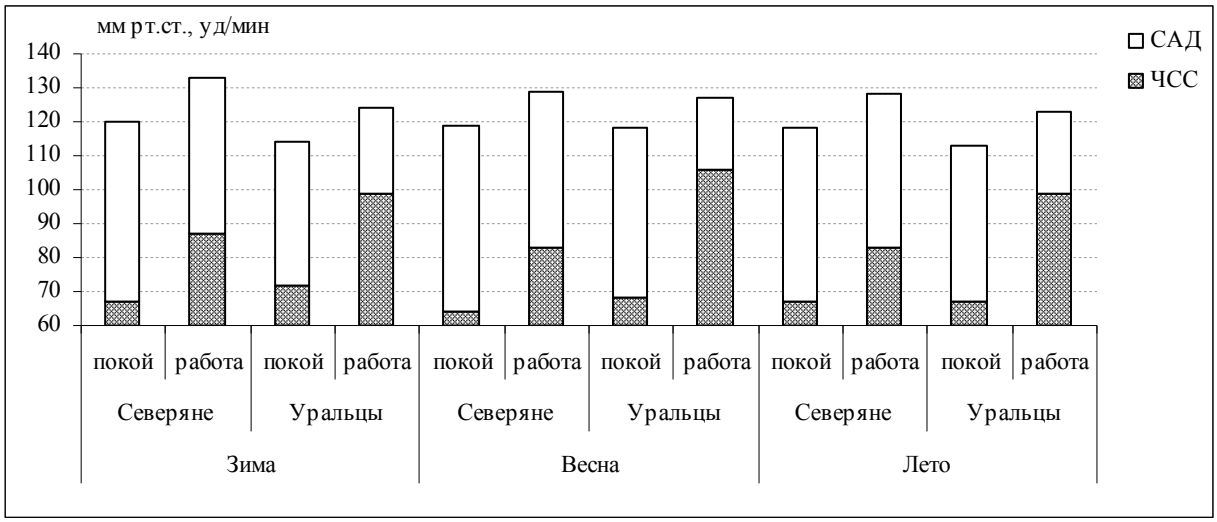


Рис. 1. Показатели гемодинамики при пробе Мартине-Кушелевского.

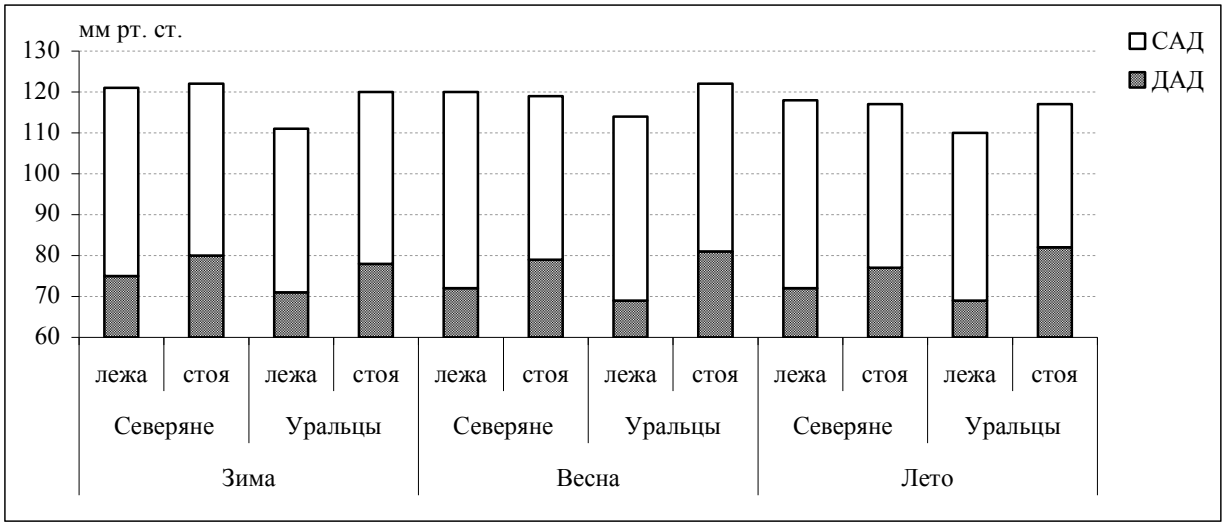


Рис. 2. Показатели артериального давления при ортостатической пробе.

регионах климатических и экологических факторов. При сравнении результатов у двух экспериментальных групп климатическое влияние проявилось у «северян» в повышенном «стресс-индексе» (степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными), в повышенной степени отклонения показателей от среднеширотной нормы, в несовершенстве механизмов регуляции гемодинамики при кратковременной физической нагрузке и ортопробе, в повышенном риске развития «донозологических состояний». Экологическое влияние у «уральцев» по сравнению с «северянами» проявилось в существенном замедлении зрительно-моторных реакций.

Заключение

Разница по географической широте проживания в 5° в пределах России и обусловленным этим климатическим параметрам, а также по степени загрязнения атмосферного воздуха в городах отражается на физиологическом статусе организма участников эксперимента «Марс-500». У «северян» по сравнению с «уральцами» выше напряжение сердечно-сосудистой системы и ее регуляторных механизмов, больше склонность к возникновению «донозологических состояний». У «уральцев» вредное действие экологического фактора проявляется в замедленных зрительно-моторных реакциях. У многих испытателей в обеих группах в разные месяцы обследования большинство показателей отклоняются от среднеширотных нормативов.

Литература

1. *Зенке Д.* Медико-экологические исследования по программе «Марс-500» в Германии // Донозология – 2009. Проблемы здорового образа жизни: Матер. 5-й Межд. конф. (17-18 декабря 2009 г., Санкт-Петербург). СПб., 2009. С. 212–213.
2. *Сафонова Т.Ю., Габинский Я.Л.* Результаты исследования контрольной группы эксперимента «Марс-500» на Среднем Урале // Там же. С. 250–251.

3. *Трефни З., Филатова Е.* Медико-экологические исследования по программе «Марс-500» в Чехии // Там же. С. 260–261.
4. *Солонин Ю.Г., Марков А.Л., Бойко Е.Р. и др.* Сравнение результатов донозологических исследований жителей разных широт – участников эксперимента «Марс-500» // Донозология и здоровый образ жизни. 2010. № 2(7). С. 22–27.
5. *Баевский Р.М., Берсенева А.П.* Введение в донозологическую диагностику. М.: Фирма «Слово», 2008. 220 с.
6. *Григорьев А.И., Баевский Р.М.* Концепция здоровья и космическая медицина. М.: Фирма «Слово», 2007. 208 с.
7. *Кривощеков С.Г., Охотников С.В.* Производственные миграции и здоровье человека на Севере. Москва–Новосибирск, 2000. 257 с.
8. *Солонин Ю.Г.* Широтные особенности физиологических функций у жителей Севера // Физиология человека. 1994. Т. 20. № 6. С.137–143.
9. *Солонин Ю.Г.* Гемодинамика, выносливость и психомоторика у жителей разных широт в контрастные периоды года // Физиология человека. 1996. Т. 22. № 3. С.113–117.
10. *Peter I., Otremski I., Livshits G.* Geographic variation in vascular mortality in Eurasia: spatial autocorrelation analysis of mortality variables and risk factors // Ann. Hum. Biol. 1996. Vol. 23. No 6. P. 471–490.
11. *Баевский Р.М., Берсенева А.П., Берсенев Е.Ю. и др.* Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей: Методическое руководство к программе медико-экологических исследований в эксперименте «Марс-500». М.: Фирма «Слово», 2009. 100 с.
12. *Жарков И.Б., Филиппова О.И., Федотов Д.Д., Киселев Д.Б.* Психофизиологическая характеристика работающих с химическими веществами // Медицина труда и промышленная экология. 1997. № 11. С.44–46.
13. *Сезонная динамика* физиологических функций у человека на Севере / Под ред. Е.Р.Бойко. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 223 с.
14. *Shephard R.J., Aoyagi Y.* Seasonal variations in physical activity and implications for human health // Eur. J. Appl. Physiol. 2009. Vol. 107. No 3. P. 251–271.
15. *Черникова А.Г.* Оценка функционального состояния человека в условиях космического полета на основе анализа вариабельности сердечного ритма: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 24 с.

Статья поступила в редакцию 13.04.2012.

УДК 616.831–053.31

ПОИСК БИОМАРКЕРОВ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ГИПОКСИИ У НОВОРОЖДЕННЫХ

Ю.В. ВЕТЧИНКИНА*, А.П. СКОРОМЕЦ**

**ГУЗ РК «Поликлиника», г. Сыктывкар*
***ГОУ ВПО Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, г.Санкт-Петербург*
vetcamp@inbox.ru

Освещено современное состояние проблемы диагностики церебральных гипоксий у новорожденных. На сегодняшний день неонатологу предоставлен широкий выбор методов исследований головного мозга, но не все они дают возможность на 100% диагностировать повреждение мозга. В поисках новых биомаркеров церебральной ишемии авторами выявлен чувствительный тест по определению уровня аутоантител к белку S100 и NMDA-рецепторами у родившихся в асфиксии новорожденных.

Ключевые слова: **церебральная гипоксия, диагностика, биомаркеры ишемии мозга**

YU.V.VETCHINKINA, A.P.SKOROMETS. **CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF DIAGNOSTICS OF CEREBRAL HYPOXIA IN NEWBORNS**

The current state of the problem of diagnostics of cerebral hypoxia in newborns is given. Today a neonathologist has a wide choice of methods of brain research, but not all of them give the chance to diagnose brain damage by 100%. In search of new biomarkers of cerebral ischemia the authors revealed the sensitive test for detecting the level of autoantibodies to protein S100 and NMDA-receptors in newborns born in asphyxia.

Key words: **cerebral hypoxia, diagnostics, biomarkers of brain ischemia**

Современные подходы диагностики церебральной гипоксии

Гипоксически-ишемическое поражение головного мозга в перинатальном периоде представляет собой важную медико-социальную проблему, которая оказывает существенное влияние на многие индивидуальные особенности физической и интеллектуальной сфер развивающегося организма. Поражение центральной нервной системы (ЦНС) в детском возрасте является одной из причин, обусловливающих высокую инвалидизацию детей и значительную смертность. По данным ВОЗ [1], до 65-80% патологии ЦНС связано с перинатальным поражением нервной системы. Эти заболевания в 35-40% случаев приводят к инвалидизации и дезадаптации детей в старшем возрасте. Если не предпринимать эффективных мер профилактики и не внедрять новые методы диагностики и лечения, то большинство детей с заболеваниями нервной системы не смогут жить полноценной жизнью [2].

Еще несколько лет назад считалось, что ведущими причинами поражения мозга у детей являются острая гипоксия и родовая травма. В последние годы широко распространилось представление о том, что доминирующее значение в патологии плода и новорожденного имеет не столько острое воздействие на головной мозг в процессе родов, сколько предшествующее внутриутробное изменение структур мозга созревающего плода под влиянием многочисленных неблагоприятных факторов. Асфиксия продолжительностью более 10 мин. чаще возникает на неполноценной метаболической и морфофункциональной основе мозга, который пострадал на ранних этапах онтогенеза [3]. Гипоксическое поражение головного мозга у новорожденных является полиэтиологическим заболеванием и требует тщательного подхода к диагностике и профилактике у детей неврологических заболеваний.

На сегодняшний день диагностика перинатальных гипоксий базируется на целом арсенале подходов и методов: изучении акушерского и гинекологического анамнеза у матери, наблюдениях за течением беременности и родов, неврологическом обследовании новорожденного, оценке метаболических показателей и оценке по шкале Апгар различных дополнительных методов (нейросонография, доплерография) и видов томографии (компьютерная, магнитно–резонансная, позитронно–эмиссионная). Из нейрофизиологических методов ис-

пользуются: электроэнцефалография, полиграфия, вызванные потенциалы, различные виды электромиографии, а также диагностические пункции (люмбальная, субокципитальная) [1] .

Важную роль играет состояние здоровья матери, на фоне которого произошла беременность. Многие соматические и неврологические заболевания, вредные привычки, количественное и качественное недоедание, тяжелый токсикоз беременных, перенашиваемость ведут к формированию внутриутробной гипоксии. Также большое значение имеет степень выраженности этих заболеваний, их длительность и сочетание с теми или иными сопутствующими состояниями или заболеваниями [4].

Шкала Апгар. В 1950 г. американская акушерка Виржиния Апгар предложила шкалу для клинической оценки состояния новорожденного через 1 и 5 мин. после рождения. Шкала позволяет оценивать состояние новорожденного в числовом значении от 0 до 10 баллов. Здоровые новорожденные имеют оценку по шкале Апгар 7 – 10 баллов. На сегодняшний день общепринято, что оценка по шкале Апгар не может быть единственным критерием асфиксии. При этом низкая оценка по шкале Апгар через 1 мин. после рождения не всегда синоним асфиксии, так как ее могут иметь дети, родившиеся в состоянии кардиореспираторной депрессии. Кардиореспираторная депрессия при рождении – синдром, характеризующийся наличием при рождении и в первые минуты жизни угнетением основных жизненных функций, включая брадикардию, неэффективное дыхание (гиповентиляция), пониженный мышечный тонус, угнетение ЦНС, но при отсутствии в крови гиперкапнии, нередко и гипоксемии. При оценке по Апгар через 1 мин. такие дети имеют 4–6 баллов, но через 5 мин. – 7 баллов и выше.

В Международной классификации болезней десятого пересмотра оценка по шкале Апгар как диагностический критерий асфиксии отсутствует, а критериями тяжелой асфиксии при рождении являются: глубокий метаболический или смешанный ацидоз (pH менее 7,0) в крови пуповинной артерии; персистирование оценки по шкале Апгар 0 – 3 балла более 5 минут; доказанные полиорганные поражения сердечно-сосудистой системы, легких, почек, ЖКТ, крови, т.е. полиорганная недостаточность. Следовательно, динамическая оценка по шкале Апгар является больше ценным показателем для объективизации состояния ребенка при рождении и верификации эффективности медицинских мероприятий сразу после рождения. Шкала не является прогностически достоверной в определении последствий гипоксических поражений мозга у новорожденного [1].

Ультразвуковые методы диагностики. Сегодня эти методы используются в основном как скрининговый метод. С его помощью выделяются дети, которым необходимо более детальное обследование с использованием магнитно-резонансной томографии, компьютерной томографии, протонно-спектроскопического исследования. Рядом преимуществ обладает нейросонография (НСГ). Этот метод высоко информативен, доступен, относительно невысока цена оборудования. Вместе с тем, полученная этим методом информация о конвекситальных отделах головного мозга и структурах задней черепной ямки все же недостаточно объективна. Это снижает диагностическую ценность НСГ. Кроме того, НСГ не позволяет диагностировать очень мелкие фокальные некрозы, явления диффузного глиоза и потери миелина [5].

Доплерография. В диагностике гипоксии мозга этот метод также имеет невысокую диагностическую и прогностическую значимость. Он отражает мозговой кровоток в определенный промежуток времени, учитывая фазовые колебания кровотока после родов и эпизода гипоксии. Показатели доплерографии не отражают реальную динамику мозгового кровообращения и могут быть просто случайными. Диагностическая значимость доплерографии повышается при наличии у ребенка окклюзионных процессов и мальформации сосудов, так как вследствие ригидности снижение кровотока более стабильно [1].

Наиболее точными методами диагностики ишемии являются: *магнитно-резонансная, аксиальная, позитронно-эмиссионная компьютерная томография, околоинфракрасная спектроскопия, магнитно-резонансная спектроскопия*. Прогностическая ценность перечисленных методов составляет около 90%. Но чтобы использовать эти методы, необходима полная обездвиженность пациента. При проведении исследования у новорожденных зачастую проводится медикаментозная седация [1]. Это требует дополнительной подготовки ребенка, присутствия анестезиолога-реаниматолога, возрастает риск аллергических реакций, остановки дыхания. На сегодняшний день экономические возможности государства не позволяют провести 100%-ный охват новорожденных этими методами диагностики в связи с высокой стоимостью оборудования и невозможностью оснастить ими все родильные дома.

Нейрофизиологические методы обследования. По данным некоторых авторов, в диагностике гипоксии–ишемии прогностическая значимость электроэнцефалографии составляет 93% [6]. При прогнозировании перинатальной асфиксии высока ценность методов исследования вызванных потенциалов: зрительных [7] и соматосенсорных составляет около 100%.

Биохимическая диагностика гипоксических поражений головного мозга. Она основывается на исследовании кислотно-основного состояния. Наряду со снижением уровня pH и нарастания дефицита оснований значительную, а возможно, и ведущую роль для функций головного мозга играет парциальное давление углекислого газа (pCO_2).

Поиск новых биохимических маркеров

Для лабораторной диагностики ишемии головного мозга особое внимание уделяется поиску новых биохимических маркеров. Проведены клинические испытания ряда молекулярных и иммунохимических лабораторных тестов. Прошли испытания тесты на определение белка S-100 (S-100B), нейронспецифической энолазы, глиального фибрил-

лярного кислого белка (GFAP), натрийуретического пептида мозга (BNP), D-димера, матриксной металлопротеиназы (MMP-9), моноцитарного хемотаксического белка. Среди всего спектра исследованных диагностикумов только тест PLAC (diaDexis, Inc., South San Francisco, CA, USA), основанный на определении липопротеин-ассоциированной фосфолипазы А2 (Lp-PLA2), получил разрешение FDA (US Food and Drug Administration) для определения риска развития ишемической болезни сердца у взрослых и инсульта в долгосрочном периоде (при повышенных концентрациях PLAC риск инсульта в течение нескольких лет увеличивается в два раза) [8].

Нейротрофическими свойствами обладают структурные белки. S100 является специфическим белком астроцитарной глии, способным связывать кальций. Впервые определение белка S100 как маркера церебральной ишемии пришлось на 80-е гг. XX столетия. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов, связанные с определением количества белка S100 и антител к нему при церебральной ишемии, доказывают возможность использовать его как маркер и прогностический критерий повреждения ткани мозга [9]. Выявляется достоверная корреляционная связь между тяжестью поражения мозга и высоким титром белка S100 в сыворотке крови у новорожденных с перинатальным гипоксическим поражением ЦНС [9], у пациентов с черепно-мозговой травмой [10], ишемическим инсультом [11] и эпилепсией [12]. Существенным ограничением использования белка S100β и аутоантител к нему является его неспецифичность для ишемии. Такие же закономерности в изменениях этого биомаркера наблюдались при эпилепсии, рассеянном склерозе, травмах и опухолях нервной системы [13].

В последние годы большое внимание уделяется определению аутоантител к глутаматным рецепторам как маркерам церебральной ишемии. N-метил-D-аспартат (NMDA-рецепторы) — основные возбуждающие нейрорецепторы, которые регулируют электрическую активность нейронов. Данные рецепторы выявляются на поверхности эпителия микрососудов, формирующих гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), и участвуют в регуляции функции микрососудов. Деградация NMDA-рецепторов, наблюдаемая в результате процессов нейротоксичности, которые лежат в основе ишемического повреждения мозга, позволяет судить о степени поражения церебральных сосудов. Уже на начальных этапах развития ишемии эмболические процессы в мелких мозговых сосудах активируют сериновые протеазы, которые «режут» мембранные «петли» NMDA-рецепторов, расположенные на поверхности синаптической мембраны. Образовавшиеся пептидные фрагменты рецептора (NR2-пептид) попадают в кровоток через поврежденный гематоэнцефалический барьер и вызывают реакцию иммунной системы с образованием специфических NR2-антител [14]. На основе проведенных молекулярных исследований было предложено использовать NR2-пептид и NR2-антитела в качестве маркеров инсульта и ТИА у взрослых пациентов. Диагностическое значение NR2-антител при ишемическом инсульте с объемом ишемии 5–70 см^3 приближается к 95,9 %, а при транзиторной ишемической атаке — к 98 % [8]. В детской практике данный метод исследования пока не использовался. Но ведется работа по выявлению зависимости тяжести состояния новорожденного ребенка и уровня антител к NMDA-рецепторам. Учитывая высокую прогностическую значимость данного метода диагностики у взрослых, можно предположить о перспективности этого теста и у родившихся в асфиксии новорожденных.

Материалы и методы

В настоящее время на базе неонатального центра Детской городской больницы №1 в Санкт - Петербурге и родильного дома при Кардиологическом диспансере в Сыктывкаре нами закончено исследование по изучению биологических маркеров поражения мозга у детей, родившихся в асфиксии [15]. Целью исследования являлось уточнение клинических критериев тяжести острой фазы постгипоксической энцефалопатии, в том числе с определением уровня антител к нейроспецифическим антигенам: антител к NMDA-рецепторам и белку S100 у доношенных новорожденных, родившихся в асфиксии.

Определение биомаркеров. Для определения биологических маркеров ишемии мозга у всех новорожденных детей из контрольной и основной групп проводили однократный забор венозной крови в количестве 1 мл из пупочного катетера или локтевой вены. Без дополнительных инвазивных вмешательств кровь для исследования бралась одновременно со взятием крови для ежедневных биохимических анализов. Сыворотку подвергали заморозке в условиях бытовой холодильной камеры. Лабораторные исследования определения антител к NMDA-рецепторам и белку S100 проводились в Санкт-Петербургском государственном медицинском университете им. акад. И.П. Павлова (лаборатория при академической группе акад. РАМН А.А. Скоромца) с использованием диагностических наборов проф. С.А. Дамбиновой. Они включили тесты для определения NR2-антител в крови пациента (Gold Dot NR2 Antibody test, CIS Biotech, Inc., Атланта, США) и лицензированные тест-системы для определения антител к белку S100 компании «Герофарм».

Характеристика новорожденных контрольной группы. Контрольную группу составили 25 здоровых доношенных новорожденных. Гестационный возраст составил 38–40 недель. По шкале Апгар при рождении дети имели 8 – 9 баллов, вес более 3 кг. Нахождение в стационаре было обусловлено наличием не связанной с поражением головного мозга патологии или наличием гипоксических состояний (пупочные грыжи, кисты яичников, затянувшаяся физиологическая желтуха). Акушерско-гинекологический и соматический анамнез матерей не отягощен патологией. Количество самостоятельных родов, прошедших без осложнений, составило 80%. Плановые операции кесарева се-

чения составили 20%. По половому составу контрольная группа была представлена 13 девочками и 12 мальчиками. Состояние с рождения и в раннем неонатальном периоде соответствовало возрастным нормам. Детям проводился также полный набор диагностических манипуляций, используемый для новорожденных основной группы.

Характеристика новорожденных основной группы. В основную группу были включены 47 новорожденных в возрасте от 0 до 1 месяца, родившиеся в состоянии асфиксии. По половому составу группу представляли 27 девочек (57%) и 20 мальчиков (43%). Новорожденные находились в условиях стационара с диагнозом «Церебральная гипоксия» различной степени тяжести. Гестационный возраст детей варьировал от 37 до 40 недель. Критериями исключения из исследования были: грубые пороки развития, недоношенность, билирубиновые энцефалопатии, наследственные заболевания, метаболические и токсические поражения головного мозга.

Новорожденным проводился соматический и неврологический осмотр. По историям болезни фиксировались паспортные данные и в формализованном виде – ключевые моменты анамнеза, истории беременности и родов (всего 57 показателей по каждому пациенту). В дальнейшем производился забор венозной крови в количестве 1 мл, центрифугирование, замораживание сыворотки и лабораторная обработка всего массива. Для каждого ребенка определялись показатели титра аутоантител к NMDA- рецепторам. Далее детально изучались взаимосвязи между показателями.

Результаты исследований

Показатели в основной группе. По степени тяжести асфиксии данные распределились следующим образом: тяжелая степень – у 45% обследуемых; средняя степень – у 21%; 34% новорожденных имели легкую степень асфиксии. Дыхательная недостаточность (ДН) отмечалась у 33 новорождённых (69%). ДН первой степени выявлена в пяти наблюдениях (10 %); ДН второй – также у пяти пациентов (10%); ДН третьей степени была у 23 новорождённых (49%). В 23-х наблюдениях выявлена аспирация околоплодных вод (49%), у шести пациентов определено наличие отёка лёгких (13%).

Неврологические изменения в раннем неонатальном периоде представлены следующим образом: спонтанный генерализованный тремор отмечен у четверых младенцев (9%), захождение швов черепа у одного пациента (2%), расхождение швов – у четырёх младенцев (9%), что составило 9 % наблюдений. Повышение мышечного тонуса определено у двух пациентов (4%), мышечная гипотония – у 44 пациентов (94%), в том числе тяжелая гипотония, или поза лягушки (43%). Угнетение рефлексов новорождённых отмечено в 38 наблюдениях (81%), снижение сухожильных и периостальных рефлексов – у 41 пациента (87 %) от общего числа младенцев, судороги наблюдались у трёх новорождённых (6%), трое новорожденных были в состоянии комы (6%). Менингеальные симптомы не выявлялись (рис.1).

Рис.1. Распределение неврологических проявлений в раннем неонатальном периоде.

В позднем неонатальном периоде (с 8 по 28 день жизни) динамика неврологических нарушений была представлена следующим образом: из трех детей, находившихся в состоянии комы, у двоих отмечалась положительная динамика в виде восстановления сознания; один ребенок продолжал находиться в состоянии комы (2%), судороги и спонтанный генерализованный тремор не определялись; мышечная гипотония представлена у 31 (67%) новорожденного, в том числе тяжелая, или поза лягушки (10%); снижение сухожильных и периостальных рефлексов в динамике представлено у 27 (59%) детей; угнетение рефлексов новорожденных определено у 25 детей (55%) (рис.2).

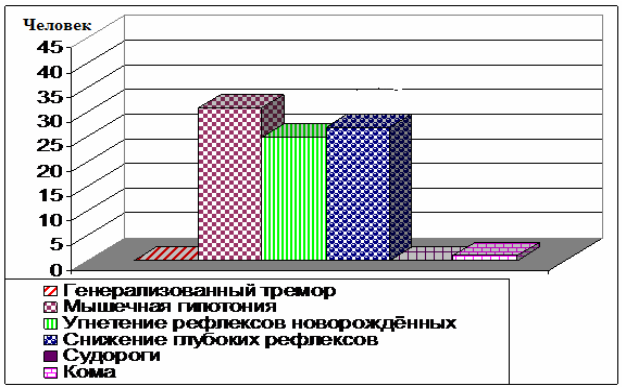


Рис.2. Распределение неврологических проявлений в позднем неонатальном периоде.

При рождении pH крови новорождённых был в пределах от 6,76 до 7,40, составив в среднем 7,111±0,14. В позднем неонатальном периоде значения pH колебались от 7,3 до 7,5, в среднем – 7,37±0,59.

Как уже отмечалось, одна из задач нашего исследования – определение уровня антител к NMDA-рецепторам в сыворотке крови. Полученные результаты NMDA-теста были в пределах от 0,040 до 0,391, составив в среднем по группе наблюдения 0,083±0,079. Совокупность результатов по диапазону NMDA- теста была разбита на четыре группы: от 0 до 0,05 (у 21 новорожденного – 45%); от 0,05 до 0,1 (у 13 новорожденных – 28%); от 0,1 до 0,2 (у 10 новорожденных – 21%); от 0,2 и выше (у трех новорожденных – 6%). Наибольшее количест-

во новорождённых отнесено к группе с концентрацией антител к NMDA-рецепторам в диапазоне от 0 до 0,05.

У младенцев, родившихся в асфиксии, нами определен также уровень белка S100. Количество белка в сыворотке крови S100 колебалось в пределах от 0,003 до 0,435, составив в среднем по группе наблюдения 0,119±0,089. Совокупность результатов теста по белку S100 была разбита на четыре группы: от 0 до 0,05 (девять новорожденных – 19%); от 0,05 до 0,1 (17 новорожденных – 36%); от 0,1 до 0,2 (14 новорожденных – 30%); от 0,2 и выше (семь новорожденных – 15%). Наибольшее количество обследованных детей с концентрацией белка S100 в диапазоне от 0,05 до 0,1 [15].

Показатели в контрольной группе. Новорожденным контрольной группы также производился забор крови для определения уровня антител к NMDA-рецепторам. Условия забора, хранения и лабораторной диагностики были идентичными с основной группой. Согласно полученным результатам, уровень антител NMDA к рецепторам оказался в диапазоне от 0 – 0,02 OD. Для дальнейшей интерпретации результатов были сопоставлены нормальные значения контрольной группы с показателями, полученными в основной группе новорожденных. На рис.3 показано, что практически все полученные значения уровня антител к белку S 100 выше нормы. Это ярко свидетельствует о том, что белок S 100 является маркером повреждения мозга. В то время как значения титра антител к NMDA рецепторам ближе к пределам нормальных значений, что указывает на отсроченное образование антител к NMDA рецепторам при ишемии (рис.4).

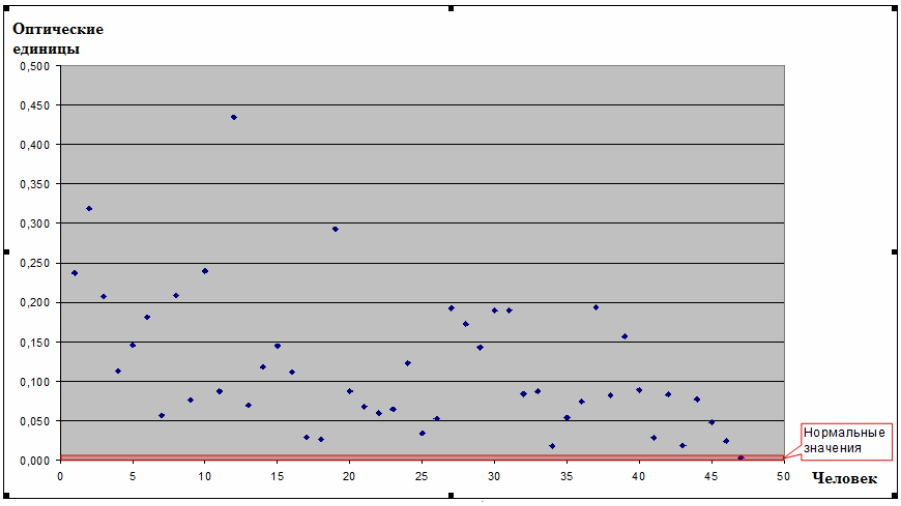


Рис.3. Распределение показателей уровня антител к белку S100.

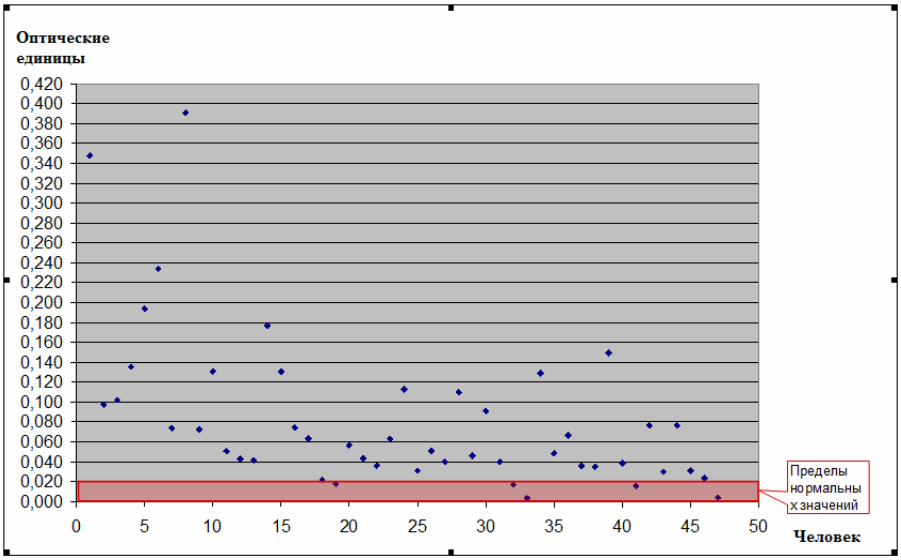


Рис. 4. Распределение показателей уровня антител к NMDA рецепторам.

Обсуждение результатов

Статистическая обработка значений NMDA–теста показала 10 взаимных корреляций результатов между уровнем антител к NMDA рецепторам в сыворотке крови, а также между клиническими и инструментальными данными матерей и новорождённых в разных диапазонах показателей NMDA теста. Все корреляции выявлены в диапазонах значений больше нормы (0,05-0,2 и выше) при $p<0,05$ и

0,25 ≤ R ≤ 0,75 (умеренная сила корреляции). Регрессионный анализ выявил у новорождённых пять предикторов церебральной ишемии: патологическая поза (лягушки), обвитие пуповиной, дыхательная недостаточность первой степени, уровень билирубина сыворотки крови, наличие отёка лёгких.

Статистическая обработка для белка S100 показала 16 достоверных корреляций результатов между уровнем антител к белку S100 в сыворотке крови, а также между клиническими и инструментальными данными матерей и новорождённых в разных диапазонах показателей этого теста. Корреляционные связи выявились во всем числовом диапазоне при p<0,05 и 0,25 ≤ R ≤ 0,75 (умеренная сила корреляции). Регрессионный анализ выявил восемь предикторов церебральной ишемии: наличие мекония в околоплодных водах, цианоз при рождении, обвитие пуповины, недостаточность кровообращения первой степени, низкая оценка на первой минуте по шкале Апгар, низкая оценка на пятой минуте по шкале Апгар, кома, значение pH в позднем неонатальном периоде.

Все показатели, которые явились предикторами развития церебральной ишемии, являются тяжелыми проявлениями острой фазы постгипоксической энцефалопатии. Большее количество предикторов выявлено с наибольшими числовыми значениями антител к белку S 100. Это доказывает, что белок S 100 как структурный белок нейрональных мембран уже в первые часы воздействия гипоксии начинает разрушаться и проникать сквозь гематоэнцефалический барьер в кровоток с последующей активацией иммунной системы и формированием антител к нему. Являясь очень чувствительным к изменениям кальциевого гомеостаза, он одним из первых реагирует на повреждение мозга, высвобождаясь из своих молекулярных связей. Увеличение его концентрации в ликворе по срокам примерно соответствует развертыванию стадий глутаматно-кальциевого каскада. Это говорит о том, что белок S 100 также может служить маркером повреждения головного мозга в острую фазу.

На основании полученных данных для NMDA теста можно сделать вывод о том, что практически во всех числовых диапазонах налицо корреляция с теми показателями, которые характеризуют дыхательные нарушения и приводящие к ним состояния (отек легких, обвитие пуповины, дыхательная недостаточность первой степени, асфиксия тяжелой степени). А поскольку дыхательная недостаточность является одной из основных причин церебральной ишемии, можно считать закономерным ее выявление в качестве достоверного предиктора. Определение уровня антител к NMDA-рецепторам и белку S 100 в острый период постгипоксической энцефалопатии также может служить критерием оценки тяжести состояния новорожденного и прогноза тяжести постгипоксической энцефалопатии.

Заключение

Для новорожденных с поражением головного мозга гипоксического характера необходима всесторонняя оценка тяжести этого состояния, в том числе и с помощью современных нейрохимических методик. Использованный авторами метод определения антител к NMDA- рецепторам и белку S100 в совокупности с клиническими и лабораторно-диагностическими методами может значительно улучшить качество диагностики. При этом существенно, что для определения антител необходимо небольшое количество крови (1мл). Особенно это важно для новорожденных, находящихся в тяжелом состоянии. Процедура не требует дополнительного инвазивного вмешательства, так как используется минимальное количество сыворотки крови, оставшейся после проведения плановых биохимических анализов. Дальнейшее развитие этих исследований будет способствовать выработке более эффективной стратегии ведения таких пациентов.

Литература

1. *Пальчик А.Б. Шабалов Н.П.* Гипоксически - ишемическая энцефалопатия новорожденных. М.: МЕДпресс – информ, 2006. 256 с.
2. *Петрухин А.С.* Проблемы и перспективы детской неврологии //Сборник мат. XIV сессии общего собрания РАМН «Научные основы охраны здоровья детей». М.,2004. С.159 – 163.
3. *Соколов А.Л., Кузнецова Л.В., Варламова Т.В.* Перинатальные повреждения нервной системы у детей: вопросы этиологии, диагностики и лечения. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 104 с.
4. *Федорова М.В., Калашникова Е.П.* Плацента и ее роль при беременности. М.: Медицина, 1986. 256 с.
5. *Володин Н.Н., Медведев М.И., Рогаткин С.О.* Перинатальная энцефалопатия и ее последствия – дискуссионные вопросы семиотики, ранней диагностики и терапии // Рос. пед. журнал. 2001. № 1. С. 4–8.
6. *De Weerd A.W., Poortvliet D.C.J., Boon A.J.* // EEG Clin Neurophisiol. 1995. Vol. 95. No. 3. P. 83.
7. *Muttitt S.C., Taylor M.J., Kobayashi J.S. et al.* // Pediatr. Neurol. 1991. Vol. 7. No.4. P. 310-311.
8. *Скоромец А.А., Дамбинова С.А., Дьяконов М.М. и др.* Биохимические маркеры в диагностике ишемии головного мозга //Международный неврологический журнал. 2009. №5(27). С.15–20.
9. *Голосная Г.С., Петрухин А.С., Маркевич К.А. и др.* Изменение уровня белка S100 у новорожденных с перинатальным гипоксическим поражением ЦНС // Педиатрия. 2004. №1. С. 1–6.

10. *Garnet M.R., Biamire A.M., Corkill R.G. et al.* // Brain. 2002. Vol.123. P.2046 – 2054.
11. *Ефремова Н.М., Скворцова В.И., Грудень М.А. и др.* Изучение содержания белка S100β и первичных и вторичных антител к нему у больных с острой церебральной ишемией в зависимости от патогенетических вариантов инсульта// Современные под-ходы к диагностике и лечению нервных и психических заболеваний. СПб., 2000. 294 с.
12. *Solimena M., Folli F, Denis-Doninis D. J* // Med. 1988. Vol. 318. №16 . P.1012–1020.
13. *Дамбинова С.А., Одинак М.М, Скулябин Д.И. и др.* Лабораторные методы при эпилепсии и расстройствах мозгового кровообращения // Журн. невр. и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2001. Т.101, №1.С.58–64.
14. *Dambinova S.A., Khounteev G.A., Izykenova G.A., Zavolokov I.G., Ilyukhina A.Y., Skoromets A.A.* Blood test detecting autoantibodies to N-methyl-D-aspartate neuroreceptors for evaluation of patients with transient ischemic attack and stroke // Clin. Chem. 2003. Vol. 49. P. 1752–1762.
15. *Скоромец А.П., Ветчинкина Ю.В., Ветчинкин А.В.* Динамика накопления аутоантител к NMDA-рецепторам и белку S100 у доношенных новорожденных, родившихся в условиях асфиксии // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2010. №2(10). С. 68–72.

Статья поступила в редакцию 09.10.2012.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 553.98 (282.247.18)

О НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВАРАНГЕР-ТИМАНСКОГО ПОЯСА БАЙКАЛИД

О.С. КОЧЕТКОВ, И.И. ЛЕБЕДЕВ

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
okochetkov@ugtu.net, kaspien@bk.ru

В последние годы нашими работами на Кольском полуострове в районе продолжения рифейских структур Тимана (полуострова Рыбачий, Средний, о-в Кильдин) установлена высокая газоносность рифейского фундамента, которая уходит и ниже в пределы границы с мантией. В то же время в фундаменте Тимана зафиксирована масса нефтегазопроявлений, в т.ч. газовые месторождения, которые говорят о его нефтегазовом потенциале. Нами доказано, что верхнедевонская доманиковая формация никогда не была нефтематеринской, хотя заключает горючие сапропелевые сланцы. Специальные исследования углеводородных газов (УВ-газов) тиманского фундамента позволили выявить закономерное превышение содержаний непредельных УВ по отношению к предельным на всём протяжении Варангер-Тиманского пояса.

Ключевые слова: **Варангер-Тиманский пояс байкалид, миграция, фундамент, мантия, непредельные и предельные УВ, абиогенный генезис УВ**

O.S. KOCHETKOV, I.I. LEBEDEV. **ON THE PROBLEM OF OIL-AND-GAS CONTENT IN VARANGER-TIMAN BAIKALITE BELT**

In recent years working on the Kola Peninsula in the region of continuation of Timan Riphean structures (Peninsula Rybachiy, Sredniy, island Kildin) we established a high gas presence of the Riphean basement which goes lower into the border limits with a mantle. At the same time in Timan basement we fixed a lot of oil and gas shows including gas fields, so we can speak about its oil and gas potential. We proved that the Upper Devonian Domanic formation has never been source-bed though it includes oil dysodile shales. Special researches of Timan basement UV-gases allowed to reveal the natural excess of nonlimiting UV content in relation to limiting UV along the entire Varanger-Timan belt.

Key words: **Varanger-Timan baikalite belt, migration, basement, mantle, nonlimiting UV and limiting UV, abiotic UV genesis**

За последние 20 лет произошли принципиальные изменения в концептуальном плане относительно происхождения нефтяных флюидов и их скоплений: абиогенная гипотеза происхождения нефти утвердилась как теория в отличие от биогенной, которая так и осталась гипотезой.

В результате разновозрастные фундаменты осадочных бассейнов, несмотря на присущий им региональный метаморфизм, «убивающий» первичные битумоиды, также стали рассматривать как потенциально нефтегазоносные. Причина кроется в полученных доказательствах наличия постметаморфогенных эпибитумов в породах фундаментов, имеющих ювенильный мантийный источник УВ-флюидов, и в открытии крупнейших месторождений УВ в фундаментах первоочередного докембрийского возраста («Белый тигр» во Вьетнаме и др.).

В частности, нами в монографическом издании [1] показана реальная и потенциальная нефтегазоносность байкальского фундамента эпибайкальской Печорской плиты (газовая Водненская залежь в метасланцах и нефтегазовые проявления в фундаменте Южного Тимана), т.е. в пределах Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП). Хотя ещё недавно фундамент рассматривался с позиций биогенной гипотезы как не подходящий для генерации УВ комплекс пород. Такая позиция отражала латераль-секреционную концепцию генерации УВ в осадочном чехле за счет рассеянного органического вещества (РОВ). Но нами изучен типичный нефтематеринский осадочный комплекс доманика в девоне Ухтинского района, и получены бесспорные доказательства его инертности в плане генерации УВ и свободной микронефти на любой стадии литогенеза. То же самое видим в продуктах жильной минерализации альпийского типа, когда гидротермальные кальцитовые жилы (250°С) включают «свежие» обломки битуминозных вмещающих пород (горючих сланцев, битуминозных мергелей) без признаков перемещения битуми-

нозного вещества и «осветления» обломков. Зато в том же доманике в зонах дизъюнктивных нарушений наблюдается свободная жидкая нефть, мигрирующая из нефтепродуктивных залежей нижележащего «тиманского» горизонта. В историческом плане эту нефть в «доманикитах» с р. Ухты приняли за первичную, а вмещающие породы, в том числе горючие сланцы – за нефтематеринские ещё тогда, когда при Петре I образцы «доманикитов» изучались в Дании.

Наконец, в последние пять лет нами проведены исследования Варангер-Тиманского пояса байкалид на севере Кольского п-ова – в районе баренцевоморского побережья, на полуостровах Средний и Рыбачий. В частности, была проведена газовая съемка масштаба 1:10 000 по выявлению содержаний в грунтах и почвах метана и пропана, а также полевые маршрутные исследования обнаженного байкальского фундамента [2]. Полученные результаты сводятся к следующему.

• Повсеместно наблюдается процесс дегазации фундамента по регматическим трещинам.

• В одних случаях дегазация активно проявляется по диагональным трещинам, в других – по ортогональным. Как правило, концентрации метана и пропана низкие (тысячные доли %).

• Удалось выявить точки аномальных концентраций, которые отвечают пересечениям регматических разломов, зафиксированных нами ранее и нанесенных на карту. Концентрации метана и пропана в них составили 10–50 об.% метана и 1–14 об.% пропана.

• Совершенно очевидно, что основная миграция восходящих флюидов УВ происходит и происходила ранее в виде поднимающихся струйных потоков по «трубам дегазации и конденсации» на стыках крупных тектонических блоков и имела сквозной коровый характер.

Последнее утверждение доказывается наличием метана и тяжёлых углеводородов в породах катархея в забое на глубине 11,8 км и выше по разрезу скважины СГ-3 «Кольская сверхглубокая» [3]. Она расположена в 30 км западнее района наших исследований. О том же свидетельствуют и данные по скважине Ярега-700, расположенной на Южном Тимане, где в фундаменте в интервале 1000–4000 м были вскрыты зоны разуплотнения со значительными концентрациями метана и его гомологов, а также эпибитумов.

• Вышесказанное позволяет утверждать с полным основанием, что глубинный восходящий характер миграции УВ сохраняется и в условиях перекрытия фундамента осадочным чехлом, обуславливая формирование УВ-залежей на самых разных стратиграфических уровнях, как в осадочном чехле, так и фундаменте.

• Установлены вещественные доказательства восходящих путей миграции нефтяных УВ в пределах регионального разлома Комагельв-Тролльфиорд в виде остаточных выделений антраксолита в открытых тектонических трещинах как продукта окисления поднимавшихся в недавнем прошлом горячих нефтяных флюидов (карбонилизация нефтей).

Таким образом, полученные результаты в целом наглядно определяют формирование УВ-месторождений как продуктов миграционных процессов УВ в единой флюидодинамической напорной системе мантия-фундамент-осадочный чехол. На примере Варангер-Тиманского пояса байкалид, применяя методологию абиогенной концепции, нами построена прогнозная карта размещения УВ-месторождений для южной части Печорско-Баренцевоморской нефтегазоносной акватории. Она позволяет с учетом регматической сетки разломов наметить точки бурения разведочных скважин в условиях мелководного и глубоководного шельфа.

Одновременно нами исследовались особенности поведения восходящих газово-жидких эманаций УВ, абсорбированных вмещающими породами [1, 4]. Апробировались образцы керна метасланцев и других пород фундамента, нередко содержащих нефть в трещинах, а также ряд образцов из перекрывающих базальных девонских пород Крохальской антиклинальной структуры (Южный Тиман), включающей несколько ниже по разрезу газонефтяную залежь. Битуминологический анализ образцов был выполнен в лаборатории Института геологии Коми НЦ УрО РАН Д.А.Бушенёвым.

Хроматограммы битумоидов из пелитолита (рис. 1, обр. №7) и других пород фундамента и осадочного чехла по элементному составу – хлороформ-бензольной (ХБА) вытяжки УВ из пород свидетельствуют о преимущественно пониженных содержаниях углерода (70,0-80,0%) и высоких водорода (11,0-12,0%). Это свойственно эпигенетическим остаточным битумоидам, мигрирующим в виде микронефти в толще пород, якобы оторванной от сингенетичного битумоида РОВ, т.е. это форма подвижного битумоида [5]. Вместе с тем, отношение ХБА/СПБ во всех образцах, кроме одного, выше 1,0, что свидетельствует о преобладании «нейтрального» подвижного битумоида над «кислым» инертным, ещё раз подчёркивая преобладание миграционного эпигенетического остаточного битумоида в породе. Составляющий исключение образец соответствует серому пелитолиту из осадочного чехла (рис. 1. обр. №7). В нём ХБА/СПБ значительно ниже единицы (сотые доли единицы), т.е. «кислый» битумоид значительно преобладает. Этот факт связывается нами с наличием в пелитолите рассеянного углистого растительного детрита, который содержал «кислый» битумоид сингенетичный стадии седиментогенеза и растворимый в СПБ.

Изучая хроматограммы, нами выделено ряд закономерностей.

• Для пород фундамента с больших глубин свойственна тенденция к выравниванию концентраций УВ (мало- и высокоуглеродистых). Кроме того, растёт степень окристаллизованности тяжёлых УВ (рис. 1, образец 24), и её максимум сдвигается от C_{21-22} к C_{25-28}.

• Для девонских базальтов (рис.1, обр. 9, 23), располагающихся на контакте фундамента и оса-

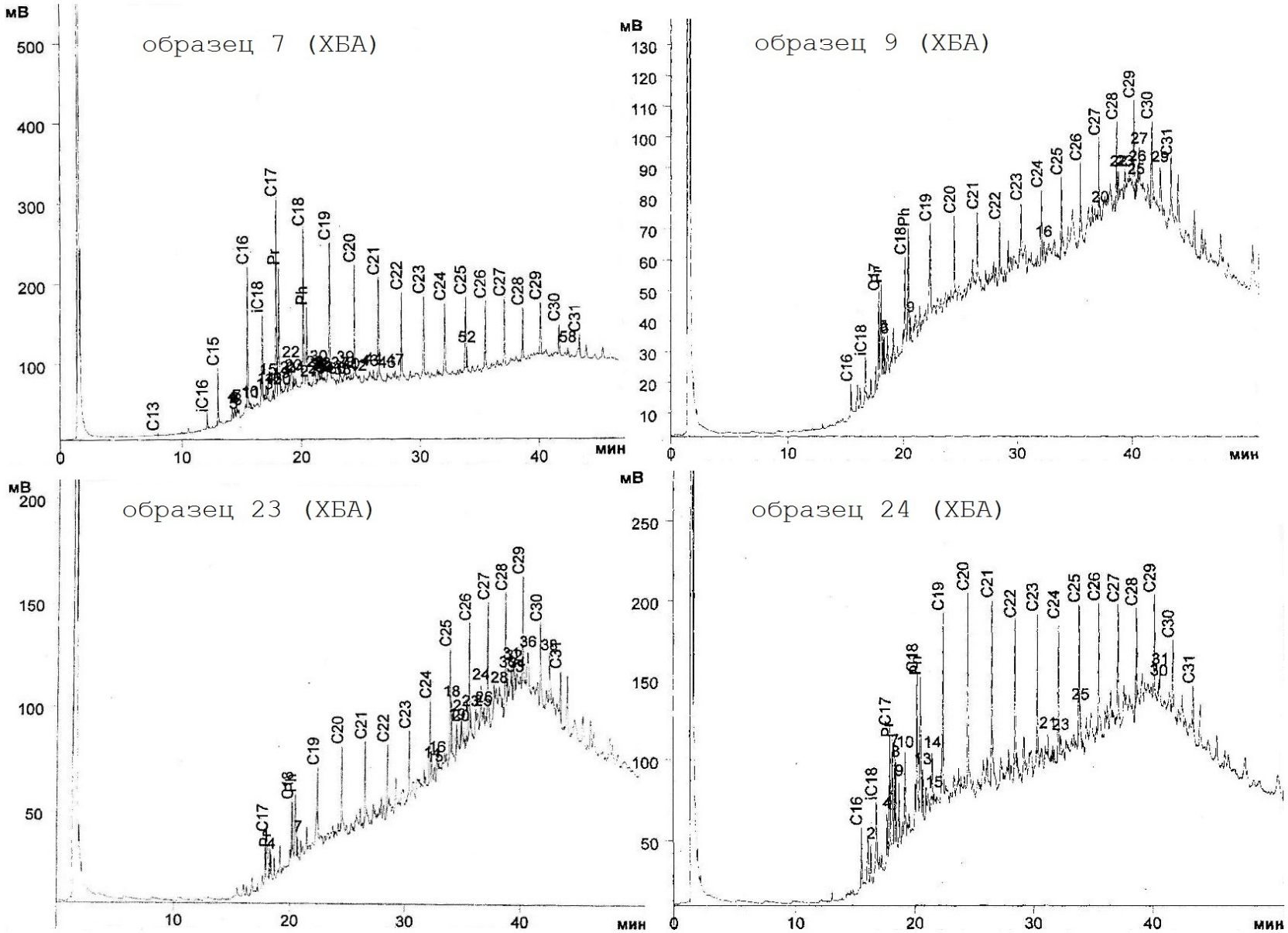


Рис. 1. Избранные «типичные» хроматограммы ХБА образцов: 7 (пелитолит), 9 и 23 (базальты), 24 (тёмно-серый метасланец) Крохальской структуры.

дочного чехла и выше по разрезу, характерны в целом равные значения содержаний тяжёлых УВ. С глубиной происходит лишь появление высокоуглеродистых ТУВ группы C_{29-31}, а максимум окристаллизованности УВ сдвигается от C_{18} к C_{25-26} (подобно фундаменту). При этом трещинный характер миграции нефти сохраняется.

• Для тяжёлых УВ образцов базального аргиллита и пелитолита девонского возраста характерны высокая степень окристаллизованности ТУВ, малые значения содержаний высокоуглеродистых УВ, в большем количестве присутствуют УВ группы C_{13-15}. Во всех образцах метан содержится в количестве более 10 %.

Подобные результаты позволяют представить процессы инверсии мигрирующих УВ, происходящие на границе фундамент – осадочный чехол. Принимая во внимание восходящий характер флюидов, авторы констатируют следующие особенности (с глубины к поверхности):

• При переходе от метаморфических к осадочным породам происходит увеличение степени окристаллизованности тяжёлых УВ. При их трещинной миграции по магматитам (базальтам) подобных изменений не происходит.

• Одновременно в процессе миграции высокоуглеродистые УВ инверсируются в малоуглеродистые, т.е. развивается процесс деструкции с отделением метил-метиленовых структурных групп. Подобный процесс происходит в условиях нагрева пород от 60°С до 320°С [6].

• Затем нейтрализация структурных групп приводит к образованию метана.

Обсуждение результатов

Как видим, всему процессу битуминизации и миграции УВ-флюидов должны были способствовать достаточно высокая температура, а в осадочном чехле, в определенной мере, каталитические способности глинистых минералов. Этот пример, несмотря на свою локальность, отражает очень важный процесс преобразования восходящих ювенильных УВ у контакта фундамента с осадочным чехлом, а именно, их деструкцию и метанизацию. Тем не менее, для вышезалегающего базальта хроматограмма тяжёлых УВ снова близка по своей характеристике таковым из нижнего базальта и сланцев фундамента, отражая тем самым возможность миграции ТУВ по трещинам без воздействия глинистого субстрата пелитолита на инверсию высокоуглеродистых УВ. Этот механизм объясняет состав ярегских тяжёлых нефтей с позиций модели сквозной трещинной миграции ювенильных УВ-флюидов.

Распространённость абсорбции олефинов различными породами фундамента (независимо от их состава на протяжении всего Варангер-Тиманского пояса байкалид с повышенной концентрацией относительно парафинов на общем фоне весьма низких концентраций абсорбированых УВ) подчёркивает закономерный характер этого процесса и его стабильность. Столь высокий уровень абсорбции олефинов отражает, во-первых, стабильность их присутствия в УВ-флюидах, мигрировавших в условиях фундамента к настоящему времени. Во-вторых, он характеризует повышенную степень концентрации абсорбированных олефинов сравнительно с парафинами и уступает только метану. В-третьих, в породах байкалид создан своеобразный «фронт» накопления абсорбированных олефинов, которые в условиях фазы тектоно-магматической активизации легко могут преобразовываться в парафины. В-четвёртых, по расчётам Э.Б.Чекалюка [7], а также реальным концентрациям олефинов в глубинных пиробитумах, они служат «посланниками» мантийных УВ как источников поступления самих олефинов и парагенных с ними парафинов в земную кору. Тем самым наблюдаемое поведение непредельных УВ в байкалидах Варангер-Тиманского пояса подтверждает «мантийные» абиогенные начала УВ-флюидов в земной коре и нефтегазоносном бассейне Тимано-Печорской провинции, в частности.

Олефиновый фронт байкалид Варангер-Тиманского пояса весьма контрастирует с биогенными УВ зоны гипергенеза в различных нефтегазоносных регионах. Имеется ввиду микробиотическое образование метана в иловых растворах, где они также и сорбируются иловыми коллоидами. Соответствующие данные в количестве 60 проб приводятся как собранные по всему миру из многих первоисточников в монографии «Метан» [8, с. 110–113]. Резюмируя, можно констатировать: содержания метана колеблются (в об.%) от 0,2 до 30 в глубинных (до 20 м) условиях иловых осадков. На глубинах более 30 м (донные осадки Чёрного моря) его содержание падает до 0,0043 и менее. Концентрации других УВ составляют 27×10^{-4} об%. Гомологи метана имеют сравнимые значения содержаний. Для сравнения – алкены, начиная с этила, имеют преимущественно нулевые или весьма малые концентрации: этил – до $1{,}2 \times 10^{-4}$ об%, пропил – до $0{,}16 \times 10^{-4}$ об%, бутил – до $0{,}2 \times 10^{-4}$ об%. Таким образом, алкены практически отсутствуют. Но при этом нужно помнить, что малые концентрации алканов и алкенов могли быть привнесенными, т.е. глубинными, до начала микробиотического воздействия на осадок. Сравнение показывает, что стабильная концентрация алкенов в породах байкалид – закономерное явление, обусловленное действием постоянного фактора в межрегиональном масштабе, независимо от вмещающих условий среды. Подобным фактором может быть лишь глубинный восходящий подъём УВ, охватывающий земную кору, т.е. «углеводородное дыхание» Земли. Пример с алкенами в байкалидах служит убедительным доказательством этому глобальному процессу.

В целом, байкальский фундамент рассматривается нами как базис одной из ступеней глубинной миграции УВ. При проведении научных изысканий с помощью метода термической газовой хроматографии в данной области были получены новые результаты [9]: ***в составе сорбированных мигрирующих газов постоянно присутствуют и***

преобладают непредельные УВ. В ходе комплекса методических исследований данный вывод был экспериментально подтверждён для всех пород комплекса байкалид, начиная с территории полуостровов Рыбачий и Средний, п-ова Канин и всего Тимана (данные по составу – см. рис. 2). Во-первых, стояли в своих трудах В.Б.Порфирьев и В.А.Успенский [11]. Молодой возраст месторождений УВ вполне приемлем, так как факты проявления нескольких тектонических активизаций уничтожают древние скопления углеводородов, превращая их в твёрдые битумы или окисленные газы.

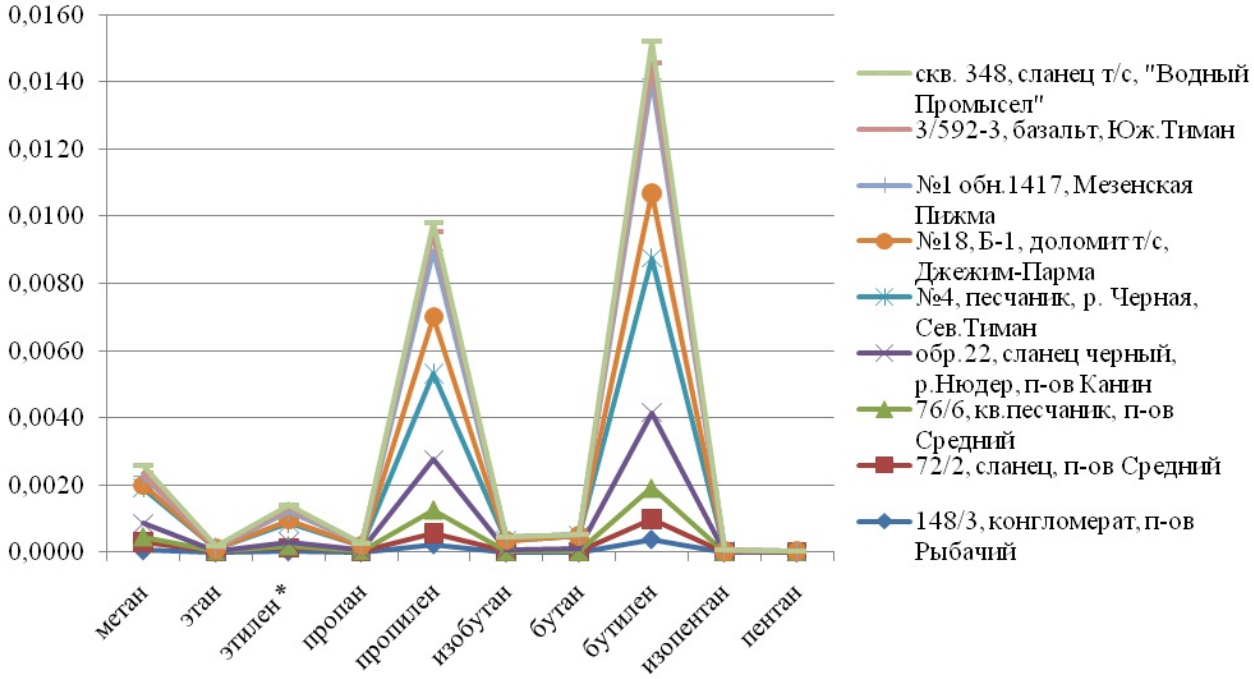


Рис. 2. Графики содержаний сорбированных углеводородных газов серии C_1-C_5 в байкалидах Варангер-Тимана (в об.%).

наличие подобных газов в осадочно-метаморфических породах, испытавших действие температур порядка 400-500°С, а также в магматитах однозначно свидетельствует об их эпигенетичности. Во-вторых, подобный состав сорбированных газов наблюдался и в плотных, и разуплотнённых породах, что косвенно подтверждает первый вывод, а также доказывает их высокотемпературный эндогенный источник.

Таким образом, УВ-флюид, содержащийся в байкалидах Варангер-Тимана, однозначно имеет связь с каким-либо более глубинным источником (скорее всего, ювенильного мантийного характера), как и другие нефтяные флюиды в ТПП. Последнее было показано расчётным путём на анализе УВ-изомеров [1, 10]. О том же свидетельствуют расчётные модели академика Э.Б.Чекалюка [7], подтверждающие широкое представительство непредельных УВ в верхней мантии Земли. Именно непредельные УВ входят в состав пиробитумов, сохранившихся в пегматитовых жилах Балтийского щита, имеющих возраст около 50 тыс. лет. Очевидно, этот возраст характеризует процессы нафтидогенеза, который в итоге привёл к формированию УВ-месторождений Тимано-Печорской провинции в фундаменте (Водненская газовая залежь) и осадочном чехле. В частности, на подобных позициях

Литература

1. *Кочетков О.С., Гайдеек В.И., Алисиевич Л.Н. и др.* Геология и нефтегазоносность фундамента и базальных горизонтов осадочного чехла Печорской плиты // Актуальные научно-технические проблемы развития геолого-геофизических промысловых и поисково-разведочных работ в Республике Коми: монография. Ухта, 2001. С. 87–260.
2. *Кочетков О.С., Адищев В.В.* О роли регмагенеза в миграции и накоплении углеводородов// Сборник научных трудов: материалы научно-технической конференции (15-18 апреля 2008 г.): в 2 ч.; ч. I / Под ред. Н.Д. Цхадая. Ухта: УГТУ, 2008. 421 с.
3. *Исследование глубинного* строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины / Гл. ред. Е.А.Козловский. М.: Недра, 1984. 490 с.
4. *Кочетков О.С., Лебедев И.И.* О преобразовании мигрирующих битумоидов в зоне контакта фундамент-осадочный чехол (на примере Крохальской структуры Южного Тимана) // Сборник научных трудов: материалы научно-технической конференции (13-15 апреля 2010 г.): в 3 ч.; ч. I / Под ред. Н.Д. Цхадая. Ухта: УГТУ, 2010. С. 149–151.

5. *Словарь по геологии* нефти и газа. Л.: Недра, 1988. 679 с.
6. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И.* Геохимические особенности и флюидодинамика нефтеобразующих систем // Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений. М.: ГЕОС, 2002. 370 с.
7. *Чекалюк Э.Б.* Нефть верхней мантии Земли. Киев: Наукова думка, 1967. 256 с.
8. *Алексеев Ф.А., Войтов Г.И., Лебедев В.С., Несмелова З.Н.* Метан. М.: Недра, 1978. 310 с.
9. *Лебедев И.И.* Геология углеводородных газов в породах фундамента Варангер-Тиманского пояса байкалид // IX Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2009»: Материалы конференции; в 3 ч.; ч. 2. Ухта: УГТУ, 2009. С. 294–297.
10. *Кочетков О.С., Алисиевич Л.Н., Гайдеек В.И., Юдин В.М.* О путях формирования месторождений нефти и газа (на примере Тимано-Печорской провинции) // Геология нефти и газа. 2000. №5. С. 44–49.
11. *Дегазация Земли* и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рождения академика П.Н.Кропоткина) / Отв. редакторы ак. А.Н.Дмитриевский, Б.М.Валяев. М.: ГЕОС, 2011. 504 с.

Статья поступила в редакцию 09.10.2012.

УДК 549.67:546.79

СОРБЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИМИ ПОРОДАМИ

Д.А. ШУШКОВ*, И.И. ШУКТОМОВА**

** Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
*** Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
dashushkov@geo.komisc.ru, shuktomova@ib.komisc.ru

Проведено исследование сорбции радиоактивных элементов (урана, радия, тория) в статических условиях из водных растворов различными сорбентами: клиноптилолит- и анальцимсодержащие породы, анальцим. Установлена высокая степень поглощения радия, урана и тория анальцимсодержащими породами. В то время как клиноптилолитсодержащие породы практически полностью сорбируют торий и радий, извлечение урана из раствора протекает хуже. Анальцим проявляет высокие сорбционные свойства только по отношению к торию.

Ключевые слова: **цеолиты, цеолитсодержащие породы, анальцим, клиноптилолит, радиоактивные элементы, сорбция**

D.A. SHUSHKOV, I.I. SHUKTOMOVA. **SORPTION OF RADIOACTIVE ELEMENTS BY ZEOLITE-BEARING ROCKS**

The study of removal of radioactive elements (uranium, radium and thorium) in static conditions from aqueous solutions by different absorbents: clinoptilolite- and analcime-bearing rocks, pure analcime was carried out. The high removal efficiency of radium, thorium and uranium by analcime-bearing rocks was determined. Clinoptilolite-bearing rocks removed thorium and radium almost completely, but uranium extraction from solution was less complete. Analcime was efficient only in case of thorium.

Key words: **zeolites, zeolite-bearing rocks, analcime, clinoptilolite, radioactive elements, sorption**

Введение

Природные цеолиты широко применяют в области охраны окружающей среды, например, при очистке промышленных сточных вод от тяжелых металлов, нефтепродуктов, фенола, аммония и радиоактивных элементов. Помимо высоких ионообменных и сорбционных свойств цеолиты характеризуются термической, химической, радиационной устойчивостью, механической прочностью и необратимостью сорбции. Указанные физико-химические свойства во многом зависят от вида цеолита и, соответственно, особенностей его структуры: размера входных окон каркаса, объема полостей, отношения Si/Al, состава и положения катионов. При необходимости очистки больших объемов радиоактивно загрязненных вод преимуществами природных цеолитов перед синтетическими сорбентами являются их дешевизна в сочетании с достаточно высокими сорбционными характеристиками, а также широкая распространенность.

Способность цеолитов и цеолитсодержащих пород эффективно поглощать и прочно удерживать радионуклиды показана во многих работах [1, 2, 3; обзоры 4, 5]. Поэтому представляется актуальным исследование сорбции радиоактивных элементов, а также прочности их поглощения цеолитовыми породами, залегающими на территории Республики Коми. Данные породы имеют большое площадное распространение и локализованы в отложениях широкого возрастного диапазона (девона, карбона, перми, юры), цеолитовая минерализация представлена анальцимом и клиноптилолитом. Хотя по содержанию цеолитов (от первых процентов до 20-30 %) породы относятся к бедным, их следует рассматривать как сорбционное сырье смешанного состава, поскольку цеолиты ассоциируют с глинистыми минералами, которые содержатся в количестве от 50 до 70 % и также обладают сорбционными свойствами.

Материалы и методы

В настоящей работе проведено исследование сорбции радиоактивных элементов (урана, тория, радия) клиноптилолит-, анальцимсодержащими породами и анальцимом. Анальцимсодержащие породы Веслянской группы проявлений (Коинская цеолитоносная площадь, Южный Тиман) представлены верхнепермскими алевролитами и аргилли-

тами, значительно реже – мергелями. Анализ минерального состава показал, что породы характеризуются высоким содержанием глинистой составляющей (50-70 %), которые пропитаны оксидами и гидроксидами железа. Присутствуют также кварц (10-30 %), анальцим (1-30 %), полевые шпаты (2-10 %), карбонаты (2-5 %), пирокластический материал. Глинистые минералы представлены неупорядоченной, в основном разбухающей, смешанослойной фазой (иллит-смектит, иллит-хлорит), в незначительном количестве – каолинит и хлорит. Детальное описание данных пород изложено в работе [6], краткая характеристика образцов дана в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика образцов цеолитсодержащих пород

Тип цеолит-содержащих пород	Номер образца	Описание (характеристика)
Клиноптилолит-содержащая	538-35	Глина темно-серая со светлыми вкраплениями
	541-19	Глина темно-серая углеродистая
	541-31	Глина темно-серая
	541-32	Горючий сланец серо-зеленый
Анальцим-содержащая	50201	Алевролит светло-коричневый, проявление «Веслянское-2»
	551	Аргиллит темно-коричневый с серыми пятнами, проявление «Весляна»
	56402	Аргиллит серый, проявление «Веслянское-1»
	58603	Аргиллит коричневый с серыми пятнами, проявление «Чернореченское»
	58901	Аргиллит коричневый, проявление «Весляна»

Для выявления роли анальцима в процессе сорбции радионуклидов выделили его мономинеральную фракцию. Сначала, согласно опубликованной в работе [6] схеме обогащения, получали анальцимовый концентрат. Далее его очищали от различных примесей (кварц, глинистые минералы и др.) разделением в тяжелой жидкости (бромоформ + спирт) и проводили чистку под бинокуляром. Чистота анальцима подтверждена рентгенофазовым, химическим и термическим анализами.

Клиноптилолитсодержащие породы выявлены в верхнеюрских отложениях при изучении Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев. Клиноптилолит встречен в различных типах глин и горючих сланцев. По данным рентгендифракционного анализа, минеральный состав представлен кварцем, хлоритом, иллитом, смешанослойной фазой (хлорит-смектит, иллит-смектит), клиноптилолитом, полевым шпатом. Содержание клиноптилолита варьирует от десятых долей процента до 25–30 %. Предварительные результаты исследования изложены в работе [7]. Клиноптилолит или клиноптилолитовый концентрат к настоящему времени не выделяли.

Для выполнения экспериментов сорбционный материал дробился до фракции менее 1.0 мм. Сорбцию проводили в статических условиях при комнатной температуре и соотношении твердой и жидкой фаз 1:10 (3 г сорбента и 30 мл раствора) из водных растворов нитрата уранила, хлорида радия и хлорида тория, в которых радионуклиды были представлены природной смесью изотопов [8]. Время контакта фаз составляло 24 ч, pH раствора – 6. Кислотность жидкой фазы доводили до необходимого уровня путем подщелачивания концентрированным (13 моль/л) раствором гидроксида аммония, pH жидкой фазы измеряли компактным pH-метром «Wissenschaftlich-Techische Werkstatne GmbH, Германия». После сорбции сорбенты отделяли от жидкой фазы фильтрованием. В фильтрате определяли содержание радионуклидов, по убыли которых рассчитывали степень поглощение урана, радия и тория.

Определение естественных радионуклидов в фильтратах проводили по общепринятым методикам. Содержание урана определяли люминесцентным методом (чувствительность $2.0 \cdot 10^{-8}$ г/г) по свечению перлов с NaF, интенсивность свечения измеряли на фотометре «ЛЮФ-57» [9]. Определение тория проводили фотоколориметрически с арсеназо III с отделением примесей на катионите КУ-2, чувствительность метода $1.0 \cdot 10^{-8}$ г/г [10]. Радий определяли эманационным методом на приборе «Альфа-1», чувствительность – $2.0 \cdot 10^{-12}$ г/г [11].

Прочность поглощения оценивали по содержанию радионуклидов в вытяжках, полученных последовательной обработкой обогащенного радионуклидами сорбента дистиллированной водой, 1М растворами ацетата аммония (CH_3COONH_4) и соляной кислоты (HCl).

Результаты исследований

Содержание радиоактивных элементов. В цеолитовых породах они варьируют в значительных пределах (табл. 2), иногда превышая кларковое содержание в почвах. В анальциме удельная активность урана и тория значительно ниже среднего содержания в почвах (в 12.5 и 15.7 раза соответственно), радия – 1.5 раза. Анальцимсодержащие породы отличаются от клиноптилолитсодержащих более низкой концентрацией радионуклидов. В анальцимсодержащих породах радиоактивные элементы ниже среднего содержания их в почве, в клиноптилолитсодержащих радий (за исключением одного образца) превышает кларк в 1.2–3.1 раза, уран – в 1.4–7 раз, меньше кларка только содержание тория.

Сорбция естественных радионуклидов. Результаты исследования сорбции радионуклидов анальцимом и цеолитсодержащими породами представлены в табл. 3. Полученные данные показывают, что анальцим- и клиноптилолитсодержащие породы (кроме образца 541-32) полностью поглощают торий из раствора – степень извлечения

Таблица 2

Содержание радиоактивных элементов в сорбентах

Тип цеолитсодержащих пород	Образец	Уран, г/г ($\cdot 10^{-6}$)	Торий, г/г ($\cdot 10^{-6}$)	Радий, г/г ($\cdot 10^{-12}$)
Клиноптилолитсодержащая	538–35	5.28	11.96	2.49
	541-19	4.24	8.47	6.17
	541-31	3.48	11.0	1.98
	541-32	17.60	5.66	2.91
Анальцимсодержащая	50201	1.00	5.26	0.48
	551	1.16	9.03	н/о
	56402	1.64	9.33	1.45
	58603	1.36	8.91	0.57
	58901	1.28	7.54	1.44
Анальцим		0.20	0.83	1.32
Среднее содержание в почвах (кларк) [12]		2.50	13.0	2.00

Примечание. н/о – не обнаружено

Таблица 3

Сорбция естественных радионуклидов анальцимом и цеолитсодержащими породами

Тип цеолитсодержащих пород	Образец	Концентрация радионуклида в растворе после сорбции	Степень извлечения, %
радий, $\cdot 10^{-10}$ г (исходное содержание радия в растворе $9.5 \cdot 10^{-10}$ г)			
Клиноптилолитсодержащая	538-35	0.0065	99.9
	541-19	0.127	98.7
	541-31	0.042	99.6
	541-32	0.20	97.9
Анальцимсодержащая	50201	0.0155	99.8
	551	0.0376	99.6
	56402	0.0234	99.8
	58603	0.0748	99.2
	58901	0.0297	99.7
Анальцим		3.6	64.2
уран, $\cdot 10^{-6}$ г (исходное содержание урана в растворе $24 \cdot 10^{-6}$ г)			
Клиноптилолитсодержащая	538–35	5.3	77.9
	541-19	5.9	75.4
	541-31	6.9	71.3
	541-32	4.6	80.8
Анальцимсодержащая	50201	0.35	98.5
	551	0.2	99.2
	56402	0.08	99.7
	58603	0.25	98.9
	58901	0.24	99.0
Анальцим		10.7	55.4
торий, $\cdot 10^{-6}$ г (исходное содержание тория в растворе $15 \cdot 10^{-6}$ г)			
Клиноптилолитсодержащая	538–35	н/о	100
	541-19	н/о	100
	541-31	н/о	100
	541-32	0.9	94
Анальцимсодержащая	50201	н/о	100
	551	н/о	100
	56402	н/о	100
	58603	н/о	100
	58901	н/о	100
Анальцим		0.3	98

Примечание. н/о – не обнаружено

составляет 100.0 %. Анальцим поглощает торий немного хуже, степень извлечения равна 98.0 %.

Выявлена также сильная сорбция радия цеолитсодержащими породами: от 97.9 до 99.9 % извлекается из раствора клиноптилолитсодержащими и от 99.2 до 99.8 % – анальцимсодержащими породами. Поглощение радия анальцимом протекает значительно хуже: сорбируется лишь 64.2 %.

В отношении урана высокие сорбционные свойства проявляют анальцимсодержащие породы: они сорбируют от 98.5 до 99.7 % радионуклида из раствора, в то время как клиноптилолитсодержащие – от 71.3 до 80.8 %, анальцимом из раствора извлекается чуть более 50 % урана.

Прочность поглощения элементов. Для естественных радионуклидов, представленных в природных растворах в ультрамикроконцентрациях и в силу этого не способных насытить сорбент до предела, важна прочность поглощения элементов или образуемых им соединений [3]. Результаты исследования прочности поглощения радионуклидов показаны на рис. 1–3.

Как упоминалось выше, прочность поглощения оценивали по содержанию радионуклидов в вытяжках, полученных последовательной обработкой обогащенного радионуклидами сорбента дистиллированной водой, 1М растворами ацетата аммония (CH_3COONH_4) и соляной кислоты (HCl). При обработке дистиллированной водой в жидкую фазу переходят водорастворимые соли, органические и неорганические соединения. Воздействие ацетата аммония показывает склонность поглощенных радионуклидов и их соединений к ионному обмену. Соляной кислотой извлекаются более прочносвязанные формы радионуклидов, связанные с подвижными и устойчивыми оксидами, и растворимые органические соединения. Следует отметить, что в кислой среде происходит разрушение структуры цеолитов и глинистых минералов, что приводит к извлечению радионуклидов в раствор.

Результаты экспериментов показали, что торий наиболее прочно удерживается цеолитсодержащими породами. Наблюдается его незначительное извлечение в раствор при взаимодействии с водой, а также в результате ионного обмена с ацетатом аммония (рис. 1). Так, при обработке дистиллированной водой клиноптилолитсодержащей породы в раствор переходит только 0.3–0.7 % поглощенного радионуклида, при обработке ацетатом аммония – от 0 до 0.3 % (за исключением образца 541-32, который удерживает торий менее прочно). Аналогичные воздействия на анальцимсодержащую породу приводят к извлечению в раствор 1.0–2.7 и 0–0.7 % тория соответственно. И только в кислой среде наблюдается значительная десорбция радионуклида: от 56.7 до 74.0 % в случае клиноптилолитсодержащих пород и от 38.0 до 68.0 % – анальцимсодержащих. Анальцим слабее удерживает торий при обработке водой и ацетатом аммония: извлекается 6.1 и 20.4 % соответственно,

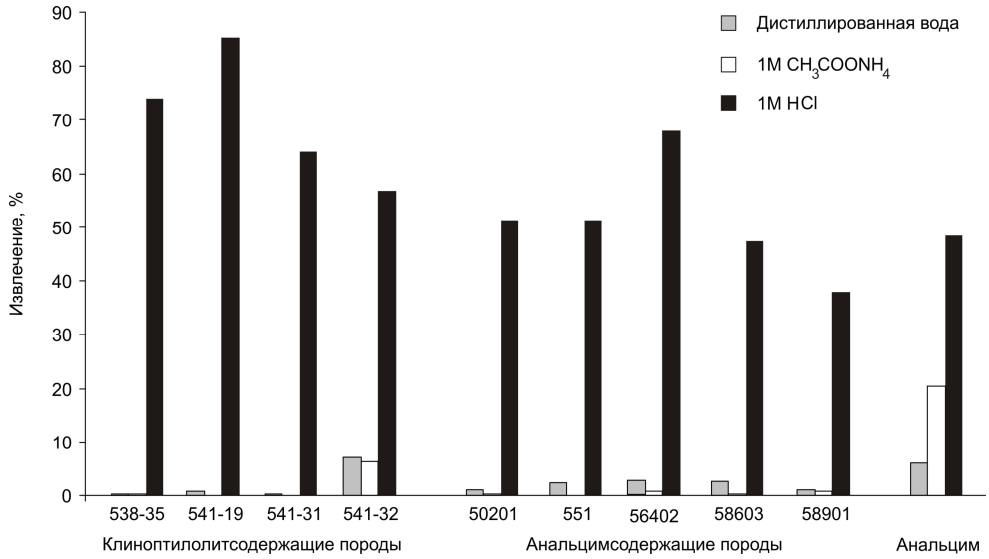


Рис. 1. Прочность поглощения тория цеолитсодержащими породами и анальцимом.

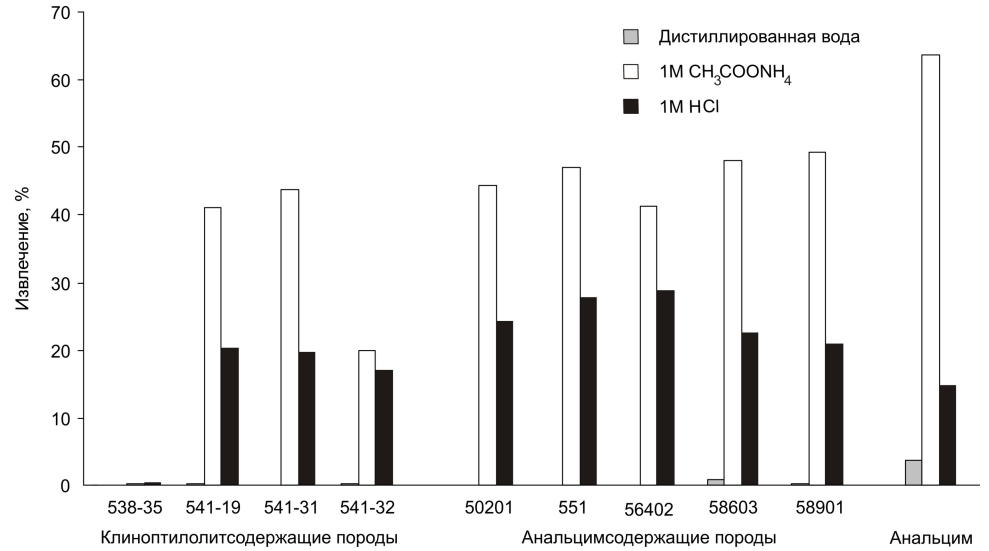


Рис. 2. Прочность поглощения радия цеолитсодержащими породами и анальцимом.

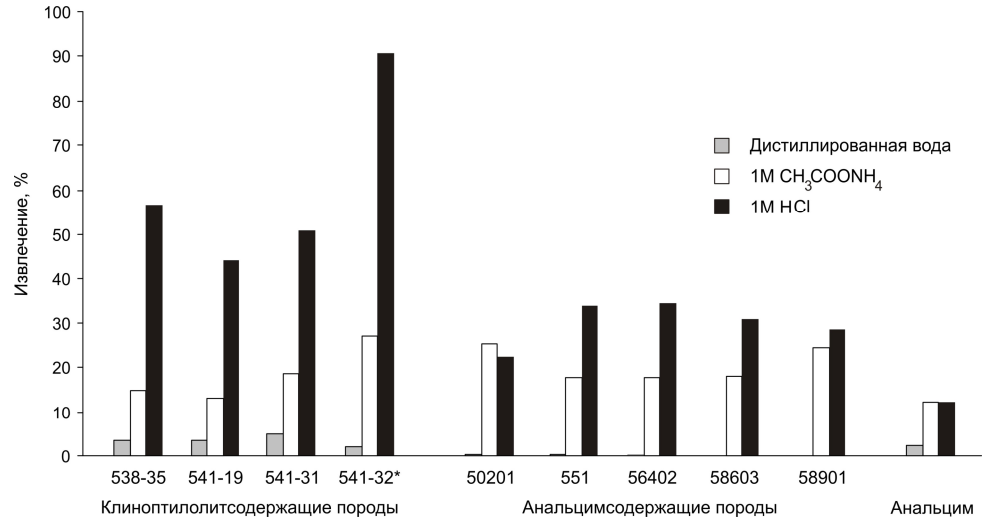


Рис. 3. Прочность поглощения урана цеолитсодержащими породами и анальцимом. (Примечание. * – в образце 541-32 сумма мобильных форм больше 100 % за счет высокого содержания урана в самой породе и его извлечения соляной кислотой).

воздействие кислоты приводит к десорбции 48.3 % радионуклида.

Как видно на рис. 1–3, в результате воздействия ацетата аммония из всех радиоактивных элементов радий наиболее склонен к ионному обмену, что приводит его к значительному извлечению в раствор из клиноптилолитсодержащих пород (20.0–43.7 %, кроме образца 538-35, из которого извлекается только 0.5 % радионуклида) и анальцимсодержащих (41.4–49.2 %), а также анальцима (более 60 %). При обработке водой радий прочно удерживается цеолитсодержащими породами и анальцимом – десорбируется менее 1.0 и 3.6 % соответственно. Однако кислотная обработка, хоть и в меньшей степени по сравнению с ацетатом аммония, также способствует извлечению радионуклида.

Анальцим гораздо прочнее цеолитсодержащих пород удерживает уран: 2.3 % десорбируется при обработке водой и по 12.1 % – кислотой и ацетатом аммония (рис. 3). Анальцимсодержащие породы также прочно удерживают уран при обработке водой: извлекается всего 0.1–0.3 % радионуклида, но при воздействии ацетата аммония и кислоты в раствор переходит уже 17.6–25.4 и 22.4–34.7 % соответственно. Наименее слабо удерживающими уран сорбентами оказались клиноптилолитсодержащие породы: уже при обработке водой выделяется 2.1–4.9 % радионуклида, от 13.2 до 26.9 и от 44.2 до 56.7 % (а в образце 541-32 – более 90 %) десорбируется ацетатом аммония и соляной кислотой соответственно.

Выводы

Таким образом, результаты исследования сорбции различными цеолитовыми сорбентами показали, что анальцимсодержащие породы являются эффективными сорбентами тория, радия и урана, причем степень поглощения тория для всех образцов данных пород составляет 100 %. Анальцим проявляет высокие сорбционные свойства только по отношению к торию, в то время как поглощение радия и урана значительно ниже (64.2 и 55.4 % соответственно). Клиноптилолитсодержащие породы практически полностью сорбируют торий и радий, однако извлечение урана из раствора протекает хуже и варьирует от 71.3 до 80.8 %.

Эксперименты по десорбции показали, что наиболее прочно удерживается торий, для которого наблюдается лишь незначительное извлечение в раствор при взаимодействии с водой и ацетатом аммония. Установлено, что анальцим гораздо прочнее поглощает уран по сравнению с цеолитсодержащими породами. Слабая прочность поглощения радия вызвана его склонностью к ионному обмену, в результате чего в раствор переходит около 50 % поглощенного цеолитсодержащими породами радионуклида, а в случае анальцима извлечение составляет более 60 %.

Авторы выражают благодарность к.г.-м.н. И.Н. Бурцеву за предоставленные образцы клиноптилолитсодержащих пород Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев, а также к.г.-м.н. Ю.С. Симаковой за рентгенофазовый анализ цеолитсодержащих пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 12-Т-5-1022 и научного проекта молодых ученых УрО РАН №13-5-НП-62.

Литература

1. *Гончарук В.В., Корнилович Б.Ю., Лукачина В.В.* Очистка радиоактивно загрязненных вод природными сорбентами // Химия и технология воды. 1996. Т. 18. № 2. С. 131–139.
2. *Кротков В.В., Нестеров Ю.В., Абдульманов И.Г. и др.* Модифицированные природные цеолиты и цеолитсодержащие композиты – эффективные сорбенты радионуклидов и других вредных веществ // Экология и промышленность России. 1997. № 10. С 4–6.
3. *Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И.* Роль сорбентов в процессах трансформации соединений урана, радия и тория в подзолистой почве. СПб.: Наука, 2006. 146 с.
4. *Кузнецов Ю.В. Щебетковский В.Н., Трусов А.Г.* Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. М.: Атомиздат, 1974. С. 230–234.
5. *Цицишвили Г.В., Андроникашвили Т.Г., Киров Г.Н., Филизова Л.Д.* Природные цеолиты. М.: Химия, 1985. С. 156–162.
6. *Шушков Д.А., Котова О.Б., Капитанов В.М., Игнатьев А.Н.* Анальцимсодержащие породы Тимана как перспективный вид полезных ископаемых. Сыктывкар, 2006. 40 с. (Научные рекомендации – народному хозяйству / Коми научный центр УрО РАН. Вып. 123).
7. *Салдин В.А., Бурцев И.Н., Симакова Ю.С., Филиппов В.Н.* Цеолиты в верхнеюрских породах Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев (Яренский сланценосный район) // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах: Материалы Российского совещания с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2012. С. 112–115.
8. *Титаева Н.А.* Ядерная геохимия. М.: Изд-во МГУ, 1992. 272 с.
9. *Добролюбская Т.С.* Люминесцентный метод // Аналитическая химия урана. М., 1962. С. 143–165.
10. *Кузнецов В.И., Саввин В.Б.* Чувствительное фотометрическое определение тория с реагентом арсеназо III // Радиохимия. 1961. Т. 3. № 1. С. 79–86.
11. *Старик И.Е.* Основы радиохимии. Л., 1969. 247 с.
12. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.

Статья поступила в редакцию 11.09.2012.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 622.248

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ ЗАМКОВЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ ПРИ РОТОРНОМ БУРЕНИИ В ИСКРИВЛЕННОМ СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ

Ю.М. ГЕРЖБЕРГ*, Д.Г. БЕЛЬСКИЙ**, В.И. КИРШИН**, А.Н. ГОРБИКОВ***

**Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*
***ОАО «Газпром», г. Москва*
****ООО «Газпром переработка», г. Ухта*
mosyger@yandex.ru

Статья посвящена вопросам предупреждения аварий с бурильным инструментом при бурении скважин с экстремальным профилем (например, на месторождениях углеводородов в шельфовой зоне). Приводятся результаты расчетов предельно допустимого радиуса кривизны оси утяжеленных бурильных труб разного типоразмера.

Ключевые слова: **замковое резьбовое соединение, герметичность, выносливость**

YU.M. GERZHBERG, D.G. BELSKY, V.I. KIRSHIN, A.N. GORBIKOV. **PREVENTION OF DEPRESSURIZATION OF THREADED TOOL JOINT OF THE DRILL STRING DURING ROTOR DRILLING IN THE DEVIATED HOLE**

The paper deals with the problems that prevent failures with the drilling tool during well drilling with an extreme profile, for example, on the fields of hydrocarbons in the shelf zone. Problems of depressurization of threaded tool joints in BHA drill string bottom in the deviated hole are considered. The results of calculations of maximum permissible radius of HWDP axis deviation of heavy-weight drill pipes of different standard size are given.

Key words: **threaded tool joint, tightness, fatigue**

При проектировании профиля наклонно направленной скважины, в том числе участков ствола с высокой интенсивностью искривления, необходимо предупредить не только превышение допустимых нагрузок, но и возможность разгерметизации замковых резьбовых соединений (ЗРС) утяжеленных бурильных труб и забойных двигателей в результате их изгиба.

В процессе бурения и проработок ствола скважины замковые резьбовые соединения компоновки низа бурильной колонны (компоновки) подвергаются следующим видам внешних нагрузок: растяжение ниппельной части от предварительной затяжки резьбы с определенным распределением осевой нагрузки по длине ниппеля; сжатие муфтовой части как от предварительной затяжки, так и при создании нагрузки на долото; изгиб оси утяжеленных бурильных труб (УБТ) под воздействием кривизны оси скважины, нагрузки на долото и вращения бурильной колонны; переменные нагрузки, возникающие при колебании низа бурильной колонны; скручивающие усилия при передаче вращения от ротора долоту, находящемуся под нагрузкой.

В целом напряженное состояние ЗРС можно характеризовать как сложное, т.е. находящееся под воздействием как осевых, так и касательных напряжений. При этом детали подвергаются статическим и переменным напряжениям. К статическим нагрузкам относятся осевые усилия, возникающие от затяжки резьбы и нагрузки на долото. Переменные напряжения возникают, прежде всего, от изгиба оси компоновки в искривленном стволе скважины и в результате потери устойчивости, а также при колебании низа бурильной колонны в процессе работы долота.

Напряжения в ЗРС непосредственно от нагрузки на долото имеют небольшие значения, так как распределяются по большой площади сечения, и при расчетах ими можно пренебречь. Однако нагрузка на долото вызывает искривление оси компоновки и переменные напряжения изгиба. Колебания бурильной колонны в процессе бурения можно учесть путем увеличения средней величины осевой нагрузки на долото при расчете стержневой системы, которая моделирует напряженное состояние компоновки.

В табл. 1 приведены оценочные величины коэффициента динамичности нагрузки на нижнем конце компоновки, характеризующей отношение максимальной величины осевой нагрузки вследствие вибрации долота без резонансных явлений к средней величине нагрузки на долото. Эти данные получены в результате анализа ранее выполненных стендовых исследований и измерений в скважинах. Определение напряженного состояния ЗРС утяжеленных бурильных труб, условий их безаварийной работы в компоновках разного назначения при различных режимах бурения позволяют не только существенно уменьшить аварийные ситуации, в том числе поломки бурильного инструмента, но и повысить межремонтный период работы и уменьшить затраты на прокат УБТ.

Таблица 1

Усредненная величина коэффициента динамичности Кд нагрузки на долото

№ пп	Тип долота	Диаметр долота, мм	Твердость породы	Величина $К_д$
1	Трехшарошечные	393,7 и больше	От мягких до средней твердости	1,25
2			Выше средней твердости	1,50
3		От 250,8 до 311,1	От мягких до средней твердости	1,20
4			Выше средней твердости	1,40
5		От 190,5 до 215,9	От мягких до средней твердости	1,15
6			Выше средней твердости	1,30
7	Режуще-истирающие	От 250,8 до 311,1	От очень мягких до мягких	1,10
8		От 190,5 до 215,9	Средней твердости	1,15

Ранее в работе [1] были приведены алгоритмы расчета напряженного состояния ЗРС утяжеленных бурильных труб, забойных двигателей в условиях бурения или спуска инструмента в искривленный ствол скважины. Там же приводятся условия предотвращения их поломки в результате превышения предельно допустимых напряжений в четырех наиболее опасных сечениях: у основания ниппеля, по первой полной нитке резьбы, посередине длины резьбы, во внутренней выточке муфты. Помимо допустимых условий работы ЗРС по выносливости металла на переменные нагрузки необходимо обеспечить сохранение герметичности резьбового соединения в процессах работы бурового инструмента.

В резьбовом соединении конструктивно заложен зазор между профилями ниппеля и муфты, размер которого составляет около 0.5 мм. Поэтому при большом перепаде давления между внутренним каналом труб и затрубным пространством вероятность развития размыва ЗРС даже при наличии герметизирующей смазки достаточно велика. В связи с этим при эксплуатации компоновки герметичность ЗРС должна также обеспечиваться контактным давлением между торцами муфты и ниппеля, равным или превышающим указанный перепад давления.

Раскрытию контакта между торцами деталей ЗРС способствует как перепад давления, так и изгиб оси компоновки. На рис. 1 показана схема сечения ЗРС по торцу для условий частичного раскрытия торца муфты в результате изгиба оси компоновки.

Пока изгибающий момент невелик, контактная поверхность муфты и ниппеля не раскрывается. В этом случае напряжения будут определяться по обычным формулам растяжения с изгибом. Наибольшее сжимающее напряжение в торце муфты определяется по формуле (1):

$$\sigma_{муф} = \left(\frac{4P_{нат}}{\pi(d_6^2 - d_4^2)} - \Delta p \right) + \frac{32M \cdot d_6}{\pi\left[(d_6^4 - d_4^4) + (d_{кн}^4 - d_{вн}^4)\right]} \quad (1)$$

где $P_{нат}$ – растягивающее усилие, равное предварительному натягу за вычетом нагрузки на долото и составляющей гравитационных сил нижележащей части труб;

Δp – перепад давления между каналом трубы и затрубным пространством в зоне резьбового соединения.

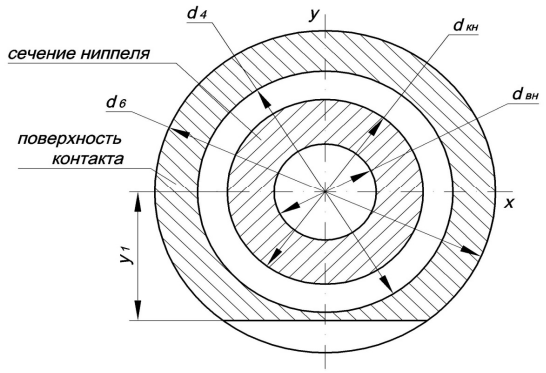


Рис. 1. Сечение ЗРС по поверхности контакта торцов муфты и ниппеля при изгибе трубы.

Наибольшее растягивающее напряжение в сечении разгрузочной канавки ниппеля равно:

$$\sigma_{нип} = \frac{4P_{нат}}{\pi(d_{кн}^2 - d_{вн}^2)} + \frac{32M \cdot d_{кн}}{\pi\left[(d_6^4 - d_4^4) + (d_{кн}^4 - d_{вн}^4)\right]}, \quad (2)$$

где d_6 – наружный диаметр упорной поверхности ниппеля и муфты,

d_4 – диаметр конусной выточки в плоскости упорного торца муфты (внутренний диаметр упорной поверхности ниппеля и муфты),

$d_{кн}$ – диаметр разгрузочной канавки ниппеля,

$d_{вн}$ – диаметр канала трубы (внутренний диаметр УБТ).

Контактная поверхность в нижней части трубы начнет раскрываться при условии $\sigma_{муф} = 0$, когда M достигнет значения M_1 согласно формуле (3):

$$M_1 = \frac{\left(\frac{4P_{нат}}{(d_6^2 - d_4^2)} - \pi \cdot \Delta p\right) \cdot \left[\left(d_6^4 - d_4^4\right) + \left(d_{кн}^4 - d_{вн}^4\right)\right]}{32 d_6} \quad (3)$$

При $M > M_1$ контактные плоскости ЗРС частично раскрываются до слоя y_1 (рис. 2). Такие условия рассматриваются как неприемлемые.

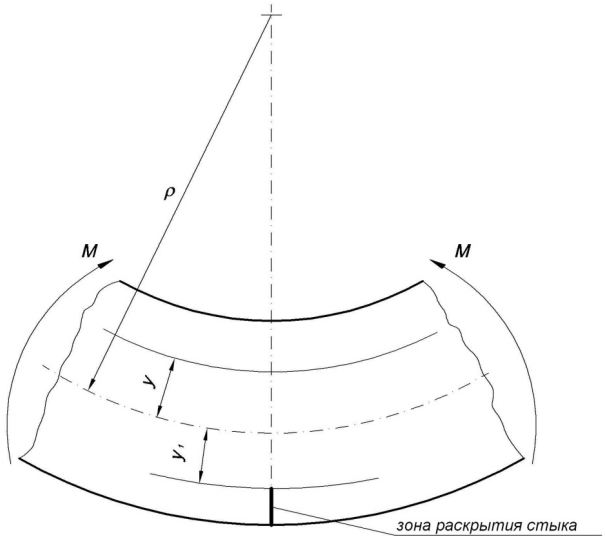


Рис. 2. Схема раскрытия стыка замкового резьбового соединения при изгибе оси трубы.

Относительное удлинение любого слоя при радиусе кривизны оси трубы ρ, находящегося на расстоянии y от оси, будет складываться из трех частей:

Первая часть представляет собой удлинение, вызванное предварительным натяжением системы. *Вторая* часть ε_0 представляет собой удлинение оси, пока неизвестное, получающееся вследствие искривления трубы (для муфты и ниппеля эта величина одна и та же). *Третья* часть $-\frac{y}{\rho}$ (одинаковая для муфты и ниппеля) представляет собой величину удлинения, которое получило бы волокно в результате искривления трубы, если бы длина ее оси не изменялась. Осевое напряжение пропорционально изменению длины волокна металла вдоль трубы, а величина этого изменения в зависимости от расстояния волокна y от оси определяется по формуле 4:

$$\varepsilon_{нип} = \varepsilon_{нип}^1 + \varepsilon_0 - \frac{y}{\rho}; \quad \varepsilon_{муф} = \varepsilon_{муф}^1 + \varepsilon_0 - \frac{y}{\rho}, \quad (4)$$

Напряжения в соответствующих местах определяются по формуле 5:

$$\sigma_{нип} = E\left(\varepsilon_{нип}^1 + \varepsilon_0 - \frac{y}{\rho}\right), \quad \sigma_{муф} = E\left(\varepsilon_{муф}^1 + \varepsilon_0 - \frac{y}{\rho}\right) \quad (5)$$

При этом величина $\sigma_{муф}$ может быть только отрицательной (сжатие) и потому в выражении для $\sigma_{муф}$:

$$y \geq y_1 = \rho \cdot (\varepsilon_{муф}^1 + \varepsilon_0) \quad (6)$$

При решении статических уравнений равновесия:

$$\int_{y_1}^{d_6/2} \sigma_{муф} dF_{муф} + \int_{-d_{кн}/2}^{+d_{кн}/2} \sigma_{нип} dF_{нип} = 0, \quad (7\ а)$$

$$\int_{y_1}^{d_6/2} \sigma_{муф} y dF_{муф} + \int_{-d_{кн}/2}^{+d_{кн}/2} \sigma_{нип} y dF_{нип} = -M \quad (7\ б)$$

определяются наибольшее сжимающее напряжение в муфте и наибольшее растягивающее напряжение в ниппеле:

$$\sigma_{сж.муф} = E\varepsilon_{муф}^1 \frac{(F_{муф} + F_{нип})(y_1 - \frac{d_6}{2})}{y_1(F_{муф}^* + F_{нип}) - S_{муф}^*},$$

$$\sigma_{раст.нип} = E\varepsilon_{муф}^1 \frac{(F_{муф} + F_{нип})(\frac{S_{муф}^* - y_1 F_{муф}^*}{F_{нип}} + \frac{d_{кн}}{2})}{y_1(F_{муф}^* + F_{нип}) - S_{муф}^*}. \quad (8)$$

где $F_{нип}$ и $I_{нип}$ – площадь и момент инерции сечения ниппеля относительно диаметра, $F_{муф}^*$, $S_{муф}^*$ и $I_{муф}^*$ – площадь, статический момент и момент инерции работающего сечения муфты.

Условие герметичности на стыке (торце) ЗРС соблюдается, когда напряжение сжатия на его внешней части при максимальном изгибе не меньше перепада давления. В табл. 2 приведены некоторые результаты расчетов предельных условий работы ЗРС наиболее часто используемых типоразмеров УБТ с учетом предотвращения раскрытия стыков деталей программой ЭВМ «Proek_Bur_Kol» [2]. Критерием этих предельных условий работы является радиус кривизны оси ЗРС. Как видно из этой таблицы, при использовании УБТ некоторых типоразмеров предельно допустимый радиус кри-

Таблица 2

Предельно допустимый радиус кривизны оси ЗРС (R_{min}) для разных условий в неагрессивной среде

Наружный диаметр УБТ, мм	Внутренний диаметр УБТ, мм	Тип резьбы	R_{min} в начале разгерметизации стыка ниппель-муфта	R_{min} из условия прочности в сечении по основанию ниппеля	R_{min} из условия прочности по 1-й нитке резьбы ниппеля	R_{min} из условия прочности по зарезьбовой канавке муфты
1	2	3	**6**	7	8	9
127	57	З-102	85	100	**109**	68
127	64	З-102	87	105	**110**	66
127	51	З-101	93	98	**106**	56
133	51	З-102	**112**	102	109	67
133	64	З-108	81	108	**119**	73
133	71	З-108	82	113	**120**	70
133	51	З-101	**121**	91	106	55
133	57	З-101	**122**	94	107	54
133	64	З-101	**123**	103	108	53
146	71	З-118	107	113	**131**	81
146	51	З-117	112	114	**128**	75
146	57	З-117	113	114	**128**	74
146	64	З-117	114	114	**129**	73
165	51	З-122	**180**	119	137	85
165	89	З-133	108	**158**	155	98
165	57	З-117	**214**	117	128	69
165	71	З-117	216	121	**129**	68
165	76	З-117	218	124	**130**	67
178	57	З-133	**166**	165	157	102
178	64	З-133	**167**	**167**	158	101
178	71	З-133	**168**	**167**	158	100
178	57	З-140	122	**168**	165	96
178	71	З-140	124	**172**	166	94
178	76	З-140	124	**175**	166	94
178	83	З-140	126	**179**	167	92
197	71	З-149	163	164	**180**	101
197	71	З-152	149	168	**185**	123
197	83	З-152	150	172	**186**	122
197	89	З-152	151	174	**186**	120
203	71	З-152	177	177	**185**	121
203	89	З-152	179	180	**186**	118
229	89	З-177	194	219	**221**	136
229	95	З-177	195	220	**222**	135
229	89	З-171	**223**	223	214	145
229	95	З-171	**224**	225	214	144
251	71	З-185	**286**	209	233	136
251	83	З-185	**287**	211	233	135
251	89	З-177	**324**	198	221	129
251	95	З-177	**325**	199	221	129

визны оси труб (ПДРК) по условиям обеспечения герметичности заметно больше ПДРК по условиям обеспечения их прочности.

В условиях работы в скважине кривизна оси компоновок низа бурильной колонны больше кривизны оси скважины. Причем для долот диаметром 393,7–490,0 мм это превышение составляет 35–40%, для долот диаметром 244,1–311,1 мм – 20-35%, для долот 190,5–215,9 мм – 18-22%. Поэтому при выборе типоразмеров резьбовых соединений в условиях большой кривизны оси скважины и форсированных режимах бурения в соответствующем участке скважины необходимо осуществлять расчет напряженно-деформированного состояния компоновки в конкретных условиях работы.

Изгиб оси компоновки определяется режимом бурения (нагрузкой на долото, частотой вращения бурильной колонны), геометрией ограничивающего пространства (трасса призабойной части скважины и ее сечение), конструкцией (составом) компоновки низа бурильной колонны, в том числе диаметром и расположением центраторов. Программный расчет компоновок с учетом вышеуказанных факторов позволяет не только определить условия безопасного бурения по кривизне оси скважины, обосновать минимальный радиус кривизны оси скважины, выбрать подходящий типоразмер УБТ, но и рассчитать расположение центраторов, которое обеспечит минимизацию изгиба оси компоновки при форсированных режимах бурения и, в целом, увеличит межремонтный период резьбовых соединений.

Литература

1. *Гержберг Ю.М., Чарков В.Д., Киршин В.И.* Методика расчета резьбовых соединений утяжеленных бурильных труб и забойных двигателей // «Инженер-нефтяник». 2009. №4. С. 13-17.
2. *Гержберг Ю.М., Чарков В.Д.* Программный комплекс для проектирования оптимального состава бурильной колонны (Proekt_Bur_Kol). Федер. служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. М., 2006. № 2006610570.

Статья поступила в редакцию 13.07.2012.

УДК 531/532:576.72+611.08:539.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ МАЛОЦИКЛОВОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

М.Ю. ДЕМИНА, Л.С. ПОЛУГРУДОВА, И.Н. АНДРОНОВ, Н.П. БОГДАНОВ

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
mdemina59@mail.ru, iandronov@mail.ru, bnp55@mail.ru

Приведены результаты численных расчетов циклового деформирования вязкоупругого материала в реологических моделях Максвелла и Фойгта. Отмечено необратимое накопление деформации под действием периодической нагрузки. Выполнено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными циклического пульсационного воздействия на компактную костную ткань.

Ключевые слова: **вязкоупругий материал, циклическая нагрузка, реологические модели Максвелла, Фойгта, механическое напряжение, деформация**

M.YU. DEMINA, L.S. POLUGRUDOVA, I.N. ANDRONOV, N.P. BOGDANOV. **SIMULATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF VISCOELASTIC ELEMENT IN THE LOW-CYCLE DEFORMATION**

The results of numerical calculations of cyclic deformation of viscoelastic material in the rheological model of Maxwell and Voigt are given. The accumulation of irreversible deformation under the action of periodic load is noted. The comparison of simulation results with experimental data of cyclic pulsation effects on compact bone tissue is performed.

Key word: **viscoelastic material, cyclic loads, rheological models of Maxwell, Voigt, mechanical stress, deformation**

На современном этапе медицина является по существу экспериментальной наукой с огромным эмпирическим опытом воздействия на ход тех или иных болезней различными средствами. Однако экспериментальное изучение процессов, происходящих в биологических средах, является ограниченным. В настоящее время одним из актуальных научных направлений является математическое моделирование нормальных и патологических свойств биотканей в разных условиях функционирования [1–7]. Исследование механических свойств вязкоупругих сред в разных условиях нагружения, с одной стороны, интересно как задача механики, с другой – представляет медицинский интерес, так как ткани организма, в частности компактная костная ткань, проявляют именно вязкоупругие свойства [8–10].

Костные ткани – биологический материал, имеющий характерный физический и химический составы. Различают компактную ткань, в которой структура определяется пластинчатым строением, и спонгиозную, обладающую высокой пористостью. Костная ткань является подвижной динамической структурой, для которой характерно постоянное обновление [11–12]. Физические факторы, прежде всего парциальное давление кислорода и механическое воздействие, влияют на клетки остеогенного ряда. Перестройка костной ткани осуществляется в соответствии с действующими на кость нагрузками [13].

Большой практический интерес представляет отклик материала на циклическое деформирование, так как в обычных физиологических условиях кость чаще всего подвергается воздействию именно периодически изменяющихся нагрузок. Известно, что сопротивление материалов нагрузкам, систематически изменяющими свою величину и знак, существенно отличается от сопротивления тех же материалов статическому или ударному действию нагрузок [14].

Цель настоящей работы – экспериментально исследовать механическое поведение компактной костной ткани при малоцикловом деформировании и провести численное моделирование механических свойств вязкоупругого элемента, подвергаемого действию периодической нагрузки.

Моделирование

Напряженно-деформированное состояние тела в общем случае трехосно и описать его свойства с помощью простых моделей не удается. Однако в случае одноосного деформирования качественное поведение материала достаточно наглядно и просто можно представить простейшими структурными элементами: упругим и вязким. Предполагали, что эти элементы обладают линейными характеристиками, т.е. напряжение σ и деформация ε в упругом элементе связаны соотношением в

форме закона Гука $\sigma = E\varepsilon$, а в вязком элементе напряжение и скорость деформации связаны соотношением ньютоновского типа $\sigma = \eta\dot{\varepsilon}$ (здесь и далее точка обозначает дифференцирование по времени).

Рассматривали поведение материала под действием периодической нагрузки при последовательном соединении упругого и вязкого элементов (модель Максвелла) и параллельном соединении (модель Фойгта). Расчеты выполняли для пульсационного цикла нагружения с коэффициентом асимметрии

$$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = 0,$$

в котором напряжение задавали в виде

$$\sigma = A\left|sin\left(\frac{\pi}{T}t\right)\right|, \qquad (1)$$

где A – амплитуда напряжения, $T = \frac{2\pi}{\omega}$ – период, ω – круговая частота (рис.1).

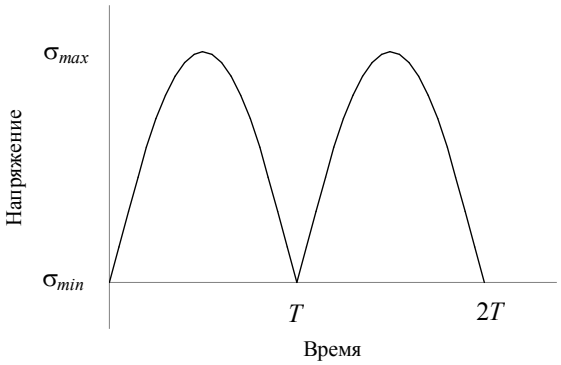


Рис.1. Изменение напряжения в отнулевом пульсационном цикле.

В моменты времени $t = nT$ (n = 0, 1, 2,…) производная напряжения не определена, поэтому уравнение (1) представляли выражениями

$$\sigma = \begin{Bmatrix} A\sin\left(\frac{\pi}{T}t\right), t \in [2nT;\ (2n+1)T] \\ -A\sin\left(\frac{\pi}{T}t\right), t \in [(2n+1)T;\ (2n+2)T] \end{Bmatrix}. \qquad (2)$$

Уравнение Максвелла для упруго-вязкого элемента имеет вид

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

Уравнение (3) с учетом соотношений (2) может быть представлено двумя уравнениями для нечетных и четных периодов

$$\dot{\varepsilon} = \begin{Bmatrix} \frac{\pi A}{ET}cos\left(\frac{\pi}{T}t\right) + \frac{A}{\eta}sin\left(\frac{\pi}{T}t\right), t \in [2nT;(2n+1)T] \\ -\frac{\pi A}{ET}cos\left(\frac{\pi}{T}t\right) - \frac{A}{\eta}sin\left(\frac{\pi}{T}t\right), t \in [(2n+1)T;(2n+2)T] \end{Bmatrix} \qquad (4)$$

Решения дифференциальных уравнений (4)

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \frac{A}{E}sin\left(\frac{\pi}{T}t\right) - \frac{AT}{\pi\eta}cos\left(\frac{\pi}{T}t\right) + C_1, t \in [2nT;(2n+1)T] \\ -\frac{A}{E}sin\left(\frac{\pi}{T}t\right) + \frac{AT}{\pi\eta}cos\left(\frac{\pi}{T}t\right) + C_2, t \in [(2n+1)T;(2n+2)T] \end{Bmatrix} \qquad (5)$$

где C_1 и C_2 – константы интегрирования. Для определения константы интегрирования C_1 использовали следующие начальные условия: при $t = 0$, $\varepsilon = 0$. Значение константы $C_1 = \frac{AT}{\pi\eta}$. Вторую константу интегрирования находили из условия равенства деформаций в конце первого и начале второго периода цикла, т.е. в момент времени $t = (2n+1)T$. Полученное значение константы равно $C_2 = \frac{3AT}{\pi\eta}$. Таким образом, получили аналитические выражения временной зависимости деформации для первых двух циклов периодической нагрузки.

Выполнено численное моделирование кинетики накопления деформации и получены диаграммы деформирования при различных параметрах модели. Результаты расчетов показывают сильную зависимость кинетики деформации (рис.2) и диаграммы напряжений (рис.3) от параметров модели.

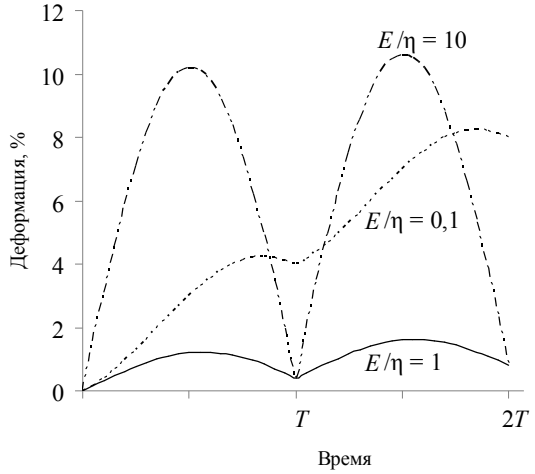


Рис.2. Влияние параметров модели Максвелла на зависимость деформации от времени в пульсационном цикле нагружения.

При соотношении параметров упругого и вязкого элементов $\frac{E}{\eta} = 0{,}1$ и $\frac{E}{\eta} = 1$ деформация изменяется практически в фазе с напряжением, наблюдается незначительный неполный возврат деформации. Увеличение параметра упругого элемента по отношению к упругому до $\frac{E}{\eta} = 10$ приводит к отставанию деформации от циклически меняющегося напряжения и резкому невозврату деформации после двух циклов нагружения.

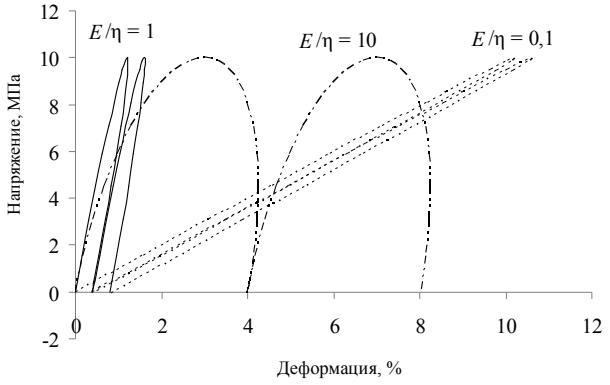


Рис.3. Влияние параметров модели Максвелла на диаграммы напряжения в пульсационном цикле.

Синхронность деформации и напряжения в модели Максвелла при упругом параметре, равном или меньшем вязкого параметра, отчетливо прослеживается на диаграмме напряжений (рис.3). С повышением модуля упругости в модели диаграмма приобретает значительное увеличение накопленной деформации.

В модели Фойгта определяющее структурное соотношение между напряжением и деформацией имеет вид

$$\dot{\varepsilon} + \frac{E}{\eta}\varepsilon = \frac{\sigma}{\eta}. \qquad (6)$$

В соответствии с цикловой нагрузкой, задаваемой уравнениями (2), соотношение (6) запишется в виде двух дифференциальных уравнений для нечетных и четных периодов

$$\dot{\varepsilon} + \frac{E}{\eta}\varepsilon = \begin{cases} \frac{A}{\eta} sin\left(\frac{\pi}{T}t\right), t \in [2nT\,;(2n+1)T] \\ -\frac{A}{\eta} sin\left(\frac{\pi}{T}t\right), t \in [(2n+1)T\,;(2n+2)T] \end{cases} \qquad (7)$$

При решении уравнений (7) получили аналитические выражения для деформации в первом цикле нагружения

$$\varepsilon_1 = \frac{\frac{A}{\eta}\left(\frac{E}{\eta} sin\left(\frac{\pi}{T}t\right) - \frac{\pi}{T} cos\left(\frac{\pi}{T}t\right)\right)}{\left(\frac{E}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2} + \frac{\pi A}{\eta T\left(\left(\frac{E}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2\right)} e^{-\frac{E}{\eta}t} \qquad (8)$$

и во втором

$$\varepsilon_2 = \frac{\frac{A}{\eta}\left(\frac{\pi}{T} cos\left(\frac{\pi}{T}t\right) - \frac{E}{\eta} sin\left(\frac{\pi}{T}t\right)\right)}{\left(\frac{E}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2} + \frac{\pi A\left(1 + 2e^{\frac{E}{\eta}t}\right)}{\eta T\left(\left(\frac{E}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{T}\right)^2\right)} e^{-\frac{E}{\eta}t}. \qquad (9)$$

Константы интегрирования, как и в модели Максвелла, определяли из следующих соображений: в первом цикле в начальный момент времени деформация равна нулю, деформации первого и второго циклов равны в момент времени $t = T$.

Данные расчетов кинетики деформации в модели Фойгта позволяют отметить запаздывание деформации от напряжения и монотонное накопление остаточной деформации при всех рассмотренных параметрах модели (рис.4). В модели Фойгта

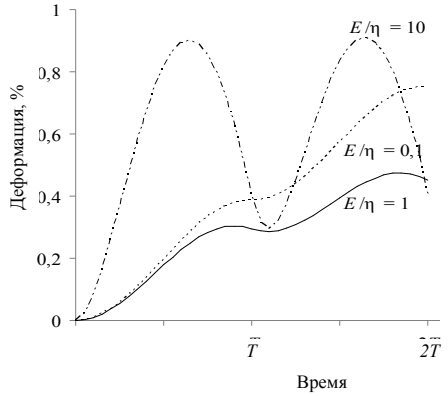


Рис.4. Влияние параметров модели Фойгта на зависимость деформации от времени в пульсационном цикле нагружения.

величина расчетных деформаций на порядок меньше по сравнению с моделью Максвелла.

Экспоненциальная кинетика деформации в модели Фойгта определяет сложный вид диаграммы напряжений (рис.5). Практически периодическая зависимость $\sigma = f(\varepsilon)$ при соотношении параметров модели $\frac{E}{\eta} = 0{,}1$ меняется на замкнутую фигуру при $\frac{E}{\eta} = 10$. Подобные замкнутые диаграммы были получены экспериментально при циклическом деформировании костной ткани и приведены в работе [12].

Таким образом, расчеты реологических свойств, выполненные при помощи достаточно простых механических моделей Максвелла и Фойгта, позволяют прогнозировать изменение деформации при циклическом воздействии на вязкоупругий материал.

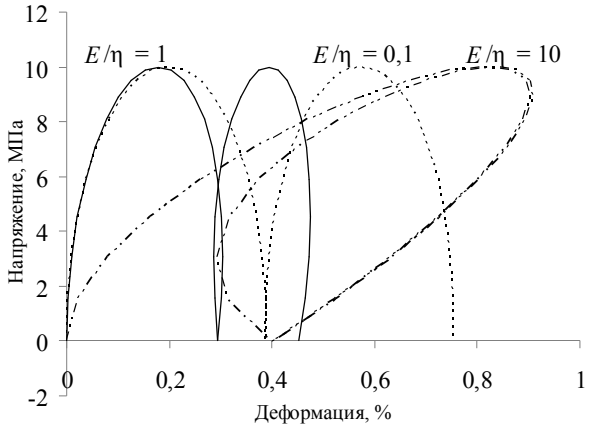


Рис.5. Влияние параметров модели Фойгта на диаграммы напряжения в пульсационном цикле.

Эксперимент

Результаты моделирования сравнивали с экспериментальными данными по циклическому нагружению компактной костной ткани. Для исследования использовали образец в форме балки прямоугольного сечения, который вырезали из средней части диафиза большеберцовой кости жи-

вотного. Образец сечением $b \times h$ = 5,5×10 мм длиной рабочей части 50 мм жестко закрепляли в одном конце. К свободному концу прикладывали циклически меняющуюся изгибающую нагрузку *P* = *f*(*t*), вызывающую в верхнем слое переменные растягивающие напряжения (рис. 6, кривая 1). Деформацию измеряли тензорезистором КФ 5П-0,5, наклеенном в верхнем слое на расстоянии 30 мм от незакрепленного конца образца. Нормальные напряжения от изгибающего момента рассчитывали по формуле

$$\sigma = \sigma_{max} = \frac{Pl}{W_x}, \qquad (10)$$

где l = 30 мм – расстояние от сечения с прикладываемой нагрузкой до тензорезистора, W_x – момент сопротивления сечения. Нормальные напряжения в сечении превышали касательные, определяемые для прямоугольного сечения, как

$$\tau_{max} = \frac{3P}{2bh}. \qquad (11)$$

Для сечения, соответствующего положению тензорезистора, отношение максимальных нормального и касательного напряжений составляло

$$\frac{\sigma_{max}}{\tau_{max}} = 4\frac{l}{h} = 12. \qquad (12)$$

Проводили серию экспериментов по знакопостоянному механоциклированию материала с нарастающей амплитудой напряжения от цикла к циклу. Создаваемые напряжения соответствовали пульсационному циклу с коэффициентом асимметрии $r = 0$, амплитуда напряжений в первом цикле составляла 18 МПа, во втором – 24, в третьем – 33 МПа. В цикле задавали три периода нагрузки-разгрузки материала, скорость нагружения 0,3 МПа/с.

Результаты экспериментов показали, что накопление и возврат деформации при циклическом нагружении компактной костной ткани происходят синхронно с изменением напряжения (рис.6): фаза деформации соответствует фазе нагрузки. Из литературы известно, что для вязкоупругих материалов это наблюдается не всегда [3]. Установлено, что с учетом погрешности опыта деформация в цикле линейно изменяется со временем. Наблюдалась необратимая деформация после разгрузки в цикле (рис.6).

Экспериментальные диаграммы деформирования при циклическом воздействии на компактную костную ткань (рис.7) подобны расчетным кривым в модели Максвелла при параметрах модели $\frac{E}{\eta} = 0{,}1$ (рис.3). В интервале исследованных значений напряжения и деформации данные с достаточной точностью аппроксимируются зависимостью линейной вязкоупругости (рис.7).

Амплитуда напряжений и амплитуда деформаций в пульсационном цикле связаны практически линейной зависимостью (рис.8), что подтверждают линия тренда и коэффициент корреляции, равный 0,99.

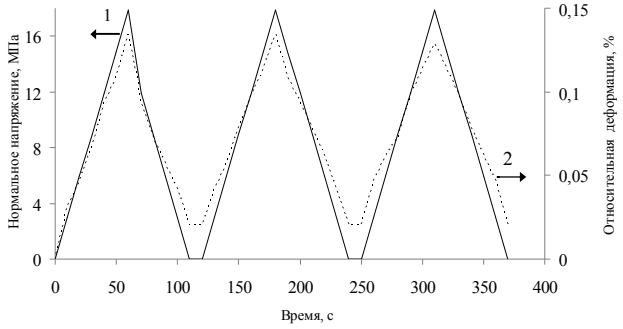


Рис 6. Экспериментальные графики изменения напряжения (кривая 1) и деформации (кривая 2) в пульсационном цикле нагружения компактной костной ткани.

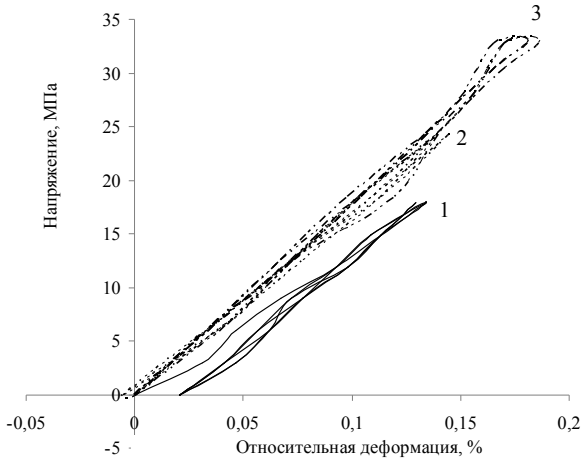


Рис 7. Экспериментальные кривые деформирования компактной костной ткани при частоте циклического деформирования 10^{-2} Гц для амплитуд нормального напряжения: 1 – 18 МПа, 2 – 24 МПа, 3 – 33 МПа.

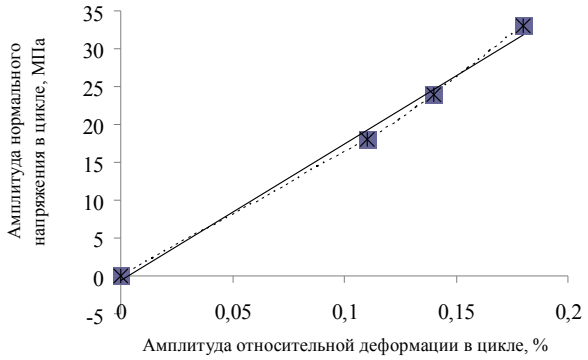


Рис. 8. Связь амплитуды нормального напряжения и амплитуды деформации компактной костной ткани в пульсационном цикле.

Из результатов проведенного эксперимента следует, что амплитуда напряжений и амплитуда деформаций в пульсационном цикле связаны практически линейной зависимостью (рис. 8, пунктирная линия), что подтверждает показанная на рисунке

линия тренда (рис. 8, сплошная линия) и коэффициент корреляции, равный 0,99.

Заключение

Численное моделирование механического поведения вязкоупругого элемента показывает, что, несмотря на простоту, модели Максвелла и Фойгта качественно описывают деформирование материала при циклическом нагружении: возможный неполный возврат деформации и одностороннее накопление деформации в направлении действующего напряжения; отставание деформации по фазе от напряжения; влияние взаимосвязи упругих и вязких свойств на кинетику деформации и форму диаграммы напряжений.

Литература

1. *Бегун П.И., Шукейло Ю.А.* Биомеханика. СПб.: Политехника, 2000. 463 с.
2. *Петров И.Б.* Математическое моделирование в медицине и биологии на основе моделей механики сплошных сред //Труды МФТИ, 2009.Т. 1. № 1. С. 5–16.
3. *Богданов Н.П., Демина М.Ю., Полугрудова Л.С.* Моделирование ползучести биологических тканей // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. Вып. 2(6). С.76–79.
4. *Кнетс И.В.* Механика биологических тканей // Механика полимеров. 1977. № 3. С.510–518.
5. *Dominique P. Pioletti.* Biomechanics in bone tissue engineering // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 13, No. 6, December 2010. P. 837–846.
6. *Giulia Franceschini.* The mechanics of human brain tissue. Trento, 2006. 130 p.
7. *Guanhui Fang, Baohua Ji, X. Sherry Liu & X. Edward Guo.* Quantification of trabecular bone microdamage using the virtual internal bond model and the individual trabeculae segmentation technique // Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 13. Issue 5. 2010. P. 605–615.
8. *Бранков Г.* Основы биомеханики. М.: Мир, 1981. 254 с.
9. *Регирер С.А., Штейн А.А.* Методы механики сплошной среды и применения к задачам роста и развития биологических тканей // Современные проблемы биомеханики. Рига, 1985. Вып. 2. С.5 – 37.
10. *Мелнис А.Э., Кнетс И.В.* Вязкоупругие свойства компактной костной ткани // Современные проблемы механики. Рига, 1985. Вып.2. С. 38–69.
11. *Проблемы прочности* в биомеханике / Под ред. И.Ф.Образцова. М.: Высшая школа, 1988. 311 с.
12. *Дедух Н.В., Панков Е.Я.* Скелетные ткани // Рук-во по гистологии. СПб.: СпецЛит, 2001. Т.1. С.284 – 327.
13. *Цыган Е.Н., Деев Р.В.* Морфофункциональные основы остеопороза. СПб.: ВМедА, 2005. 116 с.
14. *Беляев Н.М.* Сопротивление материалов. М.: Наука, 1976. 608 с.

Статья поступила в редакцию 17.09.2012.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 821.161.1'01:271.2

УСТЬ-ЦИЛЕМСКИЕ СПИСКИ НОВЕЛЛЫ «ВЕЛИКОГО ЗЕРЦАЛА» О ПОКАЯНИИ ТРЕХ РАЗБОЙНИКОВ

Н.А. КАРМАНОВА

Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар
nad.karm@rambler.ru

В статье исследуются два печорских списка новеллы «Великого Зерцала» о раскаявшихся разбойниках, входящей в состав сборников «Зерцала» первого перевода. Наиболее интересен список новеллы, переписанный известным печорским книжником XIX в. И.С. Мяндиным. В мяндинской обработке новеллы проявились характерные для редакторской манеры крестьянского книжника черты: стремление к сокращению и упрощению исходного текста, тенденция к прояснению повествования. В списке отразилась старообрядческая идеология книжника – в его версии сюжета усиливается эсхатологическая направленность новеллы. Проявился интерес редактора-крестьянина к теме труда, которую он вводит с помощью разных приемов в текст новеллы.

Ключевые слова: **печорская книжность, старообрядчество, «Великое Зерцало»**

N.A. KARMANOVA. UST-TSILMA LISTS OF THE «VELIKOE ZERTSALO» SHORT STORY ABOUT THE THREE ROBBERS REPENTANCE

The paper deals with two Pechora lists of the «Velikoe Zertsalo» short story about the repented robbers, which enters into the «Zertsalo» collection of the first translation. The list of the short story of the Pechora scribe of the XIX century I.S. Myandin (1823-1894) is especially interesting. In Myandin's variant features typical for editing manner of the peasant scribe are revealed: tendency to shortening and simplification of the initial text. In the given list the author's old believers ideology is reflected – intensification of the eschatological tendency of the short story. The peasant editor's interest to labour theme is shown.

Key words: **Pechora book-learning, old believers, «Velikoe Zertsalo»**

«Великое Зерцало» (далее: ВЗ) – сборник нравоучительных рассказов и легенд, дважды переведенный с польского языка в последней четверти XVII в. Новеллы ВЗ пользовались большой популярностью на Руси и широко разошлись в списках. Как отмечают исследователи, важное место переводной сборник занимал в круге чтения старообрядцев [1]. На широкую известность новелл ВЗ среди печорских старообрядцев впервые обратил внимание В.И. Малышев – первооткрыватель печорской книжности. Он писал о том, что данный сборник в прошлом имел очень широкое хождение среди жителей Низовой Печоры наряду с другими переводными сборниками – Звездой Пресветлой, Скитским патериком, Измарагдом, Старчеством, Прологом, Златоструем и т.п. [2, с.34–35]. К настоящему времени в результате предпринятого нами специального исследования печорских рукописей, содержащих рассказы из ВЗ, выявлено большое количество печорских списков новелл ВЗ (130), сохранился печорский сборник ВЗ, содержащий 500 новелл первого и второго переводов, – рукопись №144[1] из Усть-Цилемского рукописного собрания (далее: УЦ) Института русской литературы (Пушкинский Дом) РАН.

Особый интерес среди печорских списков новелл ВЗ представляют списки, переписанные усть-цилемским книжником И.С. Мяндиным (1823–1894)[2], известным севернорусским исследователям не только в качестве хранителя и переписчика древнерусских произведений, но и редактора, а также писателя, создававшего на основе старинных сочинений оригинальные тексты. Нами выявлено 19 новелл ВЗ (27 списков)[3], переписанных и в разной сте-

---

[1] Краткое описание рукописи см. [2, с. 158–159], [3, с. 171–172], публикацию полистного описания сборника см. [4].

[2] Биографические сведения о И.С. Мяндине см. [5], обзор исследований о И.С. Мяндине см. [6].

[3] Характеристику тематики мяндинских списков новелл ВЗ, принципов редакторской работы с материалом ВЗ, присущих И.С. Мяндину, опубликованные 15 мяндинских списков новелл см. [7].

пени отредактированных Мяндиным. Как показало исследование мяндинских списков новелл ВЗ, основной целью усть-цилемского редактора являлось приближение текста средневекового европейского памятника к современному читателю-крестьянину, прояснение смысла поучительных рассказов для его земляков-старообрядцев. В данной публикации на материале новонайденных и еще не введенных в научный оборот печорских списков новеллы ВЗ о раскаявшихся разбойниках, один из которых переписан Мяндиным, покажем характерные приемы редакторской работы усть-цилемского книжника над рассказами переводного сборника.

Новелла о разбойниках читается в сборниках ВЗ первого перевода под названием «Благоприятствомъ своим един святый в покаяние триех разбойников приведе, иже другаго брата оскорблѣнием раздражишася, и един же от нихъ небесную славу узѣрвъ, болѣзне[й] забы своих»[4] (прилог 5 главы «Благоприятство»). В печорских рукописях сохранилось два списка данной новеллы: один из них, более ранний по времени создания[5], находится в печорском сборнике ВЗ УЦ-144 (лл. 98–100 об.), второй – переписан Мяндиным и читается в известном исследователям мяндинском сборнике УЦ-72[6] (лл. 58 об.-63). Рассмотрим, как соотносятся печорские списки со списком первого перевода.

По содержанию новеллу о разбойниках можно отнести к религиозно-нравственным легендам, где действующими лицами являются представители христианского «Олимпа» – Бог (Троица), Христос, Богородица, ангелы, апостолы, святые (по классификации О.А. Державиной) [3, с. 64][7]. Новелла передает историю покаяния трех великих грешников – «славных» по всей стране разбойников. Тематически новеллу можно разделить на две части. В первой – реализуется тема покаяния грешников: здесь описываются обстоятельства, приведшие разбойников к духовному перерождению. На материале рассказа, мотивирующего раскаяние героев-разбойников в грехах, в новелле поднимается проблема христианского отношения к грешникам. Для удобства дальнейшего анализа обозначим основные моменты фабулы. Разбойники приходят в монастырь и просят еды, но наместник игумена с гневом прогоняет их. Игумен, узнав о поступке наместника, приказывает догнать разбойников, просить у них прощения и накормить их. Разбойники, растроганные отношением к ним монахов, возвращаются в монастырь, каются в грехах и принимают монашеский постриг. Таким образом, в рассказе приводятся два примера разного отношения к героям-грешникам и описаны последствия этих взаимодействий героев: ярко негативное отношение к персонажам-маргиналам наместника игумена вызывает гнев и раздражение героев, а «благоприятное» отношение игумена приводит персонажей-грешников к покаянию и решению посвятить свою жизнь Богу. Решение поставленной в новелле проблемы подсказывается самим развитием сюжета: истинно христианское отношение к грешникам приводит их к духовному перерождению. Первая тематическая часть завершается сообщением о смерти двух разбойников. Во второй части новеллы в локальном сюжете о видении третьего разбойника раскрывается тема райского блаженства праведников. Здесь герой, следуя за ангелом, преодолевает несколько мучительных испытаний: падение в пропасть с высокой горы, переход по рву с острыми камнями, пребывание в адской печи, переход по мосту над «смрадной» рекой с чудовищами. Пройдя «мытарства», монах попадает в райский город, где встречает умершего к тому времени игумена, который показывает ему райскую жизнь. Видение героя завершается предсказанием игумена о его скорой смерти и обещанием святого забрать душу монаха в рай. В концовке герой, вернувшись к обычной жизни, рассказывает монастырской братии о своем видении и по предсказанию игумена умирает через семь дней.

Главные темы новеллы – покаяние грешников и райское блаженство – традиционно актуальны для старообрядцев, особенно ценивших произведения эсхатологической направленности. В частности, Мяндин часто обращался к средневековым сюжетам о покаянии грешников (см. его обработки повестей о владимирском священнике Тимофее, об убогом человеке, како его диавол произведе царем, о гордом царе Аггее, новеллы ВЗ о двух калугерах). Интересовала печорского книжника и тема рая. Так, в сборнике УЦ-72 новелла о разбойниках переписана рядом с другой новеллой ВЗ, посвященной теме райского блаженства праведников – «О славе небесной»[8]. Кроме того, существует мяндинский список «Хождения Агапия в рай»[9].

---

[4] При исследовании мы использовали сборник ВЗ первого перевода Российской национальной библиотеки (РНБ), собр. Погод. №1382 (характеристику рукописи см. [3, с. 156]). Новелла о разбойниках читается в этом сборнике на листах 274 об.-281 об. (далее: список П).

[5] По записи писца рукопись УЦ-144 датируется 1817 г. (см. [2, с. 158]). Мяндинский сборник УЦ-72 был создан позже – XIX в. (последняя треть) (см. [2, с. 122]).

[6] Сборная рукопись УЦ-72 XIX в. (последняя треть), в 8-ку, 68 л., печорский полуустав. Кроме новеллы о разбойниках сборник содержит еще семь новелл, источником которых является ВЗ, а также «Сказание о очах человеческих», «Газету ада», старообрядческий стих о табаке, краткую проложную редакцию жития Антония римлянина, повесть о благочестивом юноше и старце пустыннике (о почитании матери), выписку «О антихристе», «Повесть о судии праведном» и др. (см. [2, с. 122-123]). Принадлежность новеллы к ВЗ была установлена нами, в описании сборника УЦ-72 В.И. Малышев никак не прокомментировал эту новеллу.

[7] О.А. Державина, автор новейшего исследования о ВЗ, предлагает классификацию, в основу которой положено содержание новелл и действующие в них персонажи. Исследовательница распределяет новеллы переводного сборника на пять групп: религиозно-нравственные легенды, рассказы легендарного характера о людях, сатирические рассказы, бытовые повести, сказочно-фантастические повести (см. [3, с. 64-65]).

[8] Подробнее анализ мяндинских списков новеллы «Славы небесныя ведаяй двести лет мняше быти единъ час» см. [8].

[9] Список читается в сборнике №46 (электронная копия) из Усть-Цилемского собрания рукописей научной библиотеки Сыктывкарского государственного университета (лл. 335–341).

Фабула новеллы в печорских списках в целом сохраняется. Однако эти списки не одинаковы и с разной степенью полноты отражают текст первого перевода. По сюжету и тексту наиболее близок к списку П список из сборника УЦ-144. Расхождения между списками П и УЦ-144 лежат в основном на уровне текста: так, в печорском списке пропущены или, наоборот, добавлены слова и словосочетания, не несущие значительной смысловой нагрузки, наблюдаются синонимические замены, используются иные орфографические, грамматические варианты слов, употребляются другие лексемы, встречаются перестановки слов и словосочетаний, изменены некоторые синтаксические конструкции. Список УЦ-144 мог послужить источником для списка Мяндина. Изучение рукописи УЦ-144 показало, что этот сборник был хорошо известен писцу: книга им отреставрирована, о чем свидетельствует характерный мяндинский почерк, которым дописаны строки текста на подклеенных листах рукописи.

Второй печорский список новеллы ВЗ, составленный Мяндиным, существенно отличается от списка первого перевода. Изменения в мяндинском списке затронули сюжет и идейно-тематическое содержание новеллы. Возможно, что автором этих изменений был не Мяндин, который мог заимствовать их из неизвестного нам списка-источника, однако характер проведенной редакционной работы сходен с творческой манерой печорца, описанной исследователями, и указывает на вмешательство в текст новеллы именно Мяндина.

В мяндинском варианте новеллы наблюдается активная редакторская работа по сокращению исходного текста. Заметна тенденция к сокращению целых сюжетных эпизодов, характерная для ряда других мяндинских переделок (например, для Повести о царевне Персике, Повести об Акире Премудром, Повести о царице и львице) [6, с. 850-851]. Так, редактор исключает из экспозиционной части новеллы эпизод, рассказывающий об обстоятельствах появления в монастыре нового монаха, будущего наместника игумена, далее по сюжету прогнавшего просивших милостыню разбойников. В мяндинской версии сюжета вместо рассказа о встрече святого с «благородным» юношей, ставшим впоследствии образцовым монахом и наместником игумена, появляются новые детали, конкретизирующие повествование: указывается место действия, характеризуются игумен и братия монастыря (см.: «Монастырь нѣкий бѣ в Пелестинѣ, в немъ же игуменъ разсуднаго жития живяше со множаишею братиею» (л. 58 об.)). Очевидно, история прихода в монастырь и духовного становления там будущего наместника игумена показалась Мяндину лишней, отвлекающей читателя от основного сюжета о покаянии разбойников, и он опустил ее. Кроме того, представленный в экспозиции образ идеального монаха мог противоречить в сознании печорского книжника дальнейшему поведению наместника по отношению к разбойникам: наместник «свирѣпо и гнѣвно» прогоняет просивших еду разбойников. Возможно, еще и по этой причине рассказ о появлении в монастыре будущего наместника игумена был исключен Мяндиным из экспозиции новеллы.

Значительному сокращению в мяндинской версии новеллы подвергся локальный сюжет о посещении разбойником загробного мира. Во-первых, сокращается количество испытаний, которые проходит герой перед тем, как попасть в рай. Если в списке первого перевода разбойник переносит падение в пропасть с высокой горы, проходит «босыма ногама» по рву с острыми камнями, находится в «огненной» печи, куда героя заталкивают «дияволи», идет по «тесному» мосту над «смрадной» рекой с чудовищами, то в списке УЦ-72 герой-визионер подвергается только одному «мытарству» – переходу по мосту, три предыдущих испытания опускаются редактором. Во-вторых, в мяндинском списке существенно упрощен рассказ о посещении разбойником райского города. В УЦ-72 сохраняется смысл рассказа – знакомство героя с раем, но изменяется его художественное оформление. В списке П герой взлетает на чудесных крыльях вслед за ангелом к «предивному дому», где встречает сторожа, «придверника», который после беседы с монахом приводит игумена, узнавшего в «госте» бывшего разбойника и показавшего ему рай. В мяндинской версии трактовка эпизода о посещении рая изменяется: взлетев на новых чудесных крыльях, герой видит «градъ великий» и встречает знакомого ему по «мытарству» с мостом юношу-ангела, который и показывает герою рай. В связи с изменением в УЦ-72 образа «провожатого» по раю (вместо игумена – ангел) сюжет у Мяндина выглядит более проработанным: в списке П остается непонятным, куда исчез, скрывшись в небесном «жилище», сопровождавший героя по испытаниям ангел. Отметим, что в УЦ-72 переписчик не называет ангелом явившегося герою «свѣтлообразного юношу»: читатель должен догадаться об этом в процессе развития сюжета. В этой особенности эпизода у Мяндина нам видится стремление редактора самим ходом повествования заинтересовать читателя, что также указывает на большую проработанность сюжета в списке УЦ-72 по сравнению со списком П, где не умалчивается о том, кем был проводник героя. Произведенная редактором замена (игумена – ангелом) повлекла за собой и сокращение мотивов, связанных с образом игумена, – описание встречи героя с «придверником», приведшим игумена, описаний одежд святого и пришедших с ним праведников; изменяется мотивировка выхода героя из состояния видения: если в списке П мотивом к «пробуждению» героя становится просьба игумена возвратиться к земной жизни на семь дней, то в списке УЦ-72 монах приходит в себя, испугавшись адских мук грешников, которые показал ему ангел. В результате сокращения Мяндиным мотива небесного «жилища», куда скрылся улетевший от героя ангел (в УЦ-72 ангел просто исчезает), здесь проясняется образ рая. В списке П рай сначала описывается как «предивный» «дом», в котором исчез ангел и который охраняется сторожем. Далее в сюжете упоми-

нается о городе, «стенами» и внутренним убранством которого восхищается монах, ожидая возвращения «придверника», обещавшего привести игумена. Таким образом, в списке П остается неясным: рай – это дом или город? В мяндинском списке за счет сокращения мотива «предивного дома» образ рая проясняется – это «великий град». В результате проведенных изменений в мяндинском списке эпизод, повествующий о посещении героем рая, упрощается, проясняется, выглядит более сюжетно проработанным. Следует отметить, что в связи с переделкой эпизода о посещении рая (замены игумена ангелом) изменяется концовка новеллы: исключаются мотивы предсказания монахом своей скорой смерти (по пророчеству игумена), болезни героя и появления игумена с праведниками для того, чтобы забрать душу умершего монаха в рай.

Сокращение отдельных эпизодов в мяндинском тексте упростило фабульную схему новеллы, способствовало «выпрямлению» ее композиции[10], повлияло на сюжет рассказа в целом: динамика развития сюжетного действия заметно усилилась.

Следующий тип сокращений, наблюдаемых в списке УЦ-72, – устранение сюжетных мотивов, очевидно, обоснованное стремлением редактора освободить повествование от лишних, на его взгляд, подробностей. Так, например, Мяндин сокращает ряд мотивов, объединенных образом святого игумена, сохраняя только «связанные» мотивы, необходимые для дальнейшего развития действия: сообщение наместника игумену об изгнанных им разбойниках, требование игумена разыскать разбойников, принятие игуменом покаяния героев. Все остальные моменты сюжета, в которых тем или иным образом «участвует» святой, в списке УЦ-72 опущены. Так, например, редактор сократил упоминание о том, что во время ссоры наместника с разбойниками игумена не было в монастыре, он вернулся «в той же день» «с пути» «со братиею» и принес хлеба и вина. Исключены в мяндинском списке также следующие мотивы: молитва игумена о покаянии разбойников, его поучения, сообщение о смерти святого.

Убыстрению сюжетного действия и упрощению повествования способствует сокращение речей героев новеллы, что является характерным для редакторской манеры печорского книжника [6, с. 850]. Некоторые рассуждения персонажей пропускаются целиком, как, например, диалог ангела и разбойника, в котором ангел приказывает герою идти по «тесному» мосту, а тот отказывается, так как боится упасть в «жестокую» реку, кишащую змеями и «гадами». В другом случае редактор заменяет покаянную речь разбойников, обращенную к игумену монастыря, кратким авторским комментарием «и покаяшася игумену». В случае сохранения речи героев редактор старается максимально конкретизировать ее, сокращая пространные риторические пассажи, как видно на примере речи игумена, произнесенной в ответ на сообщение наместника об изгнании просивших милостыню разбойников. Здесь Мяндин сокращает инвективную и поучительную часть монолога, сохраняя только конкретный приказ игумена найти разбойников, накормить их и помириться.

Наряду с сокращением источника книжник вносит ряд дополнений, затрагивающих разные уровни новеллы: сюжет, композицию, идейно-тематическое наполнение рассказа. С первых строк списка УЦ-72 проявляется свойственная ряду других мяндинских переделок конкретизирующая тенденция [6, с. 852]: сообщается место действия (в списке П место и время действия абстрактны). В мяндинском списке заметно стремление к мотивированности изложения, также характерное для творческой манеры печорского книжника [6, с. 852–853]. Так, появление разбойников в монастыре с просьбой о еде объясняется их голодом, причем мотивировка действий персонажей выражена не только авторским комментарием, но и прямой речью героев.

Установка переписчика на прояснение повествования проявляется в «дописывании» некоторых сюжетных моментов, оставшихся «за кадром» в исходном тексте. Так, например, в списке П отсутствует мотив примирения наместника с разбойниками: за речью игумена, требующего разыскать разбойников, следует упоминание о его молитве за героев, далее сразу приводится обсуждение разбойниками появления наместника, принесшего им еду. В мяндинском списке этот эпизод проясняется: появляется сообщение о том, что наместник находит разбойников, просит у них прощения и предлагает им еду.

В списке УЦ-72 наблюдается еще один прием, присущий творческой манере печорского автора – расширение концовки новеллы [6, с. 854]. Если в списке П повествование завершается сообщением об упокоении души монаха-визионера после смерти в раю, то в списке Мяндина сообщение о благочестивой кончине бывшего разбойника дополнено указанием на загробную участь двух других раскаявшихся разбойников, которые, по версии Мяндина, «угодиша Богу и преидоша в райская села». Очевидно, целью расширения финала новеллы в УЦ-72 являлось стремление редактора довести сюжет о покаянии грешников до логического конца.

С помощью дополнений Мяндин расширяет тематику новеллы. Так, в свою версию рассказа о покаянии разбойников он вводит одну из любимых тем – тему труда[11]. Рассмотрим, с помощью каких

[10] Подобное стремление печорского редактора к «выпрямлению» композиции исходного текста неоднократно отмечалось исследователями мяндинских переработок (например, на материале повестей о царице и львице, о Басарге, о царевне Персике, см. [6, с. 856-857]).

[11] Интерес Мяндина к теме труда был отмечен еще В.И. Малышевым, открывшим изучение творчества печорского книжника (см. [9]). В некоторых других переработках Мяндина, так же, как в новелле о разбойниках, появляются новые мотивы, связанные с темой труда (например, дополнение Мяндиным эпизода работы царя Аггея у крестьянина) (см. [10]).

приемов автор «внедряет» новую тему. Во-первых, в списке УЦ-72 появляются авторские указания на конкретную физическую работу, которую выполняют герои; в списке П подобные мотивы отсутствуют. Первое дополнение такого рода появляется в экспозиционной части повествования – это упоминание о том, что в момент появления разбойников монахи заготавливают в лесу дрова, см.: «Братия же в той день дрова сѣчаху в лѣсѣ» (л. 58 об.). Далее в эпизоде, описывающем покаяние разбойников, редактор вновь актуализирует тему труда: в его версии разбойники остаются жить в монастыре и «работати Богу», а не становятся монахами, как в списке П[12]. Следующее авторское дополнение, указывающее на совершение персонажами какой-либо физической работы, появляется в эпизоде, описывающем жизнь в монастыре одного из разбойников. В списке Мяндина сообщается, что разбойник был принят игуменом «служити в поварни». В списке П этот персонаж изображен по-другому: это монах-аскет, совершающий подвиги воздержания. В списке УЦ-72 описание аскетических подвигов героя сокращено: вместо аскета-подвижника у Мяндина представлен скромный служитель монастырской «поварни». Печорский редактор, заменяя аскетические подвиги трудом на кухне, сюжетно приравнивает эти виды служения Богу: мяндинский герой, как и монах-аскет в списке П, также удостаивается видения о рае. Тем самым редактор показывает важное место труда в деле спасения человеческой души: именно труд, физическая работа, по мнению крестьянского книжника, помогут грешнику вернуться к нормальному образу жизни, искупить совершенные грехи и стяжать духовное спасение. С другой стороны, введение нового мотива – работа в «поварне» – могло также демонстрировать знание печорским книжником монастырского уклада: известно, что работа в «поварне» была физическим и нравственным испытанием, которому часто подвергали именно новопостриженных монахов [12].

Во-вторых, мотивы работы, труда появляются в речах персонажей. Так, в некоторые монологи героев – в обличительную речь наместника, обращенную к разбойникам, и покаянную речь одного из разбойников – редактор вносит тему труда, которая выражается в антитезе работающих «Богу» монахов и «губителей злих» – разбойников. Рассмотрим более подробно данные примеры. В списке П первая речь – инвектива наместника – строится на противопоставлении оппонентов по характеру их отношения к Богу: монахи – «рабы Божии», разбойники – «злодеи и мучители безбожнии». В списке УЦ-72 обе стороны противопоставляются не по их отношению к Богу, а по их отношению к труду. В результате этой замены монахи у Мяндина предстают как созидатели, «работники», а разбойники как разрушители, «губители злии». Изменение смысла этого противопоставления героев сопровождается у Мяндина добавлением новых характеристик, также связанных с темой труда, например, монахи характеризуются как постники - труженики в духовном плане. Во втором примере – покаянной речи одного из разбойников – наблюдается тот же самый прием: изменяется основа антитезы, структурирующей высказывание, – вместо отношения героев к Богу – их отношение к труду. Таким образом, с помощью различных приемов – прямого авторского комментария и введения мотивов труда в речи персонажей – редактор обогащает идейно-тематическое содержание средневековой новеллы новой темой. Темы покаяния и труда оказались тесно связаны в сознании крестьянского книжника: труд является одним из плодов покаяния, он дает возможность героям новеллы вернуться к нормальному образу жизни, искупить совершенные грехи и достигнуть рая.

Дополняя список П, Мяндин усиливает эсхатологическую направленность новеллы, что может объясняться старообрядческой идеологией печорского редактора. Так, в мяндинском списке наряду с описанием рая появляется мотив посещения героем-визионером ада, отсутствующий в списке П. Интересно, что похожую вставку Мяндин делает и в другой своей переработке на тему рая – «Хождении Агапия в рай». В мяндинском списке «Хождения» в эпизоде, когда Господь рассказывает Агапию, как добраться до рая, появляется новый элемент, отсутствующий в других списках «Хождения», – описание ада.

Отметим еще одно интересное дополнение, наблюдаемое в списке УЦ-72: устный рассказ монаха о видении здесь сопровождается письменной фиксацией произошедших с героем событий – редактор вводит мотив записи видения в монастырский летописец. Вероятно, по мысли книжника, упоминание о документальной закрепленности видения повышало в глазах читателя достоверность рассказанной истории. Источником введенного мотива могло стать упомянутое выше «Хождение Агапия в рай»: Агапий тоже записывает свое путешествие в рай и передает рукопись в Иерусалим, патриарху, чтобы тот раздал ее верующим людям в назидание.

Подведем итоги наших наблюдений. Из двух сохранившихся печорских списков новеллы ВЗ о разбойниках к тексту первого перевода ближе оказался список из сборника УЦ-144. Различия списка П и печорского списка УЦ-144 носят текстуальный характер и не влияют на идейно-тематическую концепцию новеллы. Второй печорский список УЦ-72, составленный Мяндиным, несет следы активного вмешательства в текст возможного источника –

[12] Интересно, что в схожих сюжетах о покаянии разбойников из Киево-Печерского патерика эти персонажи после раскаяния в грехах также остаются работать в монастыре, а не принимают сразу монашеский постриг: например, в рассказе о святом Григории Чудотворце воры, пытавшиеся украсть у блаженного книги, после покаяния «стали работать на братию»; воры, укравшие из сада овощи и фрукты, после покаяния остались жить в монастыре, «занимаясь огородом»; воры, пытавшиеся обманом получить милостыню, после покаяния были «осуждены» Григорием на «работу Печерскому монастырю» (см. [11]). Таким образом, подобная трактовка сюжета новеллы ВЗ у Мяндина указывает на то, что печорскому книжнику была известна патериковая традиция.

списка УЦ-144. В мяндинской версии повествование становится значительно короче, сюжет – динамичнее в своем развитии, в некоторых случаях он выглядит более проработанным по сравнению с сюжетом в списке П. Идейно-тематическое наполнение новеллы расширяется – вводится тема труда, усиливается эсхатологическая направленность повествования. Изложение становится более ясным и мотивированным. Характер внесенных изменений соответствует редакторской манере печорского книжника, описанной предшествующими исследователями мяндинских переработок, поэтому новеллу о разбойниках можно причислить к кругу произведений, привлекших внимание известного печорского книжника и переработанных им.

Работа выполнена в рамках Гос.задания Министерства образования и науки РФ, НИР «Духовная культура европейского Севера: системное описание и исследование источников по традициями Печоры», рег. №6.2281.2011.

Литература

1. *Владимиров П.В.* «Великое Зерцало» (Из истории русской переводной литературы XVII в.). М.: Издательство Московского общества истории и древностей российских, 1884. С. VIII–IX.
2. *Малышев В.И.* Усть-Цилемские рукописные сборники XVI–XX вв. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1960. 213 с.
3. *Державина О.А.* «Великое Зерцало» и его судьба на русской почве. М.: Наука, 1965. 439 с.
4. *Карманова Н.А.* Печорские списки новелл «Великого Зерцала» // Древнерусское духовное наследие в Сибири: научное изучение памятников традиционной русской книжности на востоке России / Сост. и отв. ред. Е.И. Дергачева-Скоп и В.Н. Алексеев. Новосибирск, 2008. Т. 1. С. 327–346.
5. *Малышев В.И.* Усть-цилемский книгописец и писатель XIX века И.С. Мяндин // Древнерусская книжность: по материалам Пушкинского Дома. Л., 1985. С. 323–337.
6. *Волкова Т.Ф.* Иван Степанович Мяндин – редактор древнерусских повестей (Некоторые итоги изучения литературного наследия печорского книжника) // ТОДРЛ. СПб., 2006. Т. 57. С. 839–890.
7. *Карманова Н.А.* Печорский крестьянин-старообрядец И.С. Мяндин – переписчик и редактор новелл «Великого Зерцала» // Старообрядчество: история, культура, современность. М., 2006. Вып. 11. С. 90–110.
8. *Карманова Н.А.* Новелла «Великого Зерцала» «О славе небесней» в обработке печорского крестьянина-старообрядца И.С. Мяндина // Старообрядчество: история, культура, современность. М., 2005. Т. 2. С. 190–200.
9. *Малышев В.И.* Усть-Цилемская обработка «Повести о царевне Персике» // Исследования и материалы по древнерусской литературе. М., 1961. С. 330.
10. *Ромодановская Е.К.* Повести о гордом царе в рукописной традиции XVII–XIX вв. Новосибирск: Наука, 1985. С. 219–220.
11. *Киево-Печерский патерик*//БЛДР. Т.4. XII век. СПб., 1997. С. 296–489.
12. *Водолазкин Е.Г.* Монастырский быт в агиографическом изображении («поварня» древнерусских житий) // ТОДРЛ. СПб., 1993. Т. 48. С. 230.

Статья поступила в редакцию 12.03.2012.

УДК 903.42

ПОСЕЛЕНИЕ ЭПОХИ РАННЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ ВЭРЪЮ В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕЙ ВЫЧЕГДЫ

А.Л. БЕЛИЦКАЯ

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
belitskaia522@yandex.ru

В научный оборот вводятся материалы из раскопок нового памятника эпохи раннего средневековья в бассейне средней Вычегды – поселение Вэръю. Анализ глиняной посуды позволяет его отнести к ванвиздинской археологической культуре. На основании аналогий вещевого комплекса памятник датируется в пределах VI–VII вв. н.э. Изучение материалов поселения Вэръю расширяет представления об эпохе раннего средневековья в Вычегодском бассейне.

Ключевые слова: **раннее средневековье, ванвиздинская археологическая культура, бассейн р. Вычегда, локальные отличия**

A.L. BELITSKAYA . SETTLEMENT VERYU OF THE EARLY MIDDLE AGES IN THE VYCHEGDA RIVER BASIN

Materials from excavations of a new site of the Early Middle Ages in the middle Vychegda basin – settlement Veryu – are introduced in the scientific turnover. The pottery analysis allows refer it to Vanvizdino archaeological culture. On the basis of analogies of the tool assemblage the site is dated back to within VI-VII centuries A.D. The study of materials of Veryu settlement expands our views on the epoch of the Early Middle Ages in the Vychegda basin.

Key words: **Early Middle Ages, Vanvizdino archaeological culture, Vychegda river basin, local differences**

Эпоха раннего средневековья в бассейне р. Вычегда представлена памятниками ванвиздинской культуры: поселениями и могильниками. В настоящее время известно более 40 памятников. Их изучение началось 1920-е гг. и продолжается в настоящее время. Данная статья посвящена вводу в научный оборот материалов поселения Вэръю*, открытого в 2004 г. Предварительные материалы раскопок были опубликованы А.Л. Белицкой [1] и И.О. Васкулом [2].

Поселение Вэръю располагается на правом берегу р. Локчим, левом притоке р. Вычегда, в 3 км выше по течению от д. Мордино Корткеросского района Республики Коми (рис. 1). В ходе раскопочных работ была вскрыта площадь в 256 м^2. Подавляющее большинство находок располагалось полосой, ориентированной по линии СЗ-ЮВ и концентрировалось близ двух очагов, которые сильно разрушены корнями деревьев, имеют неправильную в плане и линзовидную в сечении форму. Очаг №1 имел размеры 133х56-68 см, в нём найдены фрагменты керамики, обломок ножки тигля, стеклянная бусина, бронзовые фигурка лошадки и пронизка. Размеры очага №2 – 132-121 см, в нём обнаружены фрагменты керамики [3, с. 8–10]. Вещевой инвентарь поселения Вэръю представлен изделиями из глины, камня, металла, стекла. Из каменных изделий найдены концевой скребок, изготовленный на кремнёвом отщепе серо-розового цвета, отбойник из гальки, оселок.

Металлические предметы представлены двумя бронзовыми пронизками и обломками железного ножа. Плоская бронзовая пронизка-лошадка выполнена в технике двустороннего литья, изображение животного реалистичное, чётко прорисована морда, насечками показаны грива и хвост. С одной стороны на туловище нанесен циркульный орнамент. Размеры фигурки 4,2х2,5 см (рис. 2.1). Вторая пронизка представляет собой трубочку, свёрнутую из бронзовой пластины размерами 2,4х0,5 см (рис. 2.6). Железный нож, найденный на поселении Вэръю, плохой сохранности, фрагментирован. По самому крупному из обломков можно сказать, что он был небольшого размера, однолезвийный с прямой спинкой (рис. 2.3).

В состав вещевого инвентаря поселения входит мелкая бусина серого цвета из глухого стекла. Диаметр бусины – 0,5 см, с одной стороны от отверстия виден шов на месте соединения, из-за которого рядом с отверстием образовалась выемка

* В настоящее время коллекция хранится в Музее археологии Европейского Северо-Востока Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН (инвентарный №1510).

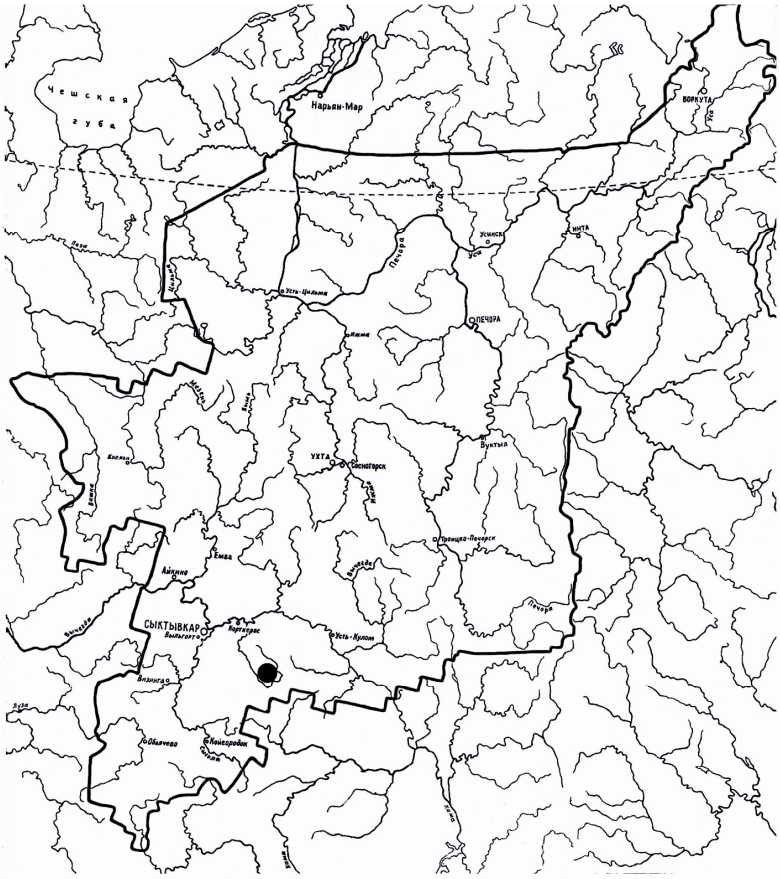


Рис. 1. Расположение поселения Вэръю.

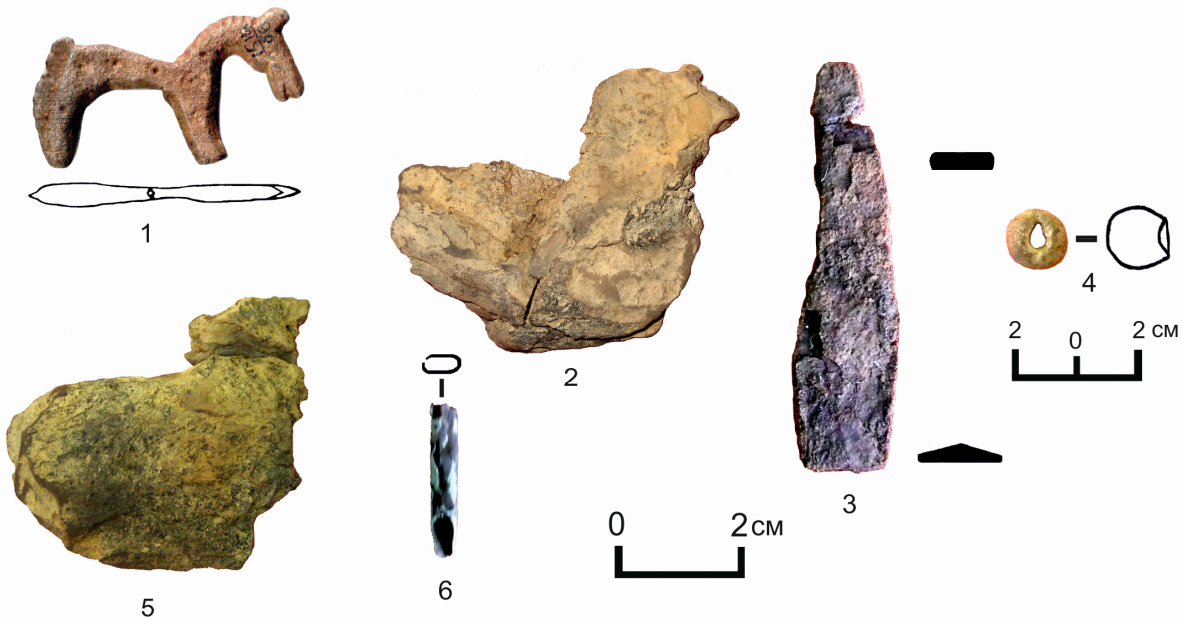


Рис. 2. Поселение Вэръю. Вещевой инвентарь.
1 – пронизка-лошадка; 2 – фигурка птицы (глухарь); 3 – нож; 4 – бусина; 5 – фигурка птицы (тетерка); 6 – пронизка-трубочка.
1, 6 – бронза; 2, 5 – глина; 3 – железо; 4 – стекло.

(рис. 2.4). Е.В. Голдина относит подобные изделия, найденные в Прикамье, к типу VIA5 – бочонкообразные одноцветные бусы без декора, изготовленные путём сгибания полосы [4, с. 39].

Большую часть находок на поселении Вэръю составили изделия из глины: фрагменты посуды, две фигурки птиц и обломок ножки бронзолитейного тигля. Фигурки птиц были найдены недалеко от очага №1, рядом с ними лежал обломок сосуда с орнаментом «птичья лапа», выполненным зубчатым штампом. Изображения птиц стилизованы, обозначены только голова и туловище без крыльев и лап. У одной из птиц намечены хвост и хохолок на голове (рис. 2.2). Предположительно, это изображения глухаря и тетёрки (рис. 2.2; 2.5).

Самую многочисленную категорию находок поселения составили фрагменты глиняной посуды. Общее количество орнаментированных фрагментов керамики в коллекции поселения Вэръю – 149 экз. не менее чем от 43 сосудов. Подавляющее большинство, за исключением двух фрагментов сосудов ананьинского времени, относится к ванвиздинской культуре.

Целые сосуды не восстанавливаются, однако 40 фрагментов имеют полностью сохранившуюся орнаментальную зону, покрывающую верхнюю часть тулова, – венчик, шейку, плечики. Они были отобраны для описания и анализа керамического комплекса поселения Вэръю. Статистическая обработка керамики была произведена по программе, предложенной В.Ф. Генингом [5].

Глиняное тесто большинства сосудов плотное, с примесью дресвы. На поверхности некоторых сосудов видны следы заглаживания. На трёх сосудах после обжига были просверлены сквозные отверстия под венчиком (рис. 3.7).

Шейка и плечики большинства сосудов выражены слабо, переход от шейки к плечикам едва намечен. По степени выраженности профилировки верхней части сосудов керамику можно разделить на две группы: группа А – профилированная и группа Б – слабо- или непрофилированная. К группе А относятся 16 экз. (40%) (рис. 3.10, 3.15), к группе Б – 24 экз. (60%) (рис. 3.4, 3.6). По профилировке устья сосуды делятся на закрытые (15 экз.) (рис. 3.1), открытые (7 экз.) (рис. 3.11) и прямые (18 экз.) (рис. 3.5, 3.14) (табл. 1).

Таблица 1

Поселение Вэръю. Соотношение профилировки устья сосудов и степени их открытости

Степень открытости венчика / Степень профилировки сосудов	Закрытый	Открытый	Прямой
Профилированные	4 (10%)	4 (10%)	8 (20%)
Слабо- или непрофилированные	11 (27,5%)	3 (7,5%)	10 (25%)

У профилированных сосудов высота шейки колеблется в пределах 0,7-3 см, плечика – 1-4 см. У шести экземпляров сосудов установлены диаметры венчиков и определён высотногорловинный показатель. Диаметр венчика колеблется в пределах 9-31 см. Сосуды низкогорлые или очень низкогорлые (0,09-1).

Венчики абсолютного большинства сосудов украшены наклонными рядами зубчатого штампа (рис. 3.1; 3.8). В единичных случаях венчики неорнаментированы или украшены пальцевыми вдавлениями (рис. 3.3), зубчатым штампом, расположенным «ёлочкой» (рис. 3.11), личинковидными вдавлениями или дуговидным гладким штампом (рис. 3.14) (табл. 2).

Таблица 2

Поселение Вэръю. Характеристика орнаментации венчиков сосудов

Вид орнамента	Количество	%
Наклонные ряды зубчатого штампа	29	76,3%
Неорнаментированный	2	5,3%
Дуговидный	2	5,3%
Пальцевые вдавления	1	2,6%
Ёлочка из отпечатков зубчатого штампа	3	7,9%
Личинковидный штамп	1	2,6%
Всего	38	100

Примечание. Венчики двух сосудов с сохранившейся орнаментальной зоной отсутствуют, поэтому для статистических подсчётов техники и элементов орнамента было использовано 38 экземпляров.

Орнамент на шейках и плечиках сосудов выполнен круглыми ямками и вдавлениями, шнуровыми оттисками, зубчатым штампом. Они образуют вертикальные, наклонные, горизонтальные, зигзагообразные отпечатки элементов узора, а также фигурные композиции из этих элементов, расположенных последовательно или перекрывающих друг друга. Шнуровые оттиски на всех сосудах представляют собой сдвоенную верёвочку с наклоном прядей как влево, так и вправо. Гребенчатый штамп нанесен специальным инструментом, число зубцов колеблется от трёх до десяти. На одном из сосудов вдавления парные клиновидные, расположены «ёлочкой» (рис. 3.3). Для нанесения ямок использовался округлый инструмент. В трёх случаях он был с крестовидным наконечником, ещё в двух – встречен циркульный орнамент.

Исходя из процентного распределения, можно сказать, что для посуды поселения Вэръю характерно расположение элементов орнамента горизонтальными рядами (52,7%), менее распространены вертикальные ряды (22,6%) и фестоны (13%) – треугольники, направленные вершиной вниз, образованные тремя или пятью круглыми вдавлениями (табл. 3). Последние два элемента обычно встречаются на одном сосуде один раз, в то время как горизонтальных рядов, выполненных в разной технике, может быть несколько.

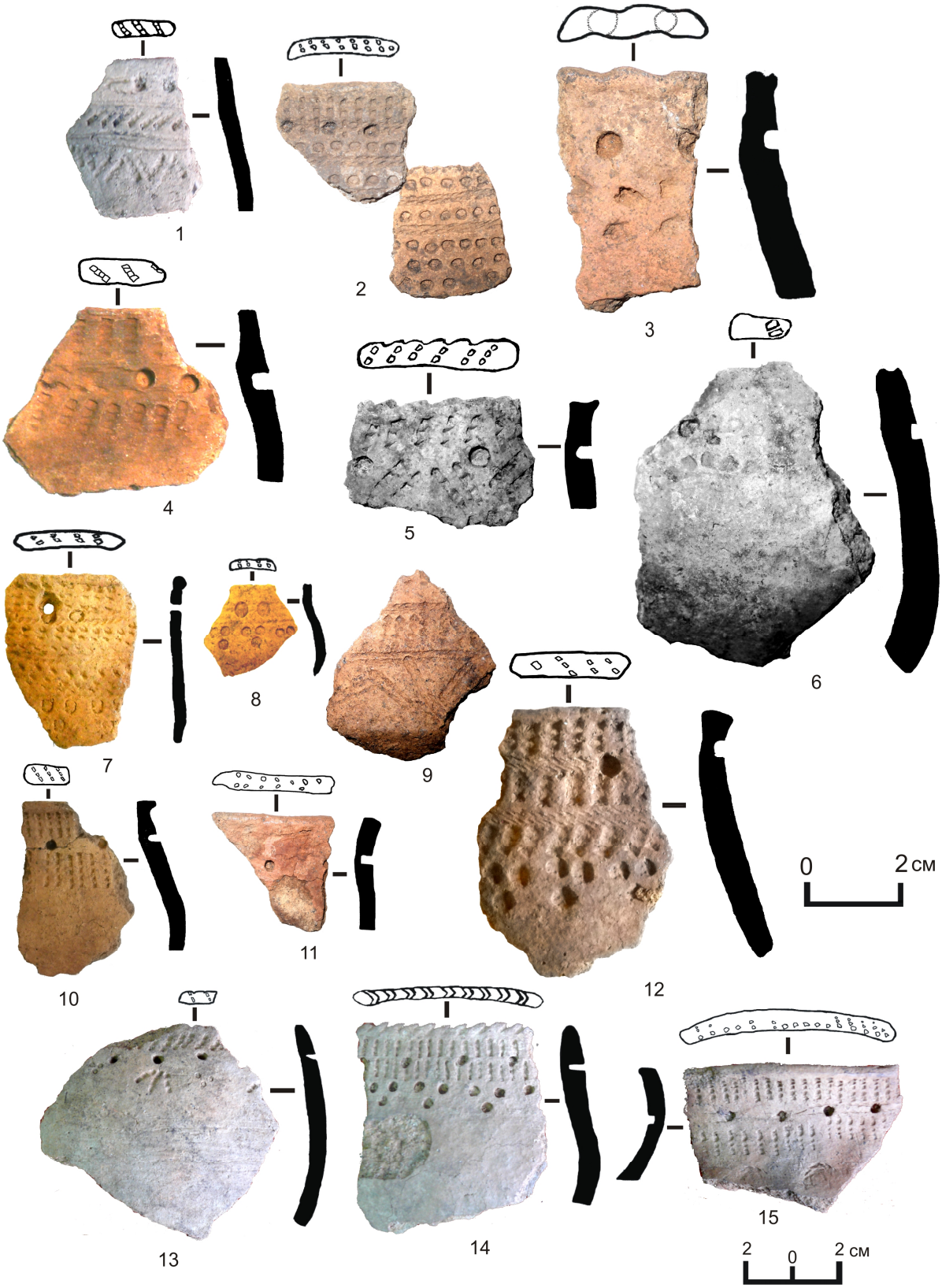


Рис. 3. Поселение Вэръю. Керамика.
1–9, 12 – масштаб 1 : 1; 10, 11, 13–15 – масштаб 1:2.

Таблица 3

Поселение Вэръю. Характеристика элементов орнамента на сосудах

Элементы	Вертикальный ряд	Горизонтальный ряд	Наклонный ряд	Зигзаг	Птичья лапа	Подковка	Фестон	Всего
Кол-во	33	77	9	6	1	1	19	146
%	22,6	52,7	6,2	4,1	0,7	0,7	13	100

При декорировании посуды поселения Вэръю использовалось небольшое количество техник, нанесённых стандартными штампами. Преобладает зубчатый штамп, занимающий более трети (37,5%) от общего количества способов нанесения элементов орнамента. Второе и третье места занимают ямки (21,5%) и шнуровые оттиски (20,1%). Встречается значительное количество неглубоких вдавлений (18,1%), в большинстве случаев – это круглые вдавления в нижней части орнаментальной зоны. На двух сосудах они заменяют ямки под венчиком (рис. 3.1) (табл. 4).

Таблица 4

Поселение Вэръю. Техника нанесения орнамента

Техника	Ямка	Зубчатый штамп	Верёвочка	Неглубокие вдавления	Кружки, нанесённые полым чеканом	Всего
Кол-во	31	54	29	26	4	144
%	21,5	37,5	20,1	18,1	2,8	100

Опираясь на данные табл. 5, можно сделать некоторые выводы о сочетаемости приёмов техники нанесения орнамента с распространёнными элементами. Как указывалось выше, предпочтение в декорировании отводилось зубчатому штампу, он использовался для нанесения практически всех видов узоров, за исключением фестонов и подковок. Чаще всего зубчатым штампом наносили вертикальные ряды, покрывающие шейку и плечики сосуда. Ямки образуют только горизонтальные ряды под венчиком сосуда, неглубокими круглыми вдавлениями обычно наносились фестоны, завершающие орнаментальный фриз. Также горизонтальные ряды на тулове сосуда, за исключением двух случаев, образуют шнуровые оттиски.

Для большинства сосудов, за исключением одного экземпляра, характерно сочетание нескольких техник и элементов нанесения орнамента. Ниже предлагается классификация керамического материала поселения Вэръю. Тип выделен по технике нанесения орнамента, подтип – по чередованию элементов узора от венчика к дну сосуда, варианты – по элементу, завершающему орнаментальную композицию. Общее количество классифицируемых единиц – 39. В классификацию не вошёл один сосуд, у которого не сохранились венчик и верхняя часть шейки, учитывавшийся при других статистических подсчётах. Это острорёберный сосуд, орнаментированный вертикальными рядами зубчатого штампа, чередующимися с горизонтальными верёвочными оттисками. Под венчиком предположительно нанесён ряд круглых ямок. Завершается орнаментальная зона зигзагом, выполненным оттисками сдвоенной верёвочки (рис. 3.9).

Таблица 5

Поселение Вэръю. Сочетание техники нанесения орнамента с элементами узора

Техника \ Элемент	Вертикальный ряд	Горизонтальный ряд	Наклонные ряды	Зигзаг	Ёлочка	Птичья лапа	Подковка	Фестон
Зубчатый штамп	33	7	7	5	1	1	-	-
Ямки	-	31	-	-	-	-	-	-
Шнуровые оттиски	-	27	-	1	-	-	1	-
Круглые вдавления	-	6	1	-	-	-	-	18
Кружки, выполненные полым чеканом	-	4	-	-	-	-	-	1

Тип I. Сосуды с нанесёнными под венчиком ямками – 1 экз. (2,6%) (рис. 3.11).

Тип II. Сосуды с ямками и вдавлениями – 2 экз. (5,1%). Под венчиком нанесён горизонтальный ряд круглых ямок, ниже которых идут наклонные ряды парных округлых или клиновидных вдавлений (рис 3.3).

Тип III. Сосуды, украшенные ямками в сочетании со шнуровыми оттисками, – 1 экз. (2,6%). Небольшой сосуд, орнаментированный по шейке горизонтальным оттиском сдвоенной верёвочки, перекрытой парными неглубокими круглыми вдавлениями, ниже которых нанесены фестоны из круглых вдавлений (рис. 3.8).

Тип IV. Сосуды, декорированные гребенчатым штампом, шнуровыми оттисками и кружками, выполненными полым чеканом, – 2 экз. (5,1%). Открывают орнаментальную зону вертикальные ряды зубчатого штампа, далее следует горизонтальный ряд кружков, нанесённых полым чеканом, перекрывающий горизонтальный шнуровой оттиск. Ниже чередуются вертикальные ряды зубчатого штампа и горизонтальные шнуровые оттиски. Композиция завершается фестоном, выполненным также полым чеканом (рис. 3.2; 3.7).

Тип V. Сосуды с ямочно-гребенчатыми оттисками – 21 экз. (53,8%). *Подтип 1.* Сосуды, украшенные вертикальными или наклонными рядами зубчатого штампа, перекрытого или разделяемого горизонтальным рядом ямок под венчиком или на шейке – 7 экз. (рис. 3.10).

Подтип 2. На сосуд зубчатым штампом нанесён зигзаг, на вершинах которого расположены ямки, – 1 экз. (рис. 3.6).

Подтип 3. Ряды зубчатого штампа перекрыты ямками или чередуются с ними, орнаментальная

композиция завершается фестоном – 10 экз. (рис. 3.14)

Подтип 4. Ряды зубчатого штампа перекрыты ямками или чередуются с ними, орнаментальная композиция завершается зигзагом, выполненным зубчатым штампом, – 2 экз. (рис. 3.5).

Подтип 5. Ниже рядов зубчатого штампа идёт горизонтальный ряд ямок, завершается композиция чередованием в горизонтальном ряду «птичьей лапы», нанесённой гребенчатым штампом и фестона из круглых вдавлений, – 1 экз. (рис. 3.13).

Тип VI. Сосуды, орнаментированные отпечатками зубчатого штампа, верёвочными оттисками, ямками и вдавлениями, – 12 экз. (30,8%). *Подтип 1.* Вертикальные или наклонные ряды зубчатого штампа перекрыты или разделены горизонтальными оттисками шнура, поверх которого нанесены ямки – 4 экз. (рис. 3.4).

Подтип 2. Ряды зубчатого штампа чередуются или перекрываются верёвочными оттисками, поверх которых под венчиком нанесён горизонтальный ряд ямок. Завершается композиция фестоном из круглых вдавлений – 6 экз. (рис. 3.12).

Подтип 3. Под вертикальными рядами зубчатого штампа нанесён горизонтальный оттиск шнура, поверх которого идёт горизонтальный ряд ямок. Композиция завершается подковками из оттисков сдвоенной верёвочки – 1 экз. (рис. 3.15).

Подтип 4. Оттиски зубчатого штампа чередуются с горизонтальным оттиском сдвоенной верёвочки, перекрытой под венчиком круглыми ямками. Завершается орнаментальная композиция зигзагом, выполненным зубчатым штампом, – 1 экз. (рис. 3.1).

Приведённая выше классификация – первый этап источниковедческого анализа материала, необходимый для сопоставления типов между собой. Планиграфический анализ показывает, что керамика разных типов концентрируется по всей северо-восточной части раскопа, особенно в непосредственной близости от очагов или в очагах. Наиболее распространена керамика типов IV и V, но планиграфически она не разделяется с типами I-III. К тому же культурный слой памятника составлял не более 0,2 м; большинство находок, в том числе и датирующие вещи, сосредоточено на первом горизонте (0,1 м). Вышеуказанные факты и однообразие декора посуды позволяют говорить о единовременности всего ванвиздинского комплекса керамики поселения Вэръю.

Следующий этап исследования – сравнение выделенных типов с керамическими коллекциями других памятников ванвиздинской археологической культуры. Наибольшим сходством с керамикой поселения Вэръю обладают керамические комплексы поселений Шойнаты III, VI, Угдым II-IV и могильника Шойнаты I бассейна средней Вычегды.

Остроребёрные сосуды, экземпляр которого был найден на поселении Вэръю, находились среди погребального инвентаря курганных могильников, в частности, Шойнаягского курганного могильника конца V–VI вв. [5]. Также особняком в коллекции посуды поселения Вэръю стоят сосуды, украшенные полым чеканом. Сосуды с подобной техникой орнаментации встречены на поселении Угдым II, группа 8 [6, с. 11].

Как и на памятниках средней Вычегды, сосуды поселения Вэръю, большей частью, слабо- или непрофилированные с прямыми стенками или слабо выраженной шейкой, с примесью дресвы в глиняном тесте и следами заглаживания на тулове.

Среди перечисленных выше памятников, Шойнаты VI – единственное однослойное поселение ванвиздинского времени. Его керамика была разделена К.С. Королёвым на три группы: сосуды, украшенные ямочными (группа I), ямочно-гребенчатыми (группа II) и ямочно-гребенчато-шнуровыми (группа III) штампами [7, с. 94–97]. Угдым II и III, Шойнаты III – многослойные поселения, имеющие широкие хронологические границы функционирования. Они содержат значительные коллекции керамики, относящиеся к периоду раннего средневековья. К.С. Королёв разделил их керамические комплексы по особенностям орнаментации на девять групп [9, с. 5–8; 6, с. 21–24; 8, с. 75–81].

На каждом из перечисленных памятников есть группа керамики, украшенная только горизонтальным рядом ямок под венчиком или ямками и округлыми вдавлениями. Её количество колеблется в пределах 12–32,6% [6, с. 94; 7, с. 10; 7, с. 22, 8, с. 97; 8 с. 79]. Для керамического комплекса поселения Вэръю, наоборот, посуда с подобным орнаментом редка и составляет 2,6–5,1% от общего количества керамики (тип I).

Орнаментальные схемы посуды всех групп поселения Шойнаты VI близки керамике поселения Вэръю – вертикальные или наклонные оттиски гребенчатого штампа чередуются с горизонтальными шнуровыми отпечатками, перекрытыми ямками, или сами перекрываются горизонтальным рядом ямок под венчиком. Ямочно-гребенчатая керамика составляет 15,8%, ямочно-гребенчато-шнуровая – 53,8% [7, с. 94–95]. К.С. Королёв датирует поселение Шойнаты VI VI–VII вв. н.э. [7, с. 97].

На поселении Шойнаты III близость к вэръинской керамике обнаруживают группы 1, 5, 8. Группы 1 и 5 украшены ямочно-гребенчатым штампом (7% и 23% соответственно), группа 8 – горизонтальными отпечатками верёвочки, перекрытой ямками (0,7%) [8, с. 75-81].

Единый комплекс с поселением Шойнаты III, по мнению К.С. Королёва, составляет раннесредневековый могильник Шойнаты I [8, с. 127]. Ряд найденных на нём сосудов, как и на поселении Вэръю, украшен чередующимися вертикальными оттисками зубчатого штампа и горизонтальными оттисками верёвочки и окаймлен по низу орнаментальной зоны фестонами из круглых вдавлений. Датируются могильник Шойнаты I и поселение Шойнаты III VII–VIII вв. н.э. [8, с. 129].

На поселении Угдым III к вэръинской керамике ближе всех немногочисленная группа 8 (7,5%) — вертикальные, наклонные или зигзагообразные оттиски зубчатого штампа чередуются с отпечатками

двойной верёвочки, на которые под венчиком накладывается ряд ямок. В этой группе у одного из сосудов в нижней части орнаментальной зоны нанесён фестон из ямок [6, с. 23]. Датируется поселение V–VI вв. [6, с. 29].

Из ванвиздинского комплекса посуды поселения Угдым II с керамическим комплексом поселения Вэръю можно сравнить группу 5 с ямочно-гребенчатыми оттисками (14,4%) и группу 7 с ямочно-гребенчато-шнуровыми оттисками (13,6%) [9, с. 7, 8]. Инвентарь поселения Угдым II К.С. Королёв разделяет на ранний и поздний комплексы, которые датируются соответственно VI в. и VIII–X вв. [9, с. 12, 13]. К позднему комплексу К.С. Королёв относит группы 3-7 [6, с. 14, 15]. С ними соотносится керамика Вэръю.

Немногочисленный ванвиздинский комплекс поселения Угдым IV не был систематизирован К.С. Королёвым по группам. Особенность керамики данного поселения – использование в орнаментации двузубого штампа, не характерного для Вэръю. Однако можно заметить, что керамика Угдым IV орнаментирована аналогично типу IV Вэръю ямочно-гребенчато-шнуровыми оттисками. К.С. Королёв датирует поселение VII–IX вв.[6, с. 34].

Среди сосудов памятников Угдымского и Шойнатыйского археологических микрорайонов есть также экземпляры с узором «птичья лапа» (Угдым II, Шойнаты III) [6, с. 72; 8, с. 80] и подковками, нанесёнными отпечатками верёвочки (Шойнаты III) [8, с.83].

Необходимо отметить, что несмотря на большое сходство с керамикой других вычегодских памятников, посуда поселения Вэръю обладает рядом особенностей. Для керамики поселения Вэръю не характерно использование одной техники нанесения орнамента. Не встречаются волнистые линии, нанесённые многорядными оттисками шнура. Напротив, шнуровые оттиски тонкие, сдвоенные. Гребенчатый штамп встречается только в сочетании с другими техниками. Шевроны, нанесённые зубчатым штампом, не выявлены, также как и использование двузубого штампа. Локальным отличием керамики поселения Вэръю можно считать фестоны, образованные неглубокими вдавлениями в нижней части орнаментальной зоны сосудов. На других вычегодских памятниках фестоны тоже встречаются, но они крайне немногочисленны, в то время как на поселении Вэръю 47,5% сосудов содержали в своей композиции этот элемент. Ещё одно отличие керамики состоит в том, что на поселении Вэръю не встречена посуда, украшенная фигурными штампами, составляющая группу 9 (по К.С. Королёву). Он полагает, что её появление и распространение связано с влиянием припечорских племён [8, с.130, 131].

По классификации Г.М. Бурова, подобные декору поселения Вэръю орнаментальные схемы характерны для керамики кузьвомынского этапа железного века (VI–VII вв.) [10, с.431]. По классификации Н.Н. Чесноковой, поселения, содержащие остатки металлургического производства и посуду с ямочно-гребенчато-шнуровой керамикой, относятся к технико-типологической группе Б, которая распространена в западной части ареала ванвиздинской культуры [11, с. 114].

Говоря о датировке памятника, необходимо обратиться к датирующим вещам из очага №1 – пронизке-лошадке и стеклянной бусине. Аналогии им находятся на других памятниках Европейского Северо-Востока. Пронизки-лошадки с циркульным орнаментом на крупе были найдены на памятниках Вычегодского бассейна – Веслянском I [10, с. 418] и Борганъёльском [13 с. 10] могильниках, а также поселениях Угдым II и III [6, с. 108]. Авторами раскопок они датируются VI в. н.э. Также плоские литые пронизки-лошадки распространены в Прикамье на памятниках неволинской культуры. Р.Д. Голдина относит их к верх-саинской стадии, датируемой VI в. без последней его четверти [14].

Аналогии стеклянной бусине с поселения Вэръю находятся на раннесредневековых памятниках Прикамья. На Верх-Саинском могильнике был найден подобный экземпляр жёлтого цвета. Е.В. Голдина определяет рамки их бытования VI в. н. э. [4, с. 140]. В целом, поселение Вэръю можно датировать VI–VII вв. н.э.

Выводы

Таким образом, поселение Вэръю является первым памятником ванвиздинской археологической культуры в бассейне р. Локчим. Его материалы являются важным источником по изучению культуры охотников и рыболовов этой части Вычегодского края в VI–VII вв. н.э. В то же время однослойный характер культурных отложений памятника, что проявилось в небольшой мощности культурного слоя, компактном расположении вещевых комплексов, наличии датирующих вещей, имеет важное значение для характеристики ванвиздинских древностей в целом. Инвентарь поселения обнаруживает сходство с материалами наиболее территориально близких памятников Угдымского и Шойнатыйского археологических микрорайонов на средней Вычегде. Изучение керамического комплекса поселения Вэръю выявило ряд особенностей в орнаментации глиняной посуды, отличающих посуду поселения Вэръю от средневычегодских комплексов. Сопоставление материалов этого поселения с древностями ванвиздинской культуры на верхней и нижней Вычегде, в бассейне р. Сысолы, ломоватовскими и неволинскими памятниками верхнего Прикамья позволит дать ответ на вопрос, чем объясняются эти особенности.

Статья подготовлена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Традиции и инновации в культуре», направление 1 «Формирование, развитие археологических культур эпохи железа на территории Европейского Северо-Востока: традиции и инновации», проект программ РАН, приказ №12-П-2-1002.

Литература

1. *Белицкая А.Л.* Предварительные результаты раскопок поселения Вэръю в 2006 г.// Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе: Доклады 9-й студенческой научной конференции. Т. IX. Сыктывкар, 2006. С. 86–89.
2. *Васкул И.О.* Исследования поселения Вэръю в бассейне средней Вычегды // Археологические открытия 2006 года. М., 2008. С. 9.
3. *Васкул И.О.* Отчёт о полевых исследованиях в Корткеросском районе Республики Коми/ Научный архив Коми НЦ УрО РАН. 2006. Ф.5. Оп.2. Д.709. С.8–10.
4. *Голдина Е.В.* Бусы могильников неволинской культуры (конец IV–IX вв.). Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2010. 264 с.
5. *Васкул И.О.* Овчинников Ф.В. Шойнаягский могильник//Этнокультурные процессы в древности на Европейском Северо-Востоке (источники и исследования): Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Вып. 16. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1999. С. 50.
6. *Королёв К.С.* Угдымский археологический комплекс на средней Вычегде (эпоха железа). Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2002. 112 с.
7. *Королёв К.С.* Поселение ванвиздинской культуры Шойнаты VI//Памятники материальной культуры на Европейском Северо-Востоке: Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Вып. 10. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1986. С. 93–97.
8. *Королёв К.С.* Население средней Вычегды в древности и средневековье. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 193 с.
9. *Королёв К.С.* Раннесредневековое поселение Угдым II. Сыктывкар, 1989. 20 с. (Серия препринтов «Научные доклады» / Коми филиал АН СССР. Вып. 203).
10. *Археология Республики Коми.* Ч. 6. Поздний железный век. Ванвиздинская культура (VI–X вв. н.э.) // Археология Республики Коми. М.: Изд-во ДиК, 1997. С. 400–477.
11. *Чеснокова Н.Н.* Классификация ванвиздинской керамики//Проблемы этногенетических исследований Европейского Северо-Востока. Межвузовский сборник научных трудов. Сыктывкар: Сыктывкарский ун-т, 1982. С. 106–121.
12. *Ашихмина Л.И.* Погребальный обряд могильника Борганъёль. Сыктывкар, 1988. 24 с. (Серия препринтов «Научные доклады»/ Коми филиал АН СССР. Вып. 191).
13. *Голдина Р.Д., Водолаго Н.В.* Могильники неволинской культуры в Приуралье. Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1990. С. 91–92.

Статья поступила в редакцию 24.03.2012.

УДК 061.2: 341.215.2 (470.13)

О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НЕПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ПРАВОЗАЩИТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В РОССИИ (1960–2000 гг.)

А.А. ЛЫЮРОВ

Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
cooperation@presidium.komisc.ru

На примере неправительственных экологических и правозащитных организаций рассматривается история возникновения и обобщается опыт их развития в России и за рубежом. Особое внимание уделяется становлению неправительственных структур как части гражданского общества.

Ключевые слова: **неправительственные организации (НПО), гражданское общество, правозащитные и экологические организации**

A.A. LYYUROV. TO THE PROBLEM OF ACTIVITY OF ECOLOGICAL AND HUMAN RIGHTS NON-GOVERNMENTAL ORGANIZATIONS IN RUSSIA (1960–2000)

Analyzing the activity of non-governmental organizations in Russia at the end of XX century, we need to consider the history of their origin. The experience of NGO in Russia and abroad, for example, human rights and environmental organizations is generalized. Particularly, attention is paid to the formation of non-governmental agencies as part of civil society.

Key words: **non-governmental organizations (NGO), civil society, human rights and ecological organizations**

На рубеже XX–XXI вв. человечество фактически вступило в новую фазу развития, когда государства перестали быть единственными игроками на международной арене. Вестфальский мирный договор 1648 г., давший начало государственно-центристской модели мира, в которой государство рассматривалось в качестве основного субъекта международной деятельности, канул в лету. И все же, несомненно, государство остается главным фактором на мировой арене, хотя растет и влияние других субъектов международных отношений. Одним из активных участников по праву можно считать неправительственные организации (НПО), роль и численность которых за последние два десятилетия прошлого столетия стали ощутимы, а их деятельность – характерной чертой современного этапа развития человечества [1]. Деятельность НПО чрезвычайно важна, поскольку, являясь элементами гражданского общества, они выступают в качестве субъектов независимого анализа деятельности государственных органов власти в проблемных для общества сферах.

Единой классификации НПО не существует. Так, в западной литературе классификация неправительственных организаций в основном представлена двумя типами. Один из них разработан Университетом Дж. Хопкинса (США). Согласно чему, НПО подразделяются на 12 групп [2]: культура и отдых; образование и исследования; здравоохранение; социальные услуги; окружающая среда; развитие и жилье; законодательство, адвокатура, политика; филантропическое посредничество и добровольные пожертвования; международные проблемы; религия; бизнес и профессиональные ассоциации, союзы; организации, не относящиеся к каким-либо классификациям.

Другой тип представлен в Ежегоднике международных организаций. В него входят 15 видов [3]: федерации международных организаций; организации с универсальным членством; организации с межконтинентальным членством; организации, членство которых определяют регионы; организации, имеющие происхождение от места, личности, принадлежащих продуктов или других объектов; организации, имеющие специальную форму, включающую финансовые и нефинансовые фонды; национальные организации с международной ориентацией; пассивные или ставшие членами других организаций; недавно объявившиеся организации, не подтвердившие свой статус; отделения или внутренние компоненты других внутренних частей организаций; национальные организации; религиозные организации, братства и светские организации; автономные серии конференций (без секретариатов); многосторонние договоры и соглашения; в настоящее время бездействующие, нетрадиционные или неподтвержденные организации.

В России классификация НПО весьма условна и в ее основу положены следующие критерии:

- организационно-правовые формы: организации, движения, фонды, общественные учреждения;

- характер членства: с фиксированным членством и без такового;
- направления и сферы деятельности, закрепленные в уставе: правозащитные, благотворительные, экологические, молодежные, культурные, образовательные, женские, ветеранские, физкультурно-спортивные и т.д.;
- проявления в деятельности объединений политических признаков: организации, имеющие в своем содержании незначительный политический аспект; собственно неполитические;
- территориальная сфера деятельности: общероссийские, межрегиональные, региональные, местные и международные;
- внутриорганизационная структура: централизованные и нецентрализованные;
- социально-правовой статус: зарегистрированные в соответствующих органах, незарегистрированные, нелегальные (запрещенные государством).

Подобное структурирование НПО хотя и не является исчерпывающим, но все же позволяет разобраться в структуре и огромном множестве российских объединений граждан [4].

Одной из основных черт Российской Федерации в рассматриваемый период стали активные попытки государства интегрироваться в мировое сообщество и расширить сотрудничество с другими странами в рамках общемировых программ. В этом реформировании эволюция российских НПО протекала под влиянием происходящих в мире коренных изменений социально-экономического, политического и научно-технического характера. В частности, возросло значение общественных организаций, которые стали играть более существенную роль в российской внешней политике, выступая в рамках «народной дипломатии» и оказывать значительное влияние на внешне- и внутриполитический курс российского государства. Именно НПО, представляющие собой первые ячейки формирующегося гражданского общества, стали теми игроками, которые стремились участвовать в процессе принятия и реализации общественно-значимых решений, содействуя этим развитию в нашей стране публичной политики [5].

Переломный этап в России в начале 1990-х гг. ушедшего столетия характеризовался ростом политической активности граждан и интенсивным «всплеском» активности масс. Он нашел свое выражение не столько в обновлении существовавших общественных структур, сколько в создании новых самостоятельных организаций и движений. По примеру Запада, где после Второй мировой войны стали формироваться так называемые «новые общественные движения (НОД)», в России появилось множество неформальных общественных формирований – альтернативных организаций и движений, действовавших вне рамок официальных структур, опираясь лишь на инициативу самих граждан и не претендующих на официальный статус. К подобным организациям, как правило, стали относить правозащитные, экологические, феминистские, а также движения за мир и т.п.

Новизна данных организаций выражалась в объединении неклассовых групп (женщин, молодёжи и т.д.) и групповых объединений (экологические, организации против ядерного вооружения и т.п.). Их деятельность была направлена не столько на изменение политической системы или отдельных институтов, сколько на обновление социальных и культурных ценностей и ценностных приоритетов в обществе, связанных со свободой личности. НОД отвергали традиционные способы организации, предпочитая сетевые структуры без фиксированных центров власти. У них не было четко организованной структуры и иерархии, отсутствовала система контроля над действиями лидера. На первый план выходила общая проблема – активизация в поддержке той или иной цели большего количества людей, костяк которых составили экологические, антивоенные, феминистские структуры, движения в защиту гражданских прав и др.

Руководителями или лидерами этих структур в России, как правило, становились представители среднего класса. Вокруг них образовывалась группа активистов, которыми двигало чувство протеста и недовольства, связанное с конкретными житейскими проблемами. Например, повышение квартплаты, монетизация льгот, низкая заработная плата или неудачный опыт общения с чиновниками, правоохранительными органами [6]. Отстаивая свои права, активисты НПО готовы были участвовать в протестных действиях и легко шли на сотрудничество с другими людьми и организациями, не обращая внимания на возрастную или классовую принадлежность. Несмотря на разнообразный социальный состав участников, объединяющим началом являлось критическое отношение ко многим реалиям трансформирующегося общества, стремление найти оригинальные решения глобальных и некоторых других актуальных проблем. Основной особенностью подобных социальных организаций стал поиск новых форм, стиля, образа жизни, разнообразие и необычность форм и методов социального протеста. Заметное повышение активности НПО, в том числе и во взаимодействии с международными организациями, равно как и увеличение их общего количества, является одним из примечательных феноменов конца XX в. [7].

Рост числа НПО в указанный период, их возрастающее влияние на международной арене обуславливались проблемами, для решения которых было уже недостаточно возможностей одного или группы государств. НПО поднимали вопросы, которые часто не затрагивались деятельностью правительств многих стран, в том числе и России. Собирая, обрабатывая и распространяя информацию о международных проблемах, требующих общественного внимания, международные неправительственные организации инициировали конкретные подходы к их решению и побуждали правительства к заключению соответствующих внешнеполитических соглашений. Параллельно осуществлялось наблюдение за деятельностью правительств в различных сферах жизни общества и выполнением государствами взятых на себя обязательств.

Из общей категории общественных организаций нами выделяется ряд таких специфических форм объединения граждан, как правозащитные и экологические НПО, ставшие одними из наиболее заметных игроков в развитии политической и общественно-социальной жизни России. Возникновение правозащитных НПО имеет давнюю историю. В 1863 г. в г.Женеве для защиты прав человека в ходе вооруженных конфликтов был создан Международный комитет Красного Креста. В 1902 г. возникла Французская лига защиты прав человека и гражданина. Через семь лет в Лондоне организовалось Общество борьбы с рабством. В 1942 г. в Нью-Йорке появилась Международная лига прав человека.

Одним из важнейших этапов в деятельности правозащитных организаций является послевоенный период 1945–1948 гг., связанный с образованием Организации Объединенных Наций (ООН) и принятием в 1948 г. Всеобщей декларации прав человека. С этого времени проводится огромная работа по соблюдению и поощрению уважения прав человека и основных свобод для всех граждан без каких-либо различий по признаку расы, цвета кожи, пола, языка, религии, политических или других взглядов. В 1976 г. Генеральной Ассамблеей ООН был принят Международный пакт об экономических, социальных и культурных правах и Международный пакт о гражданских и политических правах. В том же году ко второму пакту был принят факультативный протокол, предусматривающий механизм разбора жалоб от отдельных лиц. В настоящее время эти три документа составляют совместно Международный Билль прав человека.

Кроме того, 70-е гг. прошлого века стали новой вехой, когда на политической арене значимую роль стали играть влиятельные международные правозащитные организации, такие как: Международная федерация прав человека, известная как FIDH (Fédération internationale des ligues des Droits de l'Homme,). FIDH – первая в мире Международная организация по защите прав человека, создана в 1922 г. по инициативе французской и немецкой лиг. Ее девиз: «Мир для прав человека». Среди наиболее известных международных организаций следует также выделить «Международную амнистию» (Amnesty International, 1961 г.) и «Хьюман Райтс Вотч» (Human Rights Watch, 1978 г.).

Деятельность НПО в сфере защиты прав человека все более выходит за рамки отдельных государств, приобретая глобальный характер. В конце XX в. правозащитное движение распространилось на страны, в том числе и Россию, в которых НПО ранее не могли действовать свободно. Во многих странах, проходящих через серьезные изменения и реформы, правозащитные НПО оказывают помощь в установлении конституционных гарантий соблюдения прав человека. По данным авторов сборника «Global Civil Society» [8], к 2000 г. в мире насчитывалось свыше 12 тыс. НПО, занимающихся правозащитной деятельностью. Число постоянных членов международных НПО выросло со 148 тыс. (в 1990 г.) до 255 тыс. (в 2000 г.), т.е. более чем на 70 % [8].

Началом создания правозащитных структур в СССР считается 5 декабря 1965 г., когда в Москве состоялся первый «митинг гласности», который прошел под лозунгами: «Уважайте советскую Конституцию!» и «Требуем гласности суда над Синявским и Даниэлем». Наиболее полно становление, развитие и трудности, с которыми пришлось столкнуться правозащитникам в Советском Союзе, нашли свое отражение в работе «История инакомыслия в СССР» [9] председателя Московской Хельсинкской Группы (МХГ) Л. Алексеевой.

В становлении правозащитных организаций Л.Алексеева рассматривает три этапа. Первый, растянувшийся на целое десятилетие, – диссидентский, при котором преследовалось создание независимых правозащитных организаций со стороны государственных и правоохранительных органов. Данный период характеризуется как спонтанный: «между правозащитниками нет формальных связей ни внутри ядра движения, ни между ядром и "периферией". У них нет ни лидеров, ни подчиненных, никто никому не "поручает" никаких дел, а может лишь сам делать задуманное, если не будет добровольных помощников. Никто не имеет каких-либо обязанностей, кроме налагаемых собственной совестью». Особое внимание в начальный период правозащитники уделяли нарушениям гражданских прав: защите в суде лиц, признанных психически больными; определению понятия «политзаключенный»; проблеме «переселенных» народов в СССР.

Второй – относительно «легальный» период деятельности правозащитных организаций, который продолжался с 1976 по 1981 гг., получил условное название «Хельсинкский период». Его начало было ознаменовано принятием в г. Хельсинки 1 августа 1975 г. Заключительного акта Совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе, известный также как «Хельсинкские соглашения». Руководство СССР, подписав их, приняло на себя обязательство придерживаться международных стандартов в области прав человека. На основе принятых документов московские правозащитники, среди которых были Ю.Орлов, А. Амальрик, В.Турчин, Н.Щаранский, пришли к идее организации независимых от правительств общественных объединений по контролю за выполнением гуманитарных статей Хельсинкских соглашений. 12 мая 1976 г. на пресс-конференции, созванной на квартире акад. А.Сахарова, Ю.Орлов объявил о создании Группы (или, как ее стали называть, — Московской Хельсинкской Группой (МХГ)) содействия выполнению в СССР Хельсинкских соглашений. По примеру МХГ в 1976–1977 гг. возникли аналогичные группы на Украине, в Литве, Грузии и Армении.

Действия МХГ в основном ограничивались гражданскими и политическими свободами. Правозащитники начали свою деятельность с требования свободы слова и гласности судопроизводства, затем добавились требования о национальном рав-

ноправии, свободы вероисповедования и возможности выезда из страны и возвращения в нее. Социальными правами, по словам Л.Алексеевой, МХГ не занималась, поскольку не хватало на это сил, и правозащитники считали, что гражданские и политические права первичны. «Потому что если нет права на объединения, нет свободы слова и печати, то у людей нет возможности защищать никакие свои права, в том числе социальные» [10]. Одним из самых главных принципов, который начали исповедывать правозащитники, – это ненасилие.

Конец 80-х – начало 90-х гг. прошлого столетия в России ознаменовались процессом создания новых НПО, нацеленных на содействие развитию демократических институтов, соблюдению международных стандартов прав человека. Л.Алексеева так характеризовала это время: «именно из-за беспримерного для послесталинского времени размаха репрессий в 1980-е гг. можно утверждать, что власти оказались бессильны справиться с инакомыслием, вернуть общество в “додиссидентское” состояние. Репрессиями была снята видимая часть цепочки — открытые общественные ассоциации, но скрытые звенья сохранились и функционировали (сбор и распространение информации о положении с правами человека в СССР, помощь политзаключенным и другим жертвам репрессий), и в эту деятельность, наряду с прежними, втягиваются новые люди. Это означает, что при малейшем ослаблении давления вновь появятся и открытые формы инакомыслия — возможно, в каком-то новом организационном виде более зрелые, более разработанные на основании прежнего опыта — подспудная работа мысли, обмен идеями и информацией не проходит бесследно» [11].

Третий период в деятельности правозащитных движений НПО связан с принятием 12 декабря 1993 г. Конституции Российской Федерации, которая дала новый импульс развитию правозащитных НПО. Целый ряд из них посвятили себя решению конкретных задач – содействие гражданам в реализации их конституционных прав и свобод, усовершенствование законов и формирование правового государства. Правозащитные организации в России получили признание государством, о чем свидетельствуют Указы Президента Российской Федерации «О некоторых мерах государственной поддержки правозащитного движения в Российской Федерации» (от 13 июня 1996 г. № 864) и «О дополнительных мерах государственной поддержки правозащитного движения в Российской Федерации» (от 25 сентября 2004 г. № 1237).

По состоянию на 1992 г., по данным МХГ, в российских регионах действовало около 2 тыс. правозащитных организаций, из них 400–500 работали профессионально и имели свои офисы и штат сотрудников [10]. Так, например, в Республике Коми с 1991 г. по 1998 г. было зарегистрировано 335 организаций. В то же время следует отметить, что из общего числа организаций, зарегистрированных в органах юстиции, лишь восемь реально занимались защитой прав наиболее ущемленных слоев населения. Три из них защищали инвалидов, одна – воинов-интернационалистов и четыре уделяли внимание всему спектру прав человека: в Прилузском районе – «Набат», в Сыктывкаре – «Коми ПОЛ» (Коми правозащитная общественная лига), в Ухте – «Союз доброй воли» и «Вера». Множество организаций, созданных ранее, прекратили свою деятельность или продолжают существовать чисто формально.

В указанный период активно шел процесс оформления сетевых объединений. Наиболее стабильные сети созданы тремя правозащитными организациями: Женской палатой Республики Коми (1994 г.), КПК «Мемориал» (1996 г.), Общественной организацией «За социальную справедливость» (1998 г.). В соответствии с Указом Главы РК от 31 декабря 1996 г. № 358 в республике была создана комиссия по правам человека при Главе Республики Коми, в состав которой вошли представители государственных органов, СМИ, науки, образования и общественных организаций [12]. Комиссия осуществляла прием граждан и оказывала им юридическую помощь, формировала для Главы Республики ежегодные доклады о состоянии дел с правами человека в регионе. Однако, необходимо отметить, что большим недостатком деятельности данной Комиссии было отсутствие налаженных связей с уже существующими правозащитными организациями.

Наиболее активные из числа НПО предприняли попытку объединения в форме Общественной палаты Республики Коми в качестве консультативного органа для выстраивания диалога с властью. Результатом такого диалога стало принятие республиканского Закона «Об общественной палате» (2006 г.). Это был первый опыт структурирования институтов гражданского общества в регионе. Главной задачей этой общественной организации стало создание «площадки» для взаимодействия НПО с включением их в обсуждение актуальных проблем региона и страны и налаживания диалога с властными структурами [13].

Следует отметить, что современная правозащитная деятельность российских НПО отличается от таковой своих предшественников изменением ее характера. Первые правозащитные организации, которые стали возникать уже в России после принятия новой конституции, – это были, к примеру, бесплатные юридические приемные, куда могли обратиться за юридической помощью и за консультацией люди, у которых нет денег на адвокатов. А если и после консультации они были не в состоянии себя защищать, НПО пытались их защищать в судах. Но, как правило, подавляющее большинство этих обращений не были связаны с попранием гражданских и политических прав, а защищали социальные права граждан: пенсии, детские пособия, незаконные увольнения с работы, задержки зарплаты, коммунальные платежи.

Другими, не менее важными общественными организациями, оказавшими заметное влияние на развитие России, стали экологические НПО. В современном обществе на фоне коренных изменений социально-экономического, политического и науч-

но-технического характера возрастают опасения по поводу увеличения рисков техногенных катастроф и глобального экологического кризиса. «Ущерб, наносимый окружающей среде, ныне стал предметом глубокой озабоченности и находится в центре внимания правительств во всем мире... На первое место выдвинулись проблемы защиты окружающей среды… » [14]. Исторические корни возникновения неправительственных экологических организаций были сформированы в странах Западной Европы и США в конце 60 – начале 70-х гг. XX в. В этот период на развитие экологического движения оказали существенное влияние два взаимосвязанных важных фактора. Это – социальные последствия научно-технической революции, а также возрастание реальной угрозы человечеству в результате термоядерной и экологической катастроф, если опасность не удастся предотвратить [15].

В западных странах в результате послевоенного экономического бума и возникновения общества всеобщего благосостояния, одновременно появляются и экологические проблемы невиданной ранее остроты и масштаба. Уже в начале 1960-х гг. для населения стали очевидны и ощутимы последствия бурного промышленного развития. А в 1970-е гг. ученые заговорили о существовании реальной угрозы глобального экологического кризиса как прямого следствия научно-технического прогресса и неограниченного индустриального роста. Одним из важнейших вопросов, ставшим как перед экологическим движением, так и перед его оппонентами (компаниями и государством), был поиск ответа – можно ли избежать глобальной экологической катастрофы без радикальных изменений базовых институтов современного общества или для этого требуется переход к иной (альтернативной) социальной системе?

Экологическое движение, возникшее в начале 1960-х гг., состояло из множества различных групп и течений. Именно оно стало центром развития самоорганизации людей на разных уровнях и катализатором общественного обсуждения вопросов о возможности избежать глобальной экологической катастрофы и вовлечь в движение представителей разных социальных групп: ученых, бизнесменов, политиков, экоактивистов. В результате поиск путей экологического переустройства индустриальной системы стал предметом обсуждения практически на всех уровнях общества [16]. Участники экологических организаций пропагандировали ведение альтернативного (устойчивого) образа жизни; декларировали необходимость персонального вовлечения и самоограничения в деятельности человека на окружающую среду. Отличительными чертами организационной структуры подобных экологических организаций были небольшие группы, погруженные в повседневную жизнь.

В начале своей истории экологические НПО делали акцент на решении вопросов местного значения. В их деятельность включались люди, которые столкнулись с конкретной экологической проблемой, протестуя против строительства промышленных объектов, транспортных магистралей, атомных электростанций, мусоросжигательных заводов. Постепенно эти действия переросли в протест против существующего общественного порядка, поскольку «конкретные» проблемы были осознаны и как политические, связанные с общественным устройством.

Позднее в некоторых странах Западной Европы (например, в Дании, Германии) участники общественных движений интегрировались в экологические департаменты государственных учреждений, университетов, муниципалитетов и т.п. Произошла институционализация и профессионализация НПО. В результате в 1990-е гг. возникло множество проэкологических государственных и международных программ. Характерной чертой западных экологических НПО стало их трансформирование на базе экологически ориентированных социальных движений в партии (так называемые «зелёные»). В 1980-е гг. «зелёные» получили мандаты в национальные парламенты в Люксембурге, Бельгии, ФРГ, Финляндии, Австрии, Швеции. В среднем «зелёные» получали на национальных выборах 5–6% голосов, а в отдельных странах – даже больше, например, в Бельгии – 10% (1991 г.), в ФРГ – 7,3% (1994 г.) [17]. В Европарламенте «зелёные» также имели свое представительство: в 1996 г. – 27, в 1999 г. – 38 мандатов.

В России неправительственные экологические организации существуют более 40 лет. Они возникли по инициативе граждан и прошли в своем развитии несколько этапов, каждый из которых был тесно связан с происходящими в стране событиями в самых разных сферах, – экологической, экономической, социальной, культурной и др. На протяжении последних лет политическая система в нашей стране находилась в процессе трансформации. Но, несмотря на все изменения, конечная цель экологического движения оставалась неизменной – сохраняя островки живой природы и ратуя за здоровую окружающую среду, экологизировать сознание членов общества, включить в базовые ценности в качестве первоосновы самоценность природы, т.е. самой жизни. По этому признаку российские экологические организации, как и в других странах, можно причислить к НОД, ориентированным на поиск новой идентичности и ценности постиндустриального общества.

Первые экологические общественные организации, созданные самими гражданами, появились в СССР в конце 1950-х – начале 1960-х гг. Однако к этому времени в СССР действовало Всероссийское общество охраны природы (ВООП), созданное государством 29 ноября 1924 г. История создания общества корнями уходит в годы окончания Гражданской войны в России. Активисты взялись за благородное дело, чтобы учесть все уникальные природные территории, обеспечить охрану редких и исчезающих видов фауны и флоры, разработать природоохранное законодательство. В 1960 г. образовалась Дружина по охране природы биологического факультета Московского государст-

венного университета (ДОП биофака МГУ), которая стала основой Студенческих дружин охраны природы (ДОП) ВУЗов. Основные направления деятельности дружин – борьба с браконьерством, создание новых заказников и заповедников (программа «Заповедники»), предотвращение незаконной продажи весенних дикорастущих цветов (программа «Первоцвет»), незаконных рубок в предновогодние дни (программа «Ель»).

В структурном отношении это был важный этап эволюции российского экологического движения, поскольку именно студенческие ДОПы стали развиваться по коллективному принципу. Их формирование происходило не просто как совокупность отдельных дружин, объединенных общими целями, а как сетевая структура. Объединение дружин в единое Всесоюзное движение дружин по охране природы (ДДОП) произошло на состоявшемся в 1972 г. в Москве Первом Всесоюзном семинаре молодежных природоохранных организаций. Так зародилось уникальное движение, положившее начало российскому экологическому движению и создавшее базу (кадровую, организационную, идейную, ценностную, методологическую) для его дальнейшего развития [18].

Следующим этапом в развитии экологических общественных объединений, по мнению ряда ученых, считается Чернобыльская катастрофа и последовавшее за этим проведение кардинальных реформ, которые были начаты в январе 1987 г. после объявленной новой государственной идеологии, получившей в СССР название «перестройка». Изменения в политической системе оказались благоприятными для самоорганизации населения: лидеры КПСС и государства были крайне заинтересованы в массовой поддержке процесса демократизации и призвали граждан к активным самостоятельным действиям. Авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. заставила открыть экологическую информацию, что породило массовые коллективные действия, которые не были бы столь организованными и эффективными, если бы не целое сообщество бывших членов ДДОП. В регионах во главе массовых экологических акций встали представители местной интеллигенции – врачи, журналисты, ученые, преподаватели ВУЗов. В результате возникло сразу несколько экологических организаций, претендовавших на статус общенациональных НПО: Социально-экологический союз, Экологический союз, Зеленое движение, Экологический фонд. На региональном уровне в течение двух-четырех лет с начала перестройки сложились действенные группы, многие из которых позднее были преобразованы в экологические НПО [18].

По примеру Запада в конце 1980-х гг. в СССР начала происходить политизация экологического движения. В декабре 1988 г. на конференции Социально-экологического союза возник оргкомитет Партии Зеленых, которая была образована в марте 1990 г. на Учредительной конференции в Москве. Одновременно возникла Ленинградская партия Зеленых, которая не вошла в общесоюзную Партию Зеленых из-за несогласия с ее леворадикальным крылом. В мае 1991 г. после расколов и слияний образовались Российская партия Зеленых и Лига Зеленых партий.

Таким образом, экологическое движение вновь трансформировалось. С одной стороны, оно сильно сократилось, так как многие активисты экологических организаций стали публичными политиками и чиновниками. С другой – чрезвычайно расширилось за счет быстро нараставшей в этот период волны массовых движений протеста, которые стали выдвигать свои собственные экологические лозунги и формировать экологические группы. Другими словами, массовый политический протест резко увеличил массовость экологического движения [19].

Не осталась в стороне от происходящих процессов и Республика Коми, где роль гражданского общества возрастала в лице его различных институтов. Так, например, на территории региона экологическими проблемами активно занимались Комитет возрождения коми народа, а также «Комитет спасения Печоры». В частности, IV съезд коми народа, состоявшийся в 1995 г., отметил, что «кризис в экономике, спад производства в промышленности, сельском и лесном хозяйстве и капитальном строительстве в значительной мере отразились на выполнении республиканских экологических программ – «Экология-2005», «Чистая Печора», «Здоровье». Отсутствие должного контроля со стороны законодательных и исполнительных властей и крайне низкое финансирование этих программ отразилось на вводе природоохранных объектов, выполнении намеченных мероприятий и сказалось на здоровье населения и продолжительности жизни в республике».

Согласно решению указанного съезда и при поддержке Консультативного комитета финно-угорских народов, в г. Сыктывкаре в ноябре 1996 г. была проведена Международная научная конференция «Финно-угорский мир: состояние природы и региональная стратегия защиты окружающей среды». В результате усилий общественности, научных кругов органами государственной власти было начато этно-эколого-экономическое районирование территории республики с целью совершенствования и расширения существующей сети мониторинга. Поставлена цель разработки региональной системы экологического нормирования природопользования, учитывающей и обеспечивающей интересы развития традиционных отраслей коренного населения. Основные направления разработки республиканской экологической системы были отражены в Концепции и Программе природовосстановления в Республике Коми, особо выделены блоки традиционного природопользования коренного коми народа – «Оленьи пастбища», «Лесовосстановление», «Охрана и восстановление запасов рыбных и охотничье-промысловых ресурсов».

«Комитет спасения Печоры» – одна из первых неправительственных организаций, работающая в Республике Коми. Комитет был создан в сентябре 1989 г. по решению конференции жителей

Печорского бассейна, в которой приняли участие 160 делегированных представителей от большинства населенных пунктов бассейна (городов, сел, поселков). С 1989 г. Комитет издает и распространяет «Экологический вестник» (в настоящее время газета выходит под названием «Экологический вестник Припечорья»), единственную экологическую газету в Республике Коми. Основной задачей этой экологической НПО является сохранение здоровой экологической обстановки в бассейне Печоры, существующих массивов дикой природы как одного из главных богатств Печорского края; учет интересов и мнения местного населения при принятии решений, связанных со строительством экологически опасных объектов на территории его проживания [20].

За более чем 20-летний период своей деятельности Комитет, использовав свое право на республиканский референдум, добился от Правительства Коми: создания Национального парка «Югыд ва» на западном склоне Приполярного и Северного Урала, объявления моратория на строительство АЭС на территории Республики Коми до 2000 г.; снятия рыбоучетного заграждения в устье р. Печоры, служившего прикрытием для браконьерского лова семги в промышленных масштабах; официального непринятия (несогласования) на республиканском уровне попыток российского руководства возобновить ядерные испытания на Новой Земле. В 1995 г. Комитет совместно с Гринпис России добился включения девственных лесов Коми (НП – Национальный парк «Югыд ва» и Печоро-Илычского заповедника) в Список Всемирного Наследия ЮНЕСКО. Комитет спасения Печоры является членом Международного социально - экологического союза, Лесного Клуба российских НПО, ассоциации НПО «Сеть российских рек», сотрудничает с Гринпис России и другими неправительственными экологическими организациями.

Период 1989–1991 гг. – время политического самоопределения экологического движения, когда стоял выбор модели политического участия: либо это должна быть дисперсная сеть экологических организаций и групп (НПО) (американская модель), либо – создание зеленых партий парламентского типа (европейская модель). Как видно из нынешней структуры экологических организаций, ближе стала американская модель. Тому были веские причины. В тот период экологические организации в стране имели гораздо больший авторитет, нежели возникавшие зеленые мини-партии, которых просто никто не знал.

Следующий этап развития экологического движения приходится на вторую половину 90-х гг. XX в. Наиболее крупные общефедеральные и региональные организации получают гранты на проекты, к осуществлению которых подключаются экоНПО на региональном и местном уровнях. Это способствует разрешению конкретных локальных проблем и поддержке местных экологических инициатив. Политика российских властей привела к изменению акцентов в деятельности экоНПО: если раньше они ориентировались, главным образом, на взаимодействие с властями, то теперь перешли к более близким и регулярным контактам с населением. Региональные организации целенаправленно занялись формированием собственных сетей.

Начало международного сотрудничества российских НПО в области экологии можно отнести к советскому периоду (1978 г.), когда состоялись первые контакты Молодежного совета по охране природы МГУ с Международной молодежной юношеской федерацией по охране среды. Затем в годы перестройки существовала солидная прослойка людей, которые уже участвовали в деятельности международных экологических организаций и программ (например, в Программе ООН по окружающей среде, «Биологической программе» ЮНЕСКО, Международном фонде охраны дикой природы, Международном союзе ученых, Программе «Человек и биосфера» и др.). Чаще всего именно участники подобных программ или использовали свои организации для поддержки групп экоактивистов, или же непосредственно становились их лидерами [21].

В свою очередь, уже с начала 1990-х гг. «зеленое движение» активно поддерживается западными фондами развития организаций общественных движений как зачатков гражданского общества [22]. Ведущие страны Запада начали осуществлять целенаправленную политику перестройки экологических организаций по своим стандартам. Эта политика включала перенос на почву новых независимых государств приоритетов, организационных форм, социальных технологий и тактик социального действия, выработанных на Западе, начиная с благотворительной и технической помощи, за которой следовала финансовая и социальная поддержка экологических НПО с целью укрепления их «независимости». В дальнейшем в страну направлялись многочисленные группы консультантов и экспертов, а затем «переселение» в страну сети филиалов международных фондов и организаций (например, в 1989 г. создано отделение «Гринпис» в РФ, в 2001 г. его отделение – в С.-Петербурге; в 1988 г. в России начата реализация первых проектов Всемирного фонда дикой природы, а в 1994 г. открылось Российское представительство WWF).

Экологическим НПО оказывалась моральная и финансовая поддержка со стороны западной общественности, главным образом в виде грантовой деятельности зарубежных фондов, которая в то время одобрялась российским государством. Это была многосторонняя и многоуровневая помощь зеленым, которую оказывали надгосударственные образования и союзы.

Следует отметить, что зарубежные фонды и организации действовали по принципу «коврового покрытия» – вся территория бывшего СССР накрывалась сетью западной помощи и сотрудничества, причем в критически важных, по мнению западных экспертов, точках и регионах фиксировалось многостороннее перекрытие сетей иностранной помощи. Подобная помощь оказывалась в соответствии с принципом «возвратности», что означало обеспе-

чение западными донорами зарплатой и рабочими местами своих специалистов (в качестве советников, консультантов, менеджеров), которые не могли быть обеспечены работой в стране-доноре.

Однако «возвратность» включала в себя не только, говоря языком экономистов, восстановление затраченных сумм, но и «тренинг», т.е. накопление зарубежными консультантами и советниками опыта и знаний о стране пребывания. Большинство менеджеров и консультантов, направляемых в постсоветские страны, были по базовому образованию славистами (русистами, как они себя сами называли) и только в отдельных случаях имели второе, биологическое образование. Они долгое время плохо ориентировались в российской или иной действительности, но через несколько лет увозили с собой конкретное знание о каком-то ее секторе, которое потом можно было сложить с другими такими же фрагментами и получить весьма экономически и политически ценный взгляд на страну изнутри.

В обмен на финансовую поддержку в форме грантов на проекты, российские и другие экоНПО должны были предоставлять западным донорам целый пакет идей и информации. Причем число таких «пакетов» на порядок и более превышало число грантополучателей, поскольку идеи и ноу-хау извлекались изо всех заявок, поданных в ту или иную западную организацию на конкурс [23]. В то же время, сталкиваясь с проблемами и препятствиями, и временами очень серьезными, нельзя не сказать, что международная солидарность и опыт гражданского сотрудничества поверх границ в течение последних 20 лет дают определенную надежду на взаимовыгодное сотрудничество. Многие природные объекты в России удалось сохранить благодаря действиям экологических организаций. Более пристальное внимание стало уделяться особо охраняемым природным территориям. Российские и европейские НПО накопили опыт реализации совместных проектов в различных областях, включая вопросы здоровья, защиты прав человека, окружающей среды, решения социальных проблем, культуры, спорта, молодежи, образования, развития местного самоуправления и многого другого.

Эти инициативы часто произрастали с самого низового гражданского уровня, приносили конкретную пользу обществу и приводили к многолетнему плодотворному и устойчивому сотрудничеству. Реализуемые проекты от локальных инициатив до общеевропейских мега-проектов охватывают значительные группы населения. Они оказывают воздействие на муниципальные, региональные и иногда национальные органы власти и вовлекают их в подобные совместные действия, пытаются участвовать в процессе принятия решений, требуя учета интересов населения и его различных слоев и групп.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в нынешний век глобализации международная кооперация экологических НПО неизбежна. Неуклонно растут вызовы в виде возрастающих техногенных и природных катастроф, требующих совместных усилий. В заключение хотелось бы отметить, что сотрудничество между НПО России и западных стран – положительный пример для правительств, особенно в тот момент, когда они с трудом пытаются понять, как Россия и Запад должны развивать свое партнерство и сотрудничество в перспективе. Вера в ключевую роль НПО как активной и независимой структуры гражданского общества в экономическом, социальном и политическом развитии, а также следования курсу демократии и свободы могут послужить прочным фундаментом плодотворного международного сотрудничества России в современном мире.

Литература

1. *Тимофеев В.П.* Формирование неправительственного сектора в России: Взаимодействие с государством и сотрудничество с Европой // Журн. Актуальные проблемы Европы. 2005. № 3. С. 52.
2. *L. Salamon, H.Anheier* //The international classification of nonprofit organizations. 1996. P.5.
3. *Union of International Associations* //Types of organization in the Yearbook, http://www.uia.be/node/163543
4 *Лысенко В.В.* Гражданское общество и неправительственные организации: внутригосударственный и международно-правовой статус // Журн. Конституционное и муниципальное право. 2008. № 13. С.19.
5. *Аксенова О.В., Халий И.А.* Развитие общественных движений в современной России // Россия реформирующаяся. Ежегодник–2003. М.: Институт социологии РАН, 2003. С.281.
6. *Лебедева Н.* Лидер из среднего класса // Российская газета. 16 ноября 2005.
7. *Штурба Е.В.* Роль международных неправительственных организаций в процессе формирования концептуальных основ внешней политики Российской Федерации в 90-е годы XX в. // Журн. Преподаватель XXI век. 2008. № 4. С.37.
8. *H. Anheier, M. Classias, M. Caldor (eds.)* // Global Civil Society. L. 2001. P. 6.
9. *Алексеева Л.М.* История инакомыслия в СССР: новейший период. Вильнюс – Москва, 1992. С. 6 .
10. *Алексеева Л.М.* История и мировоззрение правозащитного движения в СССР и России// www.polit.ru/article/2006/03/09/lma/
11. *Алексеева Л. М.* История инакомыслия в СССР. С. 291.
12. Указ Главы РК «О комиссии по правам человека при Главе Республики Коми» № 358 от 31декабря 1996 г.
13. *Попов А.А., Опарина Л.О., Четверикова Л.В., Азаров О.И.* Общественно-политическая и культурная жизнь региона//История Коми с древнейших времен до современности. Т. 2. Сыктывкар, 2011. С.673.
14. *Новая постиндустриальная* волна на Западе. Антология / Под ред. В.Л. Иноземцева. М., 1999. 640 с.

15. *Социальные и гуманитарные* науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 5. история: Реферативный журнал. И.Б.Твердохлеб. Рецензия на книгу «Социальные движения на Западе в 70- и 80-е годы XX века». М.,1995.№ 3. С.158–166.
16. *Аксенова О.В.* Социально-экологическая рефлексия на Западе // Журн. История и современность. 2006. № 2. С.164.
17. *Диманис М.Д.* Европейские «зеленые»: рост политического влияния и прорыв к власти (на примере ФРГ) // Журн. Актуальные проблемы Европы. 2000. № 2. С.246.
18. *Халий И.А.* Экологическое движение и власть: формы взаимодействия // Журн. ПОЛИС (политические исследования). 2008. № 4(106). С.130.
19. *Яницкий О.Н.* Россия: экологический вызов (общественное движение, наука, политика). Новосибирск: Сибирский Хронограф, 2002. С.428.
20. *Газета* «Экологический вестник Припечорья». 2009. № 5–6(34–35).
21. *Яницкий О. Н.* Россия: экологический вызов. С.117.
22. *Аксенова О.В., Халий И.А.* Развитие общественных движений в современной России. С. 282.
23. *Яницкий О.Н.* Россия: экологический вызов. С. 128.

Статья поступила в редакцию 15.03.2012.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 338.984

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СТРАТЕГИЧЕСКОМУ ПЛАНИРОВАНИЮ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В.Н. ЛАЖЕНЦЕВ

Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
vnlazhentsev@iespn.komisc.ru

Геосистемный подход к изучению природы и общества представлен как научная основа управления устойчивым развитием. Показаны географические, экономические и организационные аспекты стратегического планирования развития территориально-хозяйственных систем. Приведены примеры критической оценки устойчивого развития Двино-Печорского региона.

Ключевые слова: **идеальные и реальные территориально-хозяйственные системы, динамическая стабильность и устойчивое развитие, схема стратегического планирования**

V.N. LAZHENTSEV. THE METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE STRATEGIC PLANNING OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TERRITORIAL ECONOMIC SYSTEMS

Geosystemic approach to studying nature and society is represented as a scientific basis of management by sustainable development. The geographical, economic and organizational aspects of strategic planning development of territorial-economic systems are shown. The examples of the critical evaluation of sustainable development of the Dvina-Pechora region are given.

Key words: **the ideal and the real territorial economic systems, dynamic stability and sustainable development, scheme of strategic planning**

Понятие «устойчивое развитие» не имеет однозначной трактовки. Различия, прежде всего, наблюдаются в широте охвата изучаемых процессов и явлений: от сбалансированного в пространстве и времени природопользования до сопряжения всех наиболее существенных аспектов жизнедеятельности (материальных и духовных). Изначально (примерно начало 1970 г.) устойчивость рассматривалась под углом зрения необходимости сохранения ресурсовоспроизводящих и средовоспроизводящих функций геосистем. Сохранению подлежала способность природных комплексов устоять от испытаний внешних воздействий и не потерять свое социально-экономическое предназначение. При этом признавалась некая неопределенность понятия «устойчивость» для регионов, состоящих из принципиально разнородных и разнокачественных территорий. Было зафиксировано важное теоретическое положение: устойчивость противоположна стабильности; первое – свойство динамически развивающейся, второе – свойство пассивной системы [1].

В настоящее время понятие «устойчивость» существенно расширено и рассматривается, как правило, в рамках коэволюционного развития природы и общества. Важнейшими принципами такого развития считаются сохранение высокого качества окружающей среды, экономическое развитие в рамках ограниченных ресурсов, решение социальных проблем, обеспечение международной безопасности. Основная цель – благосостояние населения и создание благоприятных условий его жизни; основные механизмы достижения цели – совершенствование экономического нормирования и стимулирования, усиление стратегического планирования, административного регулирования и местного самоуправления [2].

Благополучие современного и будущих поколений людей – основной ориентир устойчивого развития. Он (ориентир) предопределяет методы оценки эффективности функционирования материально-технической базы производства, состояния здоровья, обеспеченности чистым воздухом и чистой водой, уровней достижения гармоничных социальных отношений, безопасности и свободы выбора действий при общепринятых нормах нравственности и морали. Представление людей о благополучии динамично, а потому и устойчивое развитие предполагает движение к новому технико-экономи-

ческому укладу общества и новому социально-экологическому порядку [3].

Обозначенный круг вопросов вновь рассмотрен 20–22 июня 2012 г. в Рио-де-Жанейро на Конференции по устойчивому развитию «Рио+20». Спустя 40 лет после Конференции по окружающей среде для человека (Стокгольм, 1972) и 20 лет после саммита в Рио-де-Жанейро в 1992 г. сделана попытка оценить достигнутый прогресс в создании Мира, основанного на принципах сбалансированного развития. Лозунг «Рио+20» – «Жизненная планета жизнеспособных людей: будущее, которое мы выбираем». В данной статье нами сделана попытка усилить региональный и локальный аспекты данной проблемы и показать стратегическую линию движения к идеалу устойчивости, спроектированному в рамках региональных стандартов социального и экологического благополучия.

Планирование (проектирование) устойчивого развития конструктивно не столько предсказанием будущего, сколько выстраиванием цепочки логических умозаключений по поводу прогресса и возникающих на его пути проблем. Как заметил В.С.Преображенский, «устойчивость» не имманентное научное понятие, а понятие, отражающее рефлексию науки на определенную житейскую ситуацию [1, с.4]. Посылкой к такой рефлексии является стремление социальных систем улучшить свои свойства и качества. Это соответствует представлениям об организации прогнозирования территориально-хозяйственного развития на основе сопряженности и сбалансированности технологических, экономических, социальных, экологических и информационных характеристик хозяйства и соблюдения определенной последовательности процедур прогнозирования [4,5]. Попытаемся также ответить на вопрос: что означает сочетание географического и экономического подходов к изучению и планированию устойчивого развития?

Географические аспекты

Первостепенное значение в географии имеет пространственный масштаб взаимодействия природы и общества, когда однопорядковая таксономия разнокачественных систем служит предпосылкой их согласованного существования. Физическая география и социально-экономическая география имеют собственные таксономические объекты, однако их сопряженное ранжирование позволяет усилить целенаправленность территориального планирования на взаимосвязь природы, населения и хозяйства. Вместе с тем, нельзя не признать правомерным постулат системного анализа, что между частями целого не существует жесткой детерминации.

Один из основоположников учения о геосистемах академик В.Б.Сочава, ссылаясь на Н.Винера, развил мысль о том, что «связи внутри организации не должны быть абсолютно устойчивыми, т.е. строгая определенность одних частей не должна служить препятствием изменению других, с которыми они образуют единую конструкцию» [6, с.29]. Степень свободы природных и общественных геосистем предопределяется их внутренними закономерностями развития; взаимоувязка же строится на учете глубины проникновения природного в социальное.

В.Б.Сочава различал геосистемы планетарной, региональной и топологической размерности. Основная единица первой – физико-географическая область (~2 млн. км^2), второй – физико-географическая провинция (~60 тыс. км^2), третьей – макрогеохора, округ (~ 7 тыс. км^2); их вертикальная мощность – от нескольких десятков метров на топоуровне до 8-17 км на уровне планетарных геосистем. Ученый особое внимание обращал на то, что размерность определяет очень многие свойства геосистем, например, «метаболизм фации (топогеосистема – В.Л.) глубоко отличен от регионального круговорота материи и энергии, а тем более от обмена в планетарном масштабе…» [6, с.31]. Размерность общественных геосистем также тесно связана с их ролью в организации социально-экономического пространства. Гипотетически можно представить макроуровень в виде опорного (крупного) социально-экономического района (~280–300 тыс.км^2), мезоуровень – экономического подрайона (~30–35 тыс.км^2) и микроуровень – локальной хозяйственной системы (~ от 80 до 8 тыс. км^2).

Взаимоувязка природных и общественных систем примерно одинаковой размерности методологически вполне правомерна. Наш опыт сравнения количественных измерений физико-географических провинций с характеристиками хозяйства показал возможность и полезность расчетов природных и природно-ресурсных потенциалов, их ввода в оценку условий экономической деятельности. Установлено, что определенному иерархическому уровню интегрального районирования соответствуют масштаб операционных единиц природопользования и ранг распорядительных центров [5, с.48–54].

Вопросы размерности социально-экономических районов с пониманием специфики общественного воспроизводства на каждом их иерархическом уровне были в поле зрения известных представителей экономической географии. Так, Н.Н.Колосовский, совмещая понятие «производительные силы общества» с масштабом территории, разработал модели энерго-производственных циклов и производственно-территориальных сочетаний в виде основы крупных экономических районов [7, с.88–121]. Б.Н.Зимин применительно к малым развитым странам Западной Европы экономический район рассчитал как «региональный стандарт» с определенной площадью, численностью населения, валовым внутренним продуктом и иерархией поселений [8]. Укажем на авторскую работу, где дана характеристика «идеального образа» основного социально-экономического района [9]. В ней показано, что территориально-хозяйственная система обладает высокой степенью устойчивости, если она является самодостаточной для формирования производительных сил и гармоничного пространственного согласования природно-ресурсной, социальной, расселенческой, производственной, инфраструктурной и организационно-управленческой подсистем. Про-

гнозируется состояние, при котором перечисленные подсистемы и их структурные подразделения приведены в соответствие друг с другом; устойчивость на одном уровне, например, макроэкономическом, достигается без ущерба другому уровню, например, локальному.

Выделены пять уровней комплексов:

- место, семья, дом, домохозяйство, участок, домовладение;
- местность, община, село (микрорайон), предприятие, блок, сход, территориальная общность людей;
- физико-географический округ, поселок (куст расселения), узел, перегон (магистраль), муниципалитет;
- физико-географическая провинция, население низового района, малый и средний город, село-райцентр, территориальный комплекс, сеть коммуникаций, низовое звено государственной власти;
- физико-географическая область, народонаселение, большой город (агломерация, мегаполис, область расселения), экономический район, каркас, региональное правительство.

Подчеркнуты те структурные подразделения, которые в настоящее время являются основными единицами учета и планирования; их экономическое и социальное значение во многом определяется именно размерностью соответствующих геосистем. Так, среди экономических агентов ключевыми являются домохозяйства, через них проходит 63-65% ВВП, производимого в нашей стране; в Москве – 45–47%, Республике Коми – 55–57, Краснодарском крае – 92–94%. Экономико-географические аспекты домохозяйств связаны с ландшафтным проектированием, функциональным зонированием земель, развитием дачного и коттеджного строительства, организацией подсобного (приусадебного) хозяйства. Включение перечисленного в общую схему стратегического планирования приобретает все большую актуальность именно с точки зрения устойчивого развития. Вполне понятна экономическая роль предприятий, но необходимо конструктивно оценить и их экологическую функцию. Зона влияния на природу некоторых средних и крупных предприятий измеряется сотнями квадратных километров и становится еще более значительной, если речь идет о промышленных узлах до 8–10 тыс.км^2.

Специфические экологические характеристики имеют поселения. Особенно необходимо правильно оценивать взаимосвязь природы и хозяйства в больших городах и агломерациях. Рост и снижение агломерационных эффектов обусловлены, в основном, динамикой затрат на охрану и создание городских и пригородных природных комплексов.

Анализ географических аспектов организации общества, выполняемый профессиональными исследовательскими коллективами, показывает, что характерное для настоящего времени усиление социальных аспектов тематики устойчивого развития (бедность, социальная стратификация, малограмотность и т.п.) не должно приводить к отрыву от проблем природопользования. Это тем более важно, когда взаимосвязь природных и технологических факторов социально-экономического развития все еще не приобрела нормативного (количественного) измерения, например, в части ассимиляционного потенциала природных объектов и способности их к саморегулированию.

Требует научного объяснения процесс встречного движения стабильности и устойчивости: в физической географии «стабилизирующая динамика – один из существенных логических критериев учения о геосистемах» [6, с.33], в экономической – на первом месте стоит не стабилизация, а динамика преобразования, перехода из одного качества в другое, что и считается устойчивым развитием. Одно дело – преобразования в хозяйственных укладах, другое – в природе. Множество примеров нерационального природопользования, как раз подтверждают неразумный отход от правила совмещения устойчивости в социальной сфере со стабилизирующей динамикой в сфере природы.

Теоретическая география имеет дело с идеальными образами природных и общественных пространственных систем, прикладная – с реальными. В первом случае проблематика устойчивого развития опирается на учения о биогеоценозах, природно-ресурсных циклах, экономических ландшафтах, линейно-узловых системах, стандартных районах и др. Во втором – на физико-географическое и социально-экономическое районирование, проектирование природно-инженерных и территориально-производственных комплексов, землеустройство, генпланы городов и районов и т.д. Нами показано, что обоснование устойчивого развития общественных геосистем целесообразно рассматривать под углом зрения практической реализации таких географических концепций, как «функция места» [10], «центр-периферия» [11], «периферийные сообщества и сети» [12, 13], «этапность и волновое освоение территории» [14,15]. Они ориентируют на:

- учет природных и исторически приобретенных функций мест (участков земли), изменять которые, как правило, нецелесообразно или весьма дорого;
- понимание стадийности пространственного развития, региональных особенностей генерации и распространения нововведений;
- совмещение экономической эффективности, социальной справедливости и экологической защищенности;
- приобщение отстающих территорий к передовым за счет формирования сетевых структур социальных услуг;
- сочетание стационарных и мобильных форм организации труда, в том числе в связке «город–село» и другие принципы территориального развития.

Экономические аспекты

Концептуальные положения устойчивого развития являются (вернее сказать, должны быть) неотъемлемой частью теории общественного воспроизводства с охватом как социально-экономических,

так и природных составляющих. Это вытекает из современной трактовки хозяйства как природно-социально-технической мегасистемы. Все более практический характер приобретает положение, что стоимость национального и даже мирового товарооборота в конечном счете определяется совокупностью потребностей людей, включая и потребность в приемлемой для жизни окружающей среде. Стоимость даже единичного товара не собирается из частей (отдельных видов затрат), как кажется на первый взгляд, исходя из бухгалтерской калькуляции, она изначально образуется на рынке как целое, которое затем раскладывается на части, в том числе и на охрану природы и воспроизводство ее ресурсов.

Природные ресурсы должны оцениваться на государственном уровне как национальное богатство и входить в систему национальных счетов, на уровне предприятия – как основной фонд, подлежащий амортизации. Только научнообоснованные нормы амортизации материально-технической и природно-ресурсной баз позволят сформировать достаточный для расширенного воспроизводства инвестиционный фонд.

Устойчивость развития природных и общественных геосистем во многом зависит от соответствия финансово-экономических пропорций технологическим, социальным и экологическим параметрам хозяйственной деятельности. На практике этот теоретический принцип зачастую нарушается, а потому нерегулируемая рыночная экономика, особенно спекулятивная, становится тормозом научно-технического прогресса. Примером тому служит ценовой диспаритет, который наносит огромный ущерб сельскому хозяйству[1] и значительный – топливно-энергетическому комплексу[2], а также продовольственному обеспечению населения[3].

Критический анализ экономических аспектов устойчивого развития вновь побуждает к систематизации хозяйственных механизмов. Наша позиция заключается в том, что механизм хозяйства последовательно включает в себя механизмы хозяйствования и управления хозяйством. Такая последовательность на первое место ставит анализ источников и движущих сил развития общества и его территориальных систем, в том числе географическое разделение труда, местные интересы и потребности; на второе – хозяйственные отношения, в том числе по поводу региональной (субфедеральной, муниципальной и общинной) собственности; и только потом, с учетом результатов анализа двух указанных видов механизмов, следует рассматривать регламенты, структуры и стандарты управления с выходом на законотворчество, нормирование и экономическое стимулирование [17, с.28-57]. В механизме устойчивости природных геосистем главным является сопряжение различных сил природы [18]; общественных – согласование интересов различных социальных слоев населения. В организации природопользования приходится учитывать оба основания, природное и социальное.

Таким образом, решение проблем устойчивого развития в значительной мере связано с преодолением экономического детерминизма, имманентного рыночным отношениям. Трудно определить, можно ли это сделать на основе геосистемного подхода к пространственной организации хозяйства, но движение в данном направлении предопределено угрозами экологических катаклизмов, а потому необходимо. Надо принимать, как должное, разнообразие миропорядка, где экономические показатели не всегда играют решающую роль. Здесь уместно вспомнить идеи параллельной экономики, которые развивал в конце 1980-х гг. академик С.С.Шаталин, эксполярной экономики, лежащей за рамками плановых и рыночных систем (идеи Т.Шанина), а также принять во внимание позиции академиков О.Т.Богомолова, Б.Н.Кузыка, член-корр. РАН Б.Н.Порфирьева и многих обществоведов, освещающих неэкономические грани экономики [19].

Автору представляется, что устойчивое развитие северной периферии и особенно глубинных территорий (российской глубинки) связано именно с такого рода идеями. Они служат предпосылкой для правильного определения границ объектов учета, оценки и планирования устойчивого развития, исходя из решающей роли природных геосистем. Ошибочно ограничивать охрану окружающей среды ареалами хозяйственной деятельности, не принимая во внимание экологические функции неосвоенных территорий. Так, в Республике Коми экономически активными являются 47% ее территории, но она (территория) полностью (на 100%) является экологически значимой.

Существующий экономический строй не удовлетворяет условиям устойчивого развития, в первую очередь, по экологическим параметрам. Во всяком случае ясно, что многие проблемы геосистемной организации природы, населения и хозяйства сейчас приходится адресовать маломощным в финансовом отношении субъектам хозяйствования, а это зачастую предопределяет тупиковый характер их рассмотрения.

---

[1] В 2008 г. разработана Концепция устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период 2020 г. Ее исходная позиция – неудовлетворительное состояние сельских социумов, нарушение не только экономики (из-за диспаритета цен), но и недопустимое отстранение от экологической, рекреационной, этнокультурной и духовной функций сельских мест, низкий уровень жизни в селах и деревнях, где в среднем на члена домохозяйства приходится 55–58% от аналогичного показателя по городским домохозяйствам [16].

[2] Отклонение рыночных цен на отдельные виды энергоносителей от их реальной стоимости бывает столь существенным, что продавать, например, сырую нефть становится выгоднее, чем мазут; использовать газ в электроэнергетике стало дешевле, чем уголь, а это значительно сдерживает развитие газохимии.

[3] Ценовой фактор на рынке продовольствия – не единственная угроза продовольственной безопасности. Нарушение биологического и энергетического обмена в сельскохозяйственных угодьях снизило качество продовольствия до уровня крайне опасного для здоровья людей.

Организационные аспекты

Разработанные в Институте социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН методология территориального развития и соответствующие схемы, раскрывающие содержание основных технологических этапов программной деятельности [20], по нашему мнению, можно использовать в управлении устойчивым развитием. Однако предварительно необходимо общие формулировки содержания этапов проектирования систем [4] наполнить конкретным содержанием, критериями и показателями, относящимися именно к геосистемным взаимосвязям и ни к чему другому. В этой связи отметим, что пороговые значения устойчивости природных и общественных геосистем пока не имеют нормативно-количественного выражения. Поэтому управленческие решения в области природопользования в увязке с территориальной организацией хозяйства фиксируются в качестве пожеланий в чей-либо адрес. Так и автор может лишь пожелать научным, проектным и управленческим структурам придерживаться логики устойчивого развития, которая заключается в переходах от идеального образа геосистем к оценке их реального состояния и в приближении реального к идеальному, имеющему заранее заданные свойства и качества, а именно, динамическую стабильность природных комплексов и прогрессивные качественные преобразования в технологиях производства, социальных отношениях и в организации охраны окружающей среды. Но данная методология требует своего конструктивного оформления.

В настоящее время считается, что организационный аспект управления устойчивым развитием на региональном уровне нормативно обозначен в схемах территориального планирования. Выражена надежда на их практическую результативность [21], хотя следует признать, что практика решения задач общественной значимости в нашей стране имеет пока весьма пассивный характер. Неслучайно специалисты в области градостроительства и территориального развития находят много несоответствий между архитектурными, экономическими и правовыми решениями. В последнее время нет органа управления, который бы в полной мере использовал и развивал потенциал геоинформатики, картографии, районного и ландшафтного проектирования, географической экспертологии и ряда других составляющих управления устойчивым развитием.

Пример Двино-Печорского региона

Этот пример необходим для иллюстрации проблем устойчивого развития, возникающих в границах макроэкономических систем. Пример в определенной мере уникален. Дело в том, что на Севере и в Арктике территориально-хозяйственные системы не достигают верхнего уровня – стандартного социально-экономического района. Исключение составляет Двино-Печорский регион (Республика Коми, Архангельская и Вологодская области). Напомним, что весь набор структурных элементов хозяйства стандартного района вмещается на площади примерно 300 тыс.км^2 с населением 4–6 млн.чел. Двино-Печорский регион имеет площадь 1151,2 тыс.км^2, население 3,3 млн.чел. Отклонение от европейского стандарта в 3,5 раза по территории и 1,2 раза по населению для условий российского Севера вполне приемлемо[4], а потому Двино-Печорский регион, действительно, можно считать почти сложившимся крупным экономическим районом.

В формировании свойств и качеств его геосистемности особую роль играют реки. Печора, Северная Двина, Мезень, Онега имеют как бы единый бассейн, лишь слегка разделенный водоразделами. Именно реки исторически предопределяли конфигурацию расселения населения, арктический вектор хозяйственного освоения территории; они и в настоящее время формируют основные параметры охраны окружающей среды. В этой связи нельзя не обратить внимание на существующий ныне «гидрографический» беспорядок: отсутствие речных мелиораций, дноуглубительных работ, обустройства берегов, значительное ухудшение режима водотоков. Более разрушительными стали половодья, увеличилось число миандр и затонов, «затянуло» фарватер, возникли непроходимые судами с 50–80 см погружением барьеры в устьях притоков (рек второго и третьего порядков). Все это снизило уровень и качество жизни большого числа людей, которые ранее считали свою деятельность именно как речную. Весенне-летний завоз «в глубинку» стал возможен только на маломерных судах, поэтому его цена возросла в 1,5-2 раза. Без надежного речного транспорта стала весьма проблематичной организация туризма.

Нарастает тревога относительно сохранения и воспроизводства северотаежных (бореальных) лесов – совокупности лесоболотных геосистем, играющих основную роль в процессах водосбора и регуляции режима рек. В лесном хозяйстве первостепенными становятся задачи снятия угроз, связанных с нежелательной сменой лесообразующих пород и усыханием еловых насаждений; в сельском хозяйстве – утратой сельхозугодий и плодородия почв; в оленеводстве – сокращением биомассы мхов и лишайников как кормовой базы; в добывающей промышленности – истощительным использованием минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов и отставанием в деле их комплексного использования на основе инновационных технологий.

Пример Двино-Печорского региона показывает также необходимость научного объяснения значения в устойчивом развитии «глубинки»[5]. Удален-

---

[4] Северное градостроительство ориентировано на радиус доступности локального центра 100–140 км, базового – 200–250 км, опорного – 700–800 км [22]. Следовательно, площадь тяготения опорного центра составляет здесь 2 млн.км^2 с населением от 1,5 до 3 млн.чел. Такое пространство имеет весьма низкую плотность экономической и социальной деятельности и не может претендовать на статус района.

[5] Под «глубинкой» автор понимает территорию, экономически удаленную от городских поселений (или агломераций) людностью 100 и более тыс.чел. в расчете: время в

ные от развитых центров территории имеют как экологические, так и производственные функции, но их сочетание в разных местах весьма различается. При этом надо признать отсутствие какой-либо ущербности территорий, играющих роль «экологического буфера». Но эта роль должна получить надлежащую экономическую оценку и соответствующую организацию природоохранной деятельности, иначе люди в «глубинке» обречены на бедность.

Проекция геосистемного подхода на Двино-Печорский регион дает новые ориентиры относительно его устойчивого развития дополнительно к тем, которые автор уже показал [24]. Планетарная размерность геосистем здесь представлена Русской равниной и Уралом. Экологические проблемы первой «охватывают» в равной мере Архангельскую, Вологодскую и Коми территории. Региональная размерность представлена физико-географическими провинциями, многие из которых пересекают административно-территориальные границы. Неслучайно, имеющие большое народнохозяйственное значение проекты устойчивого территориального развития (например, [25,26]) являются трансграничными. Такого рода геосистемность усиливает экономические основания межрегиональной интеграции экологической необходимостью.

Заключение

Третья конференция ООН по устойчивому развитию, Рио-де-Жанейро, 2012 (Рио+20) очертила круг глобальных проблем, связанных с неудовлетворительным состоянием энергетики, сельского хозяйства и уровня жизни большинства жителей планеты. Призыв к действиям адресован в основном к правительствам развитых стран, в том числе России, и транснациональным компаниям. Решения конференции имеют политический характер. Вместе с тем, понятие устойчивости, как рефлексии на трудные жизненные ситуации, в значительной мере сопряжено с проблемами регионального и локального уровней.

Теоретически, в виде идеальных систем, можно обозначить пять таких уровней: 1) место – домохозяйство – домовладение; 2) местность – предприятие – сход (община); 3) округ – поселок (село) – муниципалитет; 4) провинция – город (село-райцентр) – низовое звено государственной власти; 5) область – большой город (агломерация) – региональное правительство. Каждый из них представляет общественную геосистему, соотносящуюся с природными геосистемами. Специфика геосистем разной размерности и их взаимосвязь предопределяет характер действий по поводу устойчивого развития.

Географы объясняют естественноисторический путь формирования и развития геосистем, «переводят» их свойства и качества в показатели стратегического территориального планирования. Желаемого состояния геосистем можно достичь, если преодолеть экономический детерминизм, а саму экономику привести в соответствие с технологическими, социальными и экологическими параметрами хозяйства. Взаимосвязь географии и экономики – обязательное условие планирования устойчивого развития. Но остается открытым вопрос – можно ли из множества показателей выбрать (или сформировать) те, которые действительно отражают предметную сущность «устойчивости» и «стабильности».

Изучение проблем устойчивого развития на региональном уровне предполагает, что они (проблемы) могут быть решены не только в рамках официально оформленных, но и не имеющих административного статуса регионов. Пример Двино-Печорского региона указывает на актуальность поиска таких возможностей. Интеграция Республики Коми, Архангельской и Вологодской областей необходима, прежде всего, для предотвращения угроз неустойчивости речного и лесного хозяйства.

Работа выполнена в рамках Программы РАН «Роль пространства в модернизации России: природный и социально-экономический потенциалы» и частично – Программы УрО РАН «Инструменты и механизмы реализации социально-экономической политики северных территорий».

Литература

1. *Устойчивость* геосистем. М.:Наука,1983. 89 с.
2. *Переход* к устойчивому развитию, глобальный, региональный и локальный уровни. Зарубежный опыт и проблемы России. М.: Изд-во КМК, 2002. 444 с.
3. *Природопользование* и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. М.: Изд-во КМК, 2006. 448 с.
4. *Дмитриева Т.Е., Лаженцев В.Н.* Организация прогнозирования территориального развития// Экономика региона. 2010. № 4. С.156–164.
5. *Лаженцев В.Н.* Опыт комплексного исследования проблем территориального развития. Сыктывкар, 2003. 192 с. (Коми научный центр УрО РАН).
6. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
7. *Колосовский Н.Н.* Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2006. 336 с.
8. *Зимин Б.Н.* Малые высокоразвитые страны Западной Европы – теоретические итоги исследования// Изв. РАН. 1993. № 2. С.95–104.

пути до такого центра наземным видом транспорта – 2 и более часа и/или стоимость проезда общественным транспортом составляет дневной (и более) прожиточный минимум, установленный для данного места жительства. Если в Республике Коми отсчет экономической удаленности вести от г.Сыктывкара и Ухта-Сосногорской городской агломерации , то получится, что в «глубинке» проживает около 60% населения; в случае включения в понятие «центр» Воркутинской агломерации – чуть менее 50%. Первая цифра более точна, поскольку население Воркуты в последние годы резко сокращается и в скором времени будет меньше 100 тыс.чел.

Е.Е.Лейзерович под «глубинкой» понимает сельскую периферию. Из 463 экономических микрорайонов России 118 приходится на этот тип. Ниже его по рангу поставлены «медвежьи углы» – 50 единиц; 5,5 млн.км^2; 0,8 % населения страны. Их нет только в Северо-Западном и Центрально-Черноземном экономическом районах [23, с.137–139].

9. *Лаженцев В.Н.* Взаимосвязь теории и практики (пример методологии экономико-географического исследования) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2010. № 3. С.99–105.
10. *Минц А.А., Преображенский В.С.* Функция места и ее изменение// Известия АН СССР. Сер.географ. 1970. № 6. С.118–131.
11. *Грицай О.В., Иоффе Г.В., Трейвиш А.И.* Центр и периферия в региональном развитии. М.: Наука, 1991. 168 с.
12. *Пилясов А.Н.* И последние станут первыми: Северная периферия на пути к экономике знания. М.: Кн. Дом «ЛИБРКОМ», 2009. 544 с.
13. *Дмитриева Т.Е.* Территориальная организация северного региона: масштабы периферии// Север: проблемы периферийных территорий/ Отв. ред. В.Н.Лаженцев. Сыктывкар, 2007. 420 с. (Научный совет РАН по вопросам регионального развития; Коми научный центр УрО РАН).
14. *Космачев К.П.* Пионерное освоение тайги (экономико-географические проблемы). Новосибирск: Наука, 1974. 144 с.
15. *Мосунов В.П., Никульников Ю.С., Сысоев А.А.* Территориальные структуры районов нового освоения. Новосибирск: Наука, 1990. 132 с.
16. *Лаженцев В.Н., Терентьев В.В.* Проблемы и приоритеты социальной политики устойчивого развития сельских территорий (на примере Республики Коми)// Экономика региона. 2011. № 4. С.213–223.
17. *Лаженцев В.Н.* Территориальное развитие: методология и опыт регулирования. СПб.: Наука, 1996. 109 с.
18. *Арманд А.Д.* Механизмы устойчивости геосистем. М.: Наука, 1992. 208 с.
19. *Неэкономические* грани экономики: непознанное взаимовлияние. Научные и публицистические заметки обществоведов/ Рук. междисципл. проекта и науч. ред. О.Г.Богомолов; зам.рук. междисципл. проекта Б.Н.Кузык. М.: Институт экономических стратегий, 2010. 800 с.
20. *Лаженцев В.Н.* Коми научный центр УрО РАН: 60 лет социально-экономическим и энергетическим исследованиям// Вестник РАН. 2009. Т.79. № 12. С.1107–1112.
21. *Территориальное* планирование. Новые функции, опыт, проблемы, решения: сб.ст./ Под ред. А.И. Чистобаева. СПб.: СПбГУ, 2009. 189 с.
22. *Северный* город / Л.К.Панов, В.И. Смирнов, Т.М. Брагина и др.; Науч. ред. Л.А.Тимофеев. Л.: Стройиздат, 1984. 168 с.
23. *Лейзерович Е.Е.* Калейдоскоп малых районов (экономических микрорайонов) России// Современные проблемы общественной географии / Под ред. С.С.Артоболевского и Л.М.Синцерова. М., 2011. С.130–141.
24. *Лаженцев В.Н.* Север (Двино-Печорский регион) – коренная земля россиян, источник ресурсов и знаний// Россия и ее регионы: интеграционный потенциал, риски, пути перехода к устойчивому развитию. М.: Товарищество научных изданий КМ, 2012. С.256–281.
25. *Устойчивое* оленеводство. Ионни-Лео Л. Йернслеттен, рук. проекта. Унив. Тромсё; Константин Клоков, росс. координатор проекта. СПб госуниверситет; Арктический совет 2000–2002. СПб.: Моб«Дик», 2002.
26. *Устойчивое* развитие Печорского региона в изменяющихся условиях природы и общества / Под ред. П.Кури, В.Пономарева и Й.О.Хабека. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2005. 74 с.

Статья поступила в редакцию 09.07.2012.

УДК 339.1: 339.19

ВЛИЯНИЕ ТЕНЕВОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО РЫНКА НА КОНЕЧНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ

А.Е. СУДАКОВА

Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург
a-chusova@mail.ru

Представлены результаты комплексной методики диагностики экономической безопасности потребительского рынка по блоку «Оценка защищенности потребителей». В основу методики положен индикативный метод анализа, при котором диагностика проводится по совокупности критериальных показателей. Показана классификация ущерба потребителей в сравнении с зарубежными исследованиями.

Ключевые слова: **потребительский рынок, теневая экономика, ущерб, потребители, индикативный анализ**

A.E. SUDAKOVA. INFLUENCE OF SHADOW ECONOMIC ACTIVITY IN THE CONSUMER MARKET SPHERE ON THE END CONSUMERS

Results of a complex technique of diagnostics of economic security of the consumer market of the block "Estimation of consumers' security" are presented. An indicative method of the analysis at which the diagnostics is made on the set of criteria parameters, is the basis of the technique. Classification of consumers' detriment in comparison with foreign researches is given.

Key words: **consumer market, shadow economy, detriment, consumers, indicative method of analysis**

Со сменой политического строя произошли значительные структурные изменения, многие сферы оказались не готовыми к быстрой трансформации и противодействию возникшим угрозам. Под наиболее существенной угрозой безопасного функционирования оказалась сфера конечного потребления, которая и в современной России испытывает действие деструктивных факторов. Во-первых, это обусловлено неготовностью властей в условиях рыночной экономики установить оптимальное соотношение между уровнем государственного регулирования и саморегулированием рынка. Во-вторых, функционирование потребительского рынка обострено резким падением предложения со стороны отечественного производства потребительских товаров. В-третьих, действие угроз распространилось на безопасность потребителей, которые оказались не готовы к противодействию данным угрозам: возникновению новых форм обмана, мошенничеству, росту цен, слабой государственной защищенности.

Тем не менее, потребительский рынок остается одним из динамично растущих сегментов российской экономики. Например, индекс физического объема розничной торговли в 2010 г. по отношению к 2000 г. составил 256,4 %, в то время как оборот розничной торговли в денежном выражении за этот же период увеличился в восемь раз (2000 г. – 2352,3 млрд. руб., 2010 г. – 16468,6 млрд. руб.).

Острота и болезненность ситуации в стране на потребительском рынке в значительной мере спровоцированы проблемами, происходящими в экономической, управленческой и социальной структуре общества. В российском законодательстве до сих пор не закреплено определение «потребительский рынок», отсутствует политика защиты потребителей и т.п. Потребительский рынок подвержен влиянию большого количества угроз. Данные угрозы в первую очередь направлены на конечного потребителя. Одной из основных угроз потребительскому рынку, по нашему мнению, является влияние теневой экономики. К примеру, по расчетам Федеральной службы государственной статистики уровень теневой экономики в розничной торговле составляет около 40%.

Несмотря на то, что вопросы теневой экономики постоянно вызывают интерес, начиная с 30-х гг. XX в. – зарубежных и с 80-х гг. XX в. российских ученых, тем не менее нет единого толкования данного понятия. На основе проведенного анализа исследования теневой экономики [1], в том числе в сфере потребительского рынка, автор в своей работе придерживается следующего определения *теневой экономики – это совокупность экономи-*

ческих отношений, преднамеренно скрываемых или искаженных осуществляющими ее субъектами на свой риск, направленных на получение прибыли путем нарушения законодательных, налоговых, административных, трудовых и других норм, наносящих ущерб государству и участникам потребительского рынка. Теневая экономика в сфере потребительского рынка оказывает непосредственное влияние на конечного потребителя и снижает его уровень защищенности, нанося различного рода ущерб.

Автором предложена схема ущерба, которому подвержен потребитель в условиях влияния теневой экономики, а также несовершенства государственного управления с выделением факторов, способствующих его появлению (рис. 1).

В основу классификации положены два определения, которые широко распространены в зарубежной литературе [3–6], но в российской практике они еще не закрепились. Прежде всего – это *личный ущерб.* Он понимается как негативный исход для потребителя относительно некоторых критериев, таких как ожидание и разумное ожидание. Во-вторых – *структурный ущерб.* Он включает потери дополнительной полезности вследствие рыночных или регулирующих неудач, когда регулирование порождает больше экономических затрат, чем пользы. Вследствие структурного ущерба ограничивается выбор, происходит повышение потребительских цен. В отличие от личного ущерба результат сравнивается относительно того, что могло бы произойти при отсутствии рыночных и регулирующих неудач.

Для оценки влияния теневой экономики в сфере потребительского рынка на конечного потребителя основной статистической базой являются данные Министерства внутренних дел РФ [2]. Основные статьи, которые позволяют проанализировать ущерб потребителям – это статьи Уголовного кодекса РФ и Кодекса об административных правонарушениях РФ: ст. 159 УК РФ (мошенничество), ст. 14.7 КоАП РФ (обман потребителей), а также статьи, которые дают косвенную оценку: незакон-

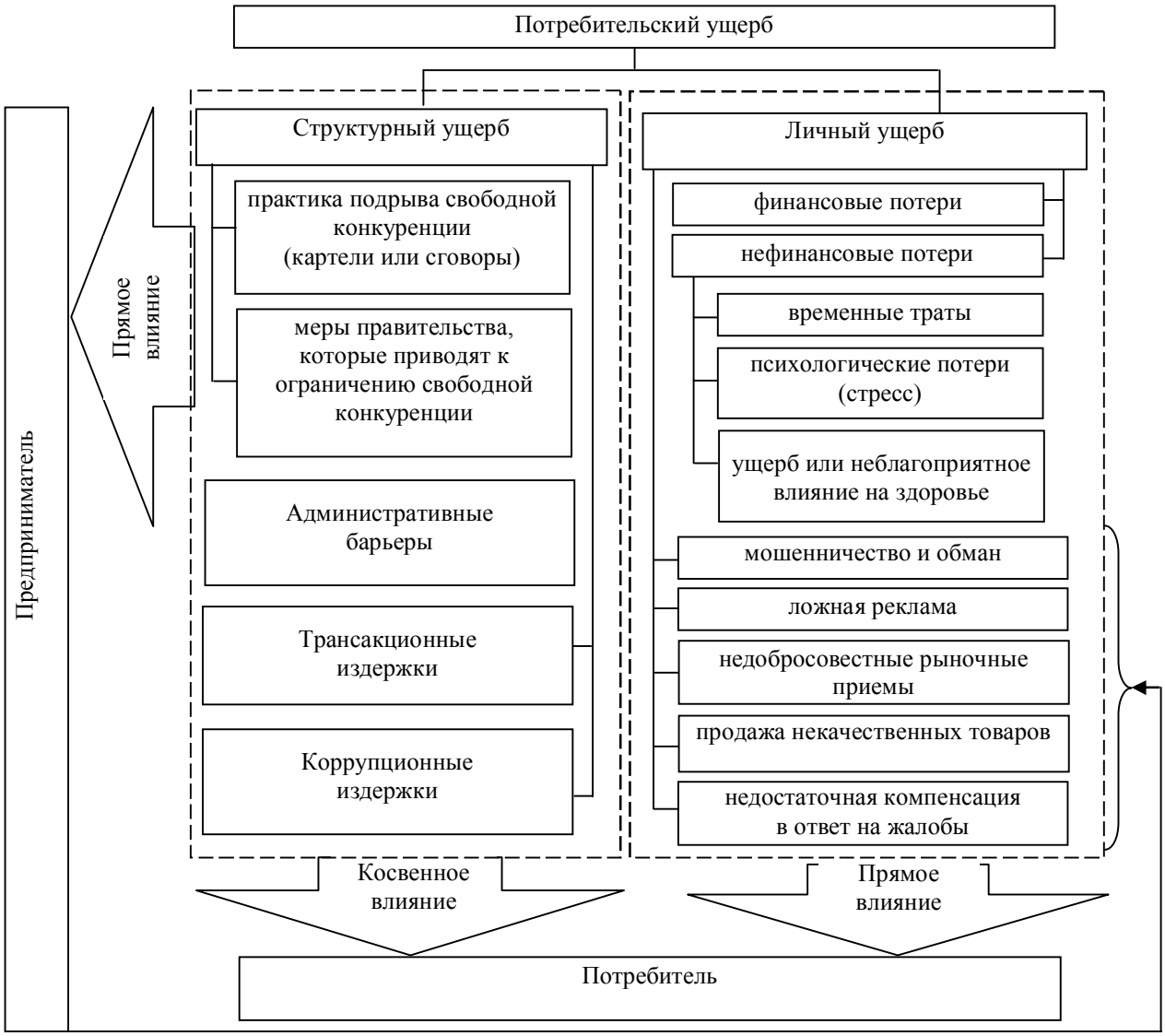


Рис. 1. Схема потребительского ущерба.

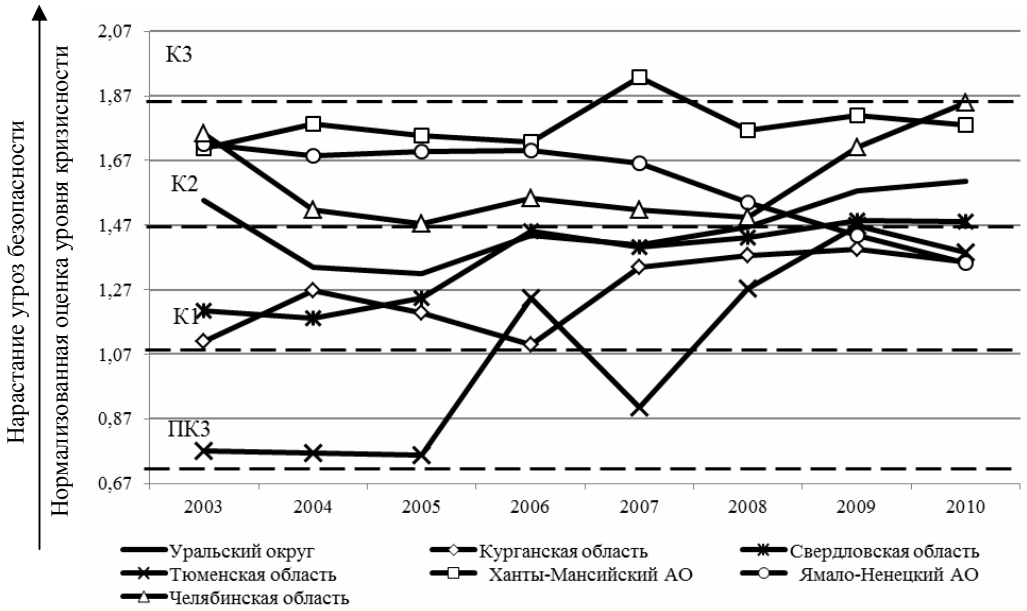
ная или с нарушением продажа товаров, незаконное или с нарушениями выполнение работ и оказание услуг (ст.ст. 14.2, 14.4, 14.15 КоАП РФ и др.; ст.ст.188, 227, 238 УК РФ и др.). Кроме названных официальных источников нами предлагается использовать метод экспертных оценок для выявления по видам нарушений коэффициента латентности [1, с.222-228].

Для объективной оценки влияния теневой экономики ситуацию необходимо проанализировать и количественно. На основе индикативного метода анализа нами был создан методический инструментарий. При этом по аналогии с задачами диагностики экономической безопасности [7, с. 29–38] по каждому из индикаторов были введены следующие градации оценок ситуаций: нормальная, предкризисная, кризисная. Предкризисная зона разбивается в свою очередь на три стадии: соответственно предкризис 1 (начальная стадия), предкризис 2 (развивающаяся стадия), предкризис 3 (критическая стадия, грозящая переходом в кризисную зону). Кризисная зона также разбивается на три стадии – кризис 1 (нестабильная стадия), кризис 2 (угрожающая стадия), кризис 3 (чрезвычайная стадия). Оценка состояния защищенности конечного потребителя и влияние на него теневой экономической деятельности проведена, исходя из следующих положений: уровень правонарушений оценен на основе официальных данных Федеральной службы госстатистики, Министерства внутренних дел России и собственных данных автора (опросы экспертов). Этот показатель характеризует действительное состояние конечного потребителя; количество общественных организаций, направленных на защиту прав потребителей, а также доступность общественных организаций. Наличие программ, направленных на защиту потребителей, говорит об уровне их просвещенности, правах и возможных мерах защиты. Этот показатель косвенно характеризует работу органов государственных, областных и муниципальных властей по защите потребителей.

Анализ ситуации проводился в период 2003 – 2010 гг. на примере субъектов Российской Федерации, входящих в состав Уральского федерального округа (УрФО) (рис. 2). За анализируемый период наблюдалось снижение уровня защищенности потребителей. Свердловская область и ХМАО имели кризисное угрожающее состояние (К2), Челябинская область – кризисное чрезвычайное состояние (К3) и кризисное нестабильное состояние (К1); ЯНАО, Курганская и Тюменская области были на грани с К1 и К2. В 2003 г. кризисное угрожающее состояние (К2) наблюдалось в трех субъектах – ХМАО, Челябинская и Курганская области, К1 – в Свердловской и Курганской областях; ситуация в Тюменской области оценивалась как нормальная.

Что касается мер защиты потребителей, то для данного модуля предусмотрены мероприятия и стратегии повышения уровня грамотности и защищенности потребителей. Среди немногочисленных мер стоит отметить следующие: оперативно-профилактическое мероприятие «Потребитель», проводимое МВД в субъектах УрФО. (К сожалению, данное мероприятие не имеет широкого распространения); телефоны горячих линий (Роспотребнадзор, МВД и др.); телепередачи, информирующие потребителей об обманах различного рода.

Защищенность потребителей в УрФО находится на низком уровне. Концепции и стратегии повышения уровня их защищенности отсутствуют.



Примечание. Обозначение состояний по безопасности: ПК3 – предкризисное критическое состояние; К1 – кризисное нестабильное состояние; К2 – кризисное угрожающее состояние; К3 – кризисное чрезвычайное состояние.

Рис. 2. Результат расчета методики по модулю оценки защищенности потребителей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках проекта проведения научных исследований («Потребительский рынок России: диагностика отраслевых и региональных проблем формирования, разработка мер по снижению негативных тенденций»), проект № 12-32-01001а1.

Литература

1. *Чусова (Судакова) А.Е.* Потребительский рынок России: диагностика отраслевых и региональных проблем / Под ред. д.э.н., проф. А.А. Куклина, д.э.н. Г.А. Агаркова. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2012. 280 с.
2. *Сборник по России* о преступности в сфере экономики. За январь-декабрь 2003–2010 гг. М.: ГИАЦ МВД России, 2004. 648 с.; 2005. 637 с.; 2006. 637 с.; 2007. 637 с.; 2008. 642 с.; 2009. 648 с.; 2010. 648 с.; 2011. 648 с.
3. *Measuring Consumer* Detriment under conditions of imperfect information / Hunter J.; Ioannidis C.; Iossa E. Office of Fair Trading, London (United Kingdom). 24 p. [Электронный ресурс]. URL: http://www.oft.gov.uk/shared_oft/reports/consumer_protection/oft354.pdf (дата обращения: 06.08.2012).
4. *Consumer Detriment* under Conditions of Imperfect Information. Prepared for the Office of Fair Trading by London Economics. [Электронный ресурс]. URL: http://www.oft.gov.uk/shared_oft/reports/consumer_protection/oft194.pdf (дата обращения: 06.08.2012).
5. *Europe Economics* (July 2007), "An analysis of the issue of consumer detriment and the most appropriate methodologies to estimate it," DG SANCO: [Электронный ресурс]. URL: http://ec.europa.eu/consumers/strategy/docs/study_consumer_detriment.pdf (дата обращения: 06.08.2012).
6. *Measuring Consumer* Detriment from Postal Quatly-Pris Misperptions in Franse from Postal Workshop, Aston University, Birmingham. 2011. 30 p. [Электронный ресурс]. URL: http://www.londecon.co.uk/le/publications/pdf/CCRP%20working%20paper.pdf (дата обращения: 06.08.2012).
7. *Экономическая безопасность* Свердловской области / Под науч. ред. Г.А. Ковалевой и А.А. Куклина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 455 с.

Статья поступила в редакцию 07.08.2012.

МИХАИЛ ПАВЛОВИЧ РОЩЕВСКИЙ

5 марта 2013 г. исполнилось 80 лет выдающемуся ученому и организатору науки, основоположнику нового направления в физиологии сравнительной электрокардиологии – академику **Михаилу Павловичу Рощевскому.**

Интерес к биологии Михаил Павлович начал проявлять, будучи учеником средней мужской школы г.Тюмени. По окончании школы он поступает на биологический факультет Уральского государственного университета им. А.М.Горького. С первых дней учебы его научные интересы сосредотачиваются на изучении физиологических процессов в живых организмах. Молодого исследователя направляет и поддерживает его учитель – видный генетик, доктор биологических наук Василий Иванович Патрушев.

После окончания университета в 1955 г. Михаила Павловича, как одного из самых одаренных студентов, оставляют на кафедре физиологии лекционным ассистентом. Одновременно с чтением лекционного курса он начинает активную научно-исследовательскую работу и в 1959 г. защищает диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук, научным руководителем которой был его наставник Василий Иванович Патрушев. Исследования М.П. Рощевского посвящены проблемам сравнительной и эволюционной электрокардиологии и экологической физиологии человека и животных. Им был обнаружен и описан необычный для млекопитающих вид активации миокарда желудочков типа “вспышка”, характерный для копытных животных. Предложенная им методика фронтальных и сагиттальных отведений электрокардиограмм получила всемирное признание и вошла в международные учебники по физиологии животных.

В декабре 1960 г. М.П. Рощевский вместе с семьей переезжает в Сыктывкар, на работу в Коми филиал АН СССР, где им была создана необходимая база для фундаментальных исследований. В 1969 г. М.П. Рощевский в Институте физиологии им. И.П.Павлова защищает докторскую диссертацию. На основе сравнительных исследований сердечной деятельности у представителей разных классов позвоночных животных в начале 1970-х гг. М.П.Рощевским было обосновано новое для своего времени научное направление – эволюционная электрокардиология. В рамках данного направления М.П.Рощевским с сотрудниками впервые установлены основные закономерности структурно-функциональной организации возбуждения интрамуральных слоев сердца у рыб, амфибий, рептилий, птиц и многих видов млекопитающих. Ученый создал и развил новое направление в физиологии – сравнительную электрокардиологию.

Под руководством Михаила Павловича разработаны новые методы исследования функционального состояния сердца человека и животных, основанные на многоканальных синхронных измерениях, компьютерном анализе и математическом моделировании параметров кардиоэлектрического поля. М.П.Рощевский внес значительный вклад в исследование механизмов адаптации человека и животных к экологическим условиям Севера. Впервые установлены на диких копытных животных закономерности адаптивных реакций сердечной деятельности как одного из функциональных звеньев, обеспечивающих температурный гомеостаз организма в экстремальных условиях Севера.

Начатые М.П.Рощевским в середине 1970-х гг. исследования в области физиологии труда привели в итоге к формированию более широкого направления – экологической физиологии человека на Севере. Круг изучаемых проблем по исследованию механизмов адаптации человека и животных существенно расширился в результате создания по инициативе М.П.Рощевского в 1988 г. Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, который под его руководством сформировался в академическое научно-исследовательское учреждение, обеспеченное высококвалифицированными научными кадрами. Результаты исследований М.П. Рощевского использованы при разработке законодательных актов по сохранению традиционной среды обитания и сферы жизнедеятельности коренных народов Севера.

Михаил Павлович является автором более 450 научных публикаций, в том числе восьми монографий. Нельзя не отметить активное участие М.П.Рощевского в качестве научного редактора многих изданий. В 1980 г. Михаилу Павловичу присвоено ученое звание профессора, в 1987 г. он избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1990 г. – действительным членом АН СССР.

Научную и педагогическую работу Михаил Павлович сочетает с научно-организационной деятельностью. В 1970 г. его назначают заместителем председателя Президиума Коми филиала АН СССР, а с 1983 по 2006 г. М.П.Рощевский – председатель Президиума Коми филиала АН СССР (ныне Коми научный центр УрО РАН).

Возглавляемый им Коми научный центр УрО РАН стал одним из крупнейших научных

центров страны на северо-востоке России. Благодаря его инициативе в Сыктывкаре созданы три новых академических института (физиологии, химии, социально-экономических и энергетических проблем Севера). Одновременно он существенно расширяет поле деятельности Коми научного центра УрО РАН, создав его филиалы в Архангельске, Кудымкаре, Екатеринбурге, Кирове. На базе этих филиалов впоследствии появились два новых института. По инициативе и при непосредственном участии М.П.Рощевского в 2001 г. создан Коми научный медицинский центр Северо-Западного отделения Российской академии медицинских наук.

Неутомимый ученый, энтузиаст-организатор, вместе с академиками Г.А.Месяцем и Г.А.Толстиковым Михаил Павлович Рощевский является основателем Уральского отделения Российской академии наук, был заместителем председателя Уральского отделения РАН по научной работе, заместителем председателя Объединенного ученого совета по биологическим наукам УрО РАН, членом бюро Отделения физиологии РАН (с 2002 г. – Отделения биологических наук РАН), членом Центрального совета Всероссийского физиологического общества им. И.П. Павлова. В настоящее время М.П. Рощевский – член бюро Отделения физиологии и фундаментальной медицины РАН.

С 2007 г. Михаил Павлович является советником РАН и главным научным сотрудником Лаборатории сравнительной кардиологии Коми научного центра УрО РАН. На сегодняшний день он продолжает вести научную, организационную и педагогическую деятельность.

Михаил Павлович – горячий патриот российского Севера и ставшей ему родной Республики Коми. Он является Почетным гражданином г.Сыктывкара. Созидатель по духу и призванию активно участвует в общественной жизни республики. Пропагандируя достижения науки, пишет научно-популярные статьи в газетах, выступает с лекциями в учебных заведениях. Обладая неиссякаемой творческой энергией, колоссальной работоспособностью, стремлением к изучению неизведанного, свое свободное время он посвящает осваиванию одну за другой разнообразных сфер деятельности – от книжной верстки до цифровой фотосъемки (среди работ, которым могут позавидовать даже профессионалы – передвижная художественная портретная галерея «Физиологи» и др.)

Заслуги М.П. Рощевского высоко оценены в нашей стране и за рубежом. Он награжден юбилейной медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина» (1970), бронзовой медалью ВДНХ СССР (1973), орденом Трудового Красного Знамени (1975), Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Коми АССР в связи с 200-летием города Сыктывкара (1980), медалью «Ветеран труда» (1984), медалью Физиологического общества им. И.П.Павлова (1993), Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Российской Федерации, орденом Дружбы народов (1994), орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени (1999). В 1983 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Коми АССР». Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники (2003 г.). В 2004 г. академику М.П. Рощевскому была объявлена благодарность Президента Российской Федерации за большой вклад в развитие отечественной науки и подготовку высококвалифицированных кадров. Награжден знаком отличия «За заслуги перед Республикой Коми» за многолетнюю безупречную работу к 90-летию Республики Коми.

Кроме того, он награжден неправительственными наградами: юбилейной медалью в честь 150-летия со дня первой публикации финского эпоса «Калевала», международным орденом «Рыцарь Белого Креста» за гуманность и справедливость, памятной столетней медалью Школы ветеринарной медицины Пенсильванского университета за исследования в области сравнительной электрокардиологии.

Михаил Павлович – яркий и незаурядный ученый, достигший высоких должностей и званий, мирового признания, – всегда остается интеллигентным и душевным человеком. Желаем Вам, дорогой Михаил Павлович, крепкого здоровья, дальнейшей плодотворной работы!

редколлегия

АФАНАСИЙ НИКОЛАЕВИЧ ТУРУБАНОВ

26 января 2013 г. исполнилось 75 лет известному ученому-историку и общественному деятелю, главному научному сотруднику сектора отечественной истории Института языка, литературы и истории Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, доктору исторических наук, профессору, заслуженному деятелю науки Республики Коми **Афанасию Николаевичу Турубанову.**

А.Н. Турубанов внес существенный вклад в разработку нескольких важнейших научных направлений. Первое из них – изучение социально-экономической истории Республики Коми XX в. Афанасием Николаевичем была исследована проблема формирования и развития советского рабочего класса в Коми АССР и индустриального развития региона в 1918–1980 гг. Он является признанным лидером по изучению научной проблемы «История фабрик и заводов, городов и сел Республики Коми». По этой теме опубликованы монографии «Промышленные рабочие Коми АССР. 1918–1970 гг.», «История Сыктывкара», «Первенец индустрии республики. Страницы истории Сыктывкарского лесопильно-деревообра-

батывающего комбината», «Профессия – строитель» (очерки истории ордена Трудового Красного Знамени «Главкомистроя») и др.

В дальнейшем научные изыскания ученого трансформировались в изучение истории формирования и функционирования новых территориальных и ресурсных баз страны. В результате исследований была опубликована серия монографий «Строительный комплекс Республики Коми в XX веке», «Топливный комплекс Республики Коми в XX веке», «Лесной комплекс Республики Коми в XX веке» (в соавторстве) и других работ.

Следующим важным направлением исследований Афанасия Николаевича является изучение проблем социальной истории и, в частности, истории национально-государственного строительства и межнациональных отношений в Республике Коми, социально-политических процессов в регионе в целом. Он автор (соавтор) обобщающих статей и карт в «Энциклопедии Республики Коми. В 3-х томах» (1997, 1999, 2000 гг.), «Атласа Республики Коми» (2001, 2011 гг.),

Огромный вклад внес А.Н. Турубанов в подготовку и издание двухтомной «Истории Коми с древнейших времен до конца XX века» (1-е изд. – в 2004 г., 2-е изд., испр. и доп. – в 2011 г.). Афанасий Николаевич явился не только ответственным редактором второго тома, но и автором многих глав и разделов этого труда. В данной монографии ученым был проведен сквозной анализ важнейших вопросов функционирования индустриальных отраслей народного хозяйства Республики Коми, показана роль края в деле создания военно-промышленного комплекса в СССР как в 20–30-е гг. XX в., так и в последующие годы прошлого столетия. В частности, изучен ход формирования одной из северных баз промышленности страны, особенно в развитии ее добывающих производств, исследованы проблемы создания крупной производственно-технической базы развития всех индустриальных отраслей народного хозяйства Республики Коми, выявлены особенности функционирования индустрии региона в специфических условиях нашего Севера, научно-технического прогресса, кадровых проблем, уровня жизненных условий работников края.

Под научным руководством А.Н. Турубанова были изданы ряд книг по результатам историографических изысканий ученых Республики Коми, а также несколько документальных сборников («Историография Коми. Материалы по истории Коми, вып. 2)», «Экономико-экологический фактор в развитии межнациональных отношений на Европейском Северо-Востоке России XX века» (составитель), «Коми АССР в годы Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.). 2-е изд., доп. и перераб.», «Лесная промышленность Республики Коми. 1961–1990 гг. Кн. 1, кн. 2»; «Лесная промышленность Коми АССР. 1917–1960 гг.)» и др.

Афанасий Николаевич много внимания уделяет научно-организационной деятельности. Более 20 лет он руководил сектором истории советского периода (впоследствии отделом отечественной истории). За это время подготовлено около 30 кандидатов и докторов наук, из них у шести соискателей научным руководителем или консультантом был А.Н. Турубанов. Четверть века Афанасий Николаевич осуществляет координацию научных исследований с другими научными подразделениями Республики Коми, Российской Федерации, являясь организатором форумов ученых как в нашей стране, так и за рубежом.

А.Н. Турубанов пользуется заслуженным авторитетом в Республике Коми и за ее пределами, является ученым секретарем Коми регионального экспертного совета Российского гуманитарного научного фонда «Русский Север: история, современность, перспективы», членом коллегии Архивного агентства Республики Коми, членом научного совета Национального архива Республики Коми. В течение многих лет он являлся членом Диссертационного совета по присуждению ученой степени кандидата исторических наук в Вологодском государственном пединституте, заместителем председателя Диссертационного совета по присуждению ученой степени кандидата исторических наук в Сыктывкарском государственном университете. Афанасия Николаевича хорошо знают и высоко ценят коллеги – историки Москвы, Екатеринбурга, Архангельска, Вологды, Петрозаводска, других городов нашей страны. Поздравляем уважаемого Афанасия Николаевича со знаменательной датой и желаем крепкого здоровья и неиссякаемой энергии.

редколлегия

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(13). Сыктывкар, 2013.

ПОТЕРИ

1 февраля 2013 г. на 83-м году жизни ушел из жизни доктор исторических наук, заслуженный деятель науки Республики Коми, лауреат Государственной премии Республики Коми в области науки, выдающийся ученый-археолог, ведущий специалист в изучении эпохи раннего металла Южного Зауралья и Северного Приуралья

ВЛАДИМИР САВЕЛЬЕВИЧ СТОКОЛОС

В.С.Стоколос родился 11 марта 1930 г. в Кустанайской области, в крестьянской семье. После окончания школы в 1948 г. поступил, а в 1953 г. закончил историческое отделение Уральского государственного университета (г. Свердловск, ныне Екатеринбург), избрав своей специальностью археологию.

После окончания университета работал в Челябинском областном музее. В процессе многолетних полевых исследований им были открыты и исследованы многочисленные памятники по древней истории Южного Урала. В 1963 г. В.С.Стоколос поступил в аспирантуру Коми филиала АН СССР (г. Сыктывкар). За годы обучения в аспирантуре была подготовлена кандидатская диссертация на тему «Древнее население лесостепного Зауралья (периодизация и хронология)», успешно защищенная в 1968 г. в Институте археологии АН СССР (г.Москва). После окончания аспирантуры в 1966–1970 гг. Владимир Савельевич работал в Башкирском филиале АН СССР (г. Уфа) в должности старшего научного сотрудника. На основе кандидатской диссертации им была подготовлена и опубликована монография «Культура населения бронзового века Южного Зауралья» (М., 1972), в которой автор на основе анализа обширного круга источников приходит к выводу о принадлежности памятников федоровского, алакульского и замараевского типов к разным археологическим культурам. Ранее они рассматривались как этапы единой андроновской культуры. Ученым была разработана новая периодизация и хронология культур эпохи бронзы Южного Урала. В 1971–1972 гг. В.С.Стоколос преподавал в Челябинском институте культуры.

Наиболее плодотворным в творческой биографии исследователя был период его работы в Институте языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН (1972 – 2012 гг.). В 1972 г. он возглавил сектор археологии, выделившийся из отдела этнографии и археологии Института языка, литературы и истории Коми филиала АН СССР. За период руководства сектором (1972–1984 гг.) им сформирован коллектив археологов, специализирующихся по всем периодам древней и средневековой истории региона. Сектор пополнился молодыми специалистами, выпускниками Ленинградского, Пермского, Уральского, Иркутского, Сыктывкарского университетов (П.Ю.Павлов, А.М.Мурыгин, И.В.Верещагина, И.О.Васкул, А.В.Волокитин, Л.И.Ашихмина, М.В.Кленов), что позволило значительно расширить географию полевых исследований, прежде всего, слабо изученных регионов и приступить к углубленному изучению отдельных эпох. Были открыты и исследованы археологические памятники в бассейнах Северной Двины, Вычегды, Печоры, Мезени, Большеземельской тундре. Это нашло отражение в опубликованной В.С.Стоколосом (совместно с К.С.Королевым) первой в историографии Коми монографии «Археологическая карта Коми АССР» (1984 г.), в которую вошли все известные к тому времени археологические памятники (536).

В.С.Стоколос внес выдающийся вклад в исследование археологических культур эпохи позднего неолита, энеолита и бронзового века Северного Приуралья. Им были открыты и изучены десятки памятников в различных районах Республики Коми и за ее пределами. Но особые успехи достигнуты в изучении древнейшей истории населения бассейна Мезени, который практически являлся белым пятном на археологической карте европейского Северо-Востока. С 1973 по 1983 г. в долине Мезени и Вашки В.С.Стоколосом совместно с А.М.Мурыгиным было открыто около 100 разновременных археологических памятников, среди которых значительную часть составляли поселения эпохи раннего металла. Итоги этих исследований ученым были обобщены в двух монографиях «Древние поселения Мезенской долины» (М., 1986) и «Культуры раннего металла Северного Приуралья» (М., 1988).

В первой монографии подведены итоги многолетних полевых исследований поселений периода позднего неолита – энеолита Мезенской долины, выделены две археологические культуры позднего неолита – энеолита: чужъяельская и чойновтинская, определены ареалы, разработана хронология и периодизация, исследован их генезис. В фундаментальной монографии «Культуры эпохи раннего металла Северного Приуралья» на основе систематизации и обобщения всех имеющихся на тот период источников, полученных автором в процессе раскопок на Мезени, Печоре и в Большеземельской тундре, а также его предшественниками и коллегами, им убедительно аргументирована схема развития и взаимодействия культур Северного Приуралья от позднего неолита до поздней бронзы. В.С.Стоко-

лосом разработана также принципиально иная концепция историко-культурного развития в рассматриваемую эпоху населения Северного Приуралья. В общности гребенчатой керамики эпохи энеолита наряду с чужъяельской и чойновтинской культурами обосновано выделение новых культурных типов – гребенчатой керамики типа Конецбор V и керамики йоркутинского типа. Определено историко-культурное место памятников с накольчатой керамикой, появление которых в Северном Приуралье связывается с западным импульсом. Впервые в данной работе автором проанализированы древности бронзового века и определены их историко-культурные позиции – атаманнюрской, коршаковской, лебяжской культур, памятников с крестовой и текстильной керамикой.

Важным итогом многолетних плодотворных исследований В.С.Стоколоса стала докторская диссертация – «Энеолит и бронзовый век Северного Приуралья», которая в 1992 г. защищена в Институте археологии РАН (г. Москва). В ней на основе глубокого анализа всего комплекса источников дана реконструкция материальной и духовной культуры населения Северного Приуралья в эпоху энеолита-бронзы, социальной организации общества, рассмотрены некоторые вопросы этнической истории. По мнению диссертанта, чужъяельская культура на неолитической стадии развития входила в нераспавшуюся финно-угорскую общность, ее распад на угорскую (в Зауралье) и финно-пермскую (к западу от Урала) отнесен к началу энеолита, средней стадии чужъяельской культуры. Исследователь считает, что со времени нео-энеолита до финальной бронзы в этническом составе населения Северного Приуралья ведущая роль принадлежит финно-пермскому (прафинно-пермскому) этносу, хотя в бронзовом веке прослеживается продвижение извне различных групп населения – из Зауралья, европейских тундр, Волго-Камья, среди которых были самодийцы, палеоазиаты, индоевропейцы.

Владимир Савельевич отличался потрясающей работоспособностью. В последние годы жизни он увлеченно занимался расшифровкой знаковых систем, обнаруженных им на десятках глиняных сосудов, культовых фигурках, бересте в культурных слоях памятников Мезени, Вычегды, Печоры, Заполярья, Ямала. Им было высказано предположение, что обнаруженные знаки представляют собой древние рисунки и письменные знаки, связанные с воздействием ближневосточных цивилизаций. Его последняя публикация «Древние рисунки и письменные знаки Севера России: Северное Приуралье, север Западной Сибири»(2011 г.) посвящена именно этой проблеме.

За годы научной деятельности В.С. Стоколосом написано более 120 работ общим объемом более 170 а.л., из них опубликовано более 90 печ.л. Он автор и соавтор семи монографий, из них шесть посвящены древностям Северного Приуралья. Для научных трудов Владимира Савельевича Стоколоса характерны фундаментальность, основательность, аргументированность научных выводов. И вполне логично, что его вклад в науку был по достоинству оценен. В 1998 г. он удостоен звания лауреата Государственной премии Республики Коми в области науки как один из авторов коллективной монографии «Археология Республики Коми», в 2000 г. Владимиру Савельевичу присвоено звание «Заслуженный работник Республики Коми».

В.С.Стоколос похоронен в деревне Загородье Максатихинского района Тверской области. Светлая память о Владимире Савельевиче Стоколосе, большом Ученом, фанатично преданном археологии, неутомимом полевике, целеустремленном талантливом Человеке с непоколебимой верой в правильность избранного им научного пути, навсегда сохранится в памяти коллег и друзей.

Э.Савельева

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 подрисуночные подписи.

Во введении (заголовком не выделяется) в максимально лаконичной форме должны быть изложены цель, существо и новизна рассматриваемой задачи с обязательным кратким анализом данных наиболее важных и близких по смыслу работ других авторов. Однако введение не должно быть обзором литературы. В разделе «Материал и методы» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования. Единицы измерения следует приводить в Международной системе СИ. Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование, и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «Результаты и обсуждение» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой, и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

---

* Включен в перечень ведущих периодических изданий ВАК.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок, и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9-10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится и слово «Таблица» не пишется.

Рисунки представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисуночные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисуночных подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 pix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль –9-10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

Фотографии представляют нескрепленными на белой глянцевой бумаге в двух экземплярах (один из них чистый, без каких-либо надписей) в конверте. Желательно обрезать их до необходимого размера репродукции, чтобы они попадали в размеры страницы. На обратной стороне (на полях) фотографий простым карандашом указываются фамилии первого автора, название статьи, порядковый номер рисунка, его верх или низ. Подрисуночные подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

Математические и химические обозначения и формулы печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (c, 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 (∑) 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 ВИНИТИ 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". Патентообладатель(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 коллегию не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 7-10 дней должен вернуть ее в редакционную коллегию или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и дискета не возвращаются.

Требования к электронной версии статьи

При подготовке материалов для журнала с использованием компьютера рекомендуются следующие программы и форматы файлов.

Текстовые редакторы: Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается с соблюдением следующих правил:

- набирать текст без принудительных переносов;
- разрядки слов не допускаются;
- уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются **в порядке их упоминания в тексте;** нумеровать следует лишь те формулы и уравнения, на которые даются ссылки в тексте;
- в числовых значениях **десятичные разряды отделяются запятой;**
- вставка символов **Symbol.**

Графические материалы: *Растровые рисунки* должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi (точек на дюйм) для остальных рисунков (черно-белый). Использование других форматов нежелательно.

Векторные рисунки (не диаграммы) должны предоставляться в формате программы, в которой они созданы: CorelDraw. Adobe Illustrator. Если использованная программа не является распространенной, необходимо сохранить файлы рисунков в формате Enhanced Windows Metafile (EMF) или Windows Metafile (WMF).

Диаграммы: Рекомендуется использовать Microsoft Excel, Origin для Windows (до версии 6.0).

Не рекомендуется пользоваться при работе программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:
Ответственному секретарю редакционной коллегии
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»
Надежде Валериановне Ладановой
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24,
Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 209
Тел. (8212) 24-47-79; тел, факс (8212) 24-17-46
E-mail: journal@presidium.komisc.ru.
www.izvestia.komisc.ru

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып. 1(13)

Редактор Т.В.Цветкова
Компьютерный дизайн и стилистика Р.А.Микушев
Компьютерное макетирование Н.А.Сулейманова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Компьютерный набор. Подписано в печать 22.03.2013.
Формат бумаги 60x84 1/8. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 15,75. Уч.-изд.л. 15. Тираж 300. Заказ № 12.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.