

Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Коми научный центр
УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

№4(12)

2012

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),
чл.-корр. РАН И.М. Роцевская, 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. Калинин, акад. В.А. Коротеев, к.т.н. Н.А. Манов,
акад. В.П. Матвеев, акад. Г.А. Месяц, акад. Ю.С. Оводов,
чл.-корр. РАН Е.В. Пименов, акад. М.П. Роцевский,
чл.-корр. РАН А.Ф. Титов, акад. В.Н. Чарушин, д.т.н. Н.Д. Цхадая*

Адрес редакции:

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

ISSN 1994-5655

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

© Коми научный центр УрО РАН, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.Ф. Соколов.** Моделирование системы робастного слежения при неизвестных верхних границах возмущений и помехи измерений. Ч. I. Оценивание верхних границ..... 4
- В.И. Пунегов.** Математическое моделирование рентгеновской дифракции на пористых кристаллах. 2. Диффузное рассеяние10

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- М.А. Батурина, О.А. Лоскутова, Е.Б. Фефилова, Л.Г. Хохлова.** Зообентос озера Большой Харбей (Большеземельская тундра): современное состояние и анализ ретроспективных данных21
- А.В. Пастухов.** Микроморфологическое строение мерзлотных и длительно сезонно-промерзающих суглинистых почв европейского Северо-Востока.....30
- Е.В. Жангуров, Ю.А. Дубровский, А.А. Дымов.** Характеристика почв и растительного покрова высотных поясов хребта Малды-нырд (Приполярный Урал).....40
- О.Н. Курочкина, В.П. Нужный.** Сосудистый континуум у больных с терминальной почечной недостаточностью в условиях Севера.49
- К.С. Пугачев, А.А. Кребс, И.В. Филиппов.** Мультисенсорные процессы переработки информации в первичных корковых представительствах сенсорных систем головного мозга54

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.Л. Андреев, К.В. Куликова, А.Н. Ларионов.** U–Pb возраст плагиогранитов Малыко (Полярный Урал).....60
- Р.И. Шайбеков.** Новые данные о возрасте пород габбро-долеритового комплекса Пайхойского антиклинория (Россия, Ненецкий автономный округ).....67

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- А.В. Каньгин, В.О. Некучаев, В.С. Сухомлинов.** Распространение звука в плазме самостоятельного газового разряда азотосодержащих газов74
- А.И. Кобрунов.** Математическая модель томографии на давлениях при контроле за разработкой нефтяных месторождений82

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Э.А. Савельева.** Вячеслав Ильич Канивец (к 85-летию со дня рождения).....87
- А.М. Мурыгин.** Вклад В.И. Канивца в археологическое изучение древних святилищ Урала93
- Т.Ю. Туркина.** Вклад В.И. Канивца в формирование фонда археологии и экспозиции Национального музея Республики Коми.....97

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

- Н.М. Большаков, В.В. Жиделева.** Концептуальные основы устойчивого развития регионального лесного сектора: теория, методология, практика 100
- В.Э. Тоскунина, А.Г. Шеломенцев, О.В. Губина, А.А. Проворова.** Теоретико-методологические подходы к формированию региональной социально-экономической политики северных территорий..... 107
- Л.А. Попова, С.А. Сукнёва.** Демографическое развитие Республики Коми и Республики Саха (Якутия): общее и особенное..... 112

ХРОНИКА 120

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ) 123

CONTENTS

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

- V.F. Sokolov.** Modeling of robust tracking system under unknown upper bounds of perturbations and measurement noise. Part I: estimation of upper bounds..... 4
- V.I. Punegov.** Methemathical simulation of x-ray diffraction on porous crystals. 2. Diffuse scattering10

BIOLOGICAL SCIENCES

- M.A. Baturina, O.A. Loskutova, E.B. Fefilova, L.G. Khokhlova.** Zoobenthos of the lake Bolshoi Kharbei (Bolshezemelskaya tundra).....21
- A.V. Pastukhov.** Micromorphological structure of permafrost-affected and seasonally long-term freezing loamy soils of the European Northeast30
- E.V. Zhangurov, Yu.A. Dubrovsky, A.A. Dymov.** Characteristics of soil and vegetation cover of the altitudinal belts of Malydy-Nyrd ridge (Sub-Polar Urals).....40
- O.N. Kurochkina, V.P. Nuzhny.** Vascular continuum in patients with terminal renal failure in the North49
- K.S. Pugachev, A.A. Krebs, I.V. Filippov.** Multisensory information processing in primary sensory cortical areas of brain sensory systems.....54

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

- V.L. Andreichev, K.V. Kulikova, A.N. Larionov.** U-Pb age of the Malyko plagiogranites (Polar Urals)60
- R.I. Shaybekov.** New data on the age of rocks of the gabbro-dolerite complex in the Pai-Khoi anticlinorium (Nenets Autonomous District, Russia)67

TECHNICAL SCIENCES

- A.V. Kanygin, V.O. Nekuchaev, V.S. Sukhomlinov.** Sound propagation in gas discharge plasma of gases with nitrogen impurity.74
- A.I. Kobrunov.** Mathematical model of tomography at pressures at control over the development of oil fields82

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

- E.A. Savelyeva.** Vyacheslav I. Kanivets (to 85-birth anniversary).....87
- A.M. Murygin.** V.I. Kanivets contribution in archaeological study of ancient sanctuaries of the Urals.....93
- T.Yu. Turkina.** The contribution of V.I.Kanivets in formation of collection of archaeological items, and the exposition of the National Museum of the Republic of Komi97

SOCIAL SCIENCES

- N.M. Bolshakov, V.V. Zhideleva.** Conceptual bases of sustainable development of regional forest sector: theory, methodology, practice..... 100
- V.E. Toskunina, A.G. Shelomentsev, O.V. Gubina, A.A. Provorova.** Theoretical and methodological approaches to formation of regional social and economic policy of northern territories 107
- L.A. Popova, S.A. Sukneva.** Demographic development of the Komi Republic and the Republic of Sakha (Yakutia): general and special..... 112

- CHRONICLE** 120

- OFFICIAL (ANNIVERSARIES)** 123

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РОБАСТНОГО СЛЕЖЕНИЯ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ВЕРХНИХ ГРАНИЦАХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ПОМЕХИ ИЗМЕРЕНИЙ. Ч.1. ОЦЕНИВАНИЕ ВЕРХНИХ ГРАНИЦ

В.Ф. СОКОЛОВ

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

В статье приводится описание и результаты численного моделирования задачи робастного слежения для объекта управления с дискретным временем при неизвестных верхних границах возмущений. Передаточная функция номинальной модели управляемого объекта предполагается известной, а верхние границы внешнего возмущения, помехи измерений и операторных возмущений по выходу и управлению считаются неизвестными. Алгоритм робастного слежения базируется на ослабленной верификации оценок верхних границ в замкнутом контуре и использовании соответствующего такой верификации показателя качества задачи слежения в качестве идентификационного критерия. В первой части статьи излагаются метод ослабленной верификации и алгоритм вычисления оптимальных оценок верхних границ.

Ключевые слова: робастное управление, задача слежения, ограниченное возмущение, неопределенность, помеха измерений

V.F. SOKOLOV. MODELLING OF ROBUST TRACKING SYSTEM UNDER UNKNOWN UPPER BOUNDS ON PERTURBATIONS AND MEASUREMENT NOISE. PART I: ESTIMATION OF UPPER BOUNDS.

This paper presents an algorithm for robust synthesis in the ℓ_1 setup in tracking problem under incomplete prior information. Nominal model in the form of linear discrete-time single-input single-output system is assumed to be known and the upper bounds on exogenous disturbance, measurement noise and coprime factor perturbations to be unknown to controller designer. Robust synthesis is based on relaxed model validation and treating the associated control criterion as the identification criterion. The first part of the paper presents the method of the relaxed model validation and an algorithm for computing the optimal estimates of upper bounds.

Key words: robust control, tracking problem, bounded disturbance, uncertainty, measurement noise

Введение

Термин робастное управление означает управление системами, в описании которых помимо внешних детерминированных возмущений имеются "внутренние" неопределенности. Эти неопределенности учитывают возможные отличия математического описания управляемого объекта от некоторой "средней" (возможно упрощенной) математической модели, называемой номинальной, и могут трактоваться как операторные возмущения в номинальной модели. Трудность применения результатов теории робастного управления ко многим реальным задачам вызвана неполнотой априорной информации, включающей знание номинальной модели и верхних границ всех допустимых возмущений [1]. Эта трудность стала причиной активных исследований в области идентификации для робастного управления,

начавшихся в 1990-х гг. и продолжающихся до настоящего времени (см. относительно недавние специальные выпуски ведущих международных журналов по теории управления [2, 3]). Однако хорошо известный разрыв между теориями робастного управления и идентификации систем, порожденный тем обстоятельством, что все теории робастного управления являются детерминированными, а классические теории идентификации относятся к системам со стохастическими внешними возмущениями без операторных возмущений, остается в основном не устраненным до настоящего времени (см. обзоры [4, 5]).

В данной работе задача робастного синтеза рассматривается в рамках ℓ_1 -теории робастного управления, основы которой были заложены в [6, 7]. В ℓ_1 -теории роль основного сигнального пространства играет пространство ℓ_∞ ограниченных ве-

ществленных последовательностей, внешние возмущения и помехи измерений описываются ограниченными последовательностями без стохастических свойств, а неопределенности модели предполагаются нестационарными и/или нелинейными и трактуются как операторные возмущения с ограниченной индуцированной нормой.

Рассматривается задача отслеживания известного конструктору задающего сигнала, именуемая задачей робастного слежения. Номинальная модель в виде линейной стационарной динамической системы с дискретным временем предполагается известной, а верхние границы внешнего возмущения, помехи измерений и операторных возмущений – неизвестными. Показателем качества замкнутой системы управления служит верхний предел модуля ошибки слежения. Основная трудность в решении задачи заключается в необходимости оценивания верхних границ возмущений по данным измерений. Предлагаемое решение базируется на идее использования множественного оценивания неизвестных параметров [10] и идее использования показателя качества задачи управления в качестве идентификационного критерия, предложенной в [8, 9].

В первой части статьи приводится постановка задачи и классический анализ робастного качества системы слежения при известных верхних границах возмущений. Описывается метод верификации оценок неизвестных верхних границ, основанный на включении помехи измерений в состав внешнего возмущения, и базирующийся на этом методе верификации метод вычисления оптимальных оценок.

Основные обозначения

$A := B$ – A равно B по определению.

ℓ – линейное пространство вещественных последовательностей $x = (x(0), x(1), \dots)$.

ℓ_∞ – нормированное пространство ограниченных вещественных последовательностей с нормой

$$\|x\| = \sup_t |x(t)|.$$

$$\|x\|_{ss} := \limsup_{t \rightarrow \infty} |x(t)| \text{ для } x \in \ell.$$

Линейная стационарная причинная система $G : \ell_\infty \rightarrow \ell$ называется устойчивой, если

$$\|G\| := \sup_{x \neq 0} \frac{\|Gx\|}{\|x\|} < +\infty.$$

Любая линейная стационарная причинная система G характеризуется своей передаточной функцией $G(\lambda) = \sum_{k=0}^{+\infty} g_k \lambda^k$, $\lambda \in \mathbb{C}$, и для устойчивой системы справедливо представление $\|G(\lambda)\| := \|G\| = \sum_{k=0}^{+\infty} |g_k|$.

1. Постановка задачи

Пусть поведение объекта управления моделируется разностным уравнением

$$a(q^{-1})y(t) = q^{-d}b(q^{-1})u(t) + v(t), \quad t \in \mathbb{N} = \{0, 1, 2, \dots\}, \quad (1)$$

где $y(t) \in \mathbb{R}$ – неизмеряемый выход объекта в момент времени t , $u(t) \in \mathbb{R}$ – управление, $v(t) \in \mathbb{R}$ – суммарное возмущение в объекте. Взаимно простые

полиномы от оператора сдвига назад q^{-1} ($q^{-1}x(t) := x(t-1)$)

$$a(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_nq^{-n},$$

$$b(q^{-1}) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_mq^{-m}, \quad b_0 \neq 0,$$

и запаздывание в управлении d ($d \geq 1$) характеризуют номинальную модель управляемого объекта и предполагаются известными. Суммарное возмущение v в модели (1) имеет вид

$$v := w + \delta_y \Delta_1 y + \delta_u \Delta_2 u, \quad (2)$$

где $w \in \ell_\infty$ – неизвестное внешнее возмущение, удовлетворяющее ограничению

$$\|w\| \leq \delta_w, \quad (3)$$

и Δ_1, Δ_2 – неизвестные нормализованные операторные возмущения, удовлетворяющие ограничениям

$$|(\Delta_1 y)(t)| \leq \sup_{t-\mu \leq s < t} |y(s)|, \quad |(\Delta_2 u)(t)| \leq \sup_{t-\mu \leq s < t} |u(s)| \quad (4)$$

для всех $t \in \mathbb{N}$. Параметр μ в неравенствах (4) характеризует память операторных возмущений и предполагается известным. Неизвестные неотрицательные числа δ_w, δ_y и δ_u характеризуют соответственно верхние границы внешнего возмущения w и норм (коэффициентов усиления) операторных возмущений $\delta_y \Delta_1$ и $\delta_u \Delta_2$.

Измеряемый выход объекта управления имеет вид

$$z(t) = y(t) + m(t), \quad (5)$$

где $m(t) \in \mathbb{R}$ – неизвестная помеха измерений в момент времени t , удовлетворяющая ограничению

$$\|m\| \leq \delta_m \quad (6)$$

с неизвестной верхней границей $\delta_m \geq 0$. Введем обозначение

$$\delta := (\delta_w, \delta_y, \delta_u, \delta_m)$$

для набора неизвестных верхних границ всех возмущений.

Пусть

$$r \in \ell_\infty$$

– известный ограниченный задающий сигнал, т.е. желаемый выход объекта управления.

Управление объектом осуществляется регулятором K вида

$$K : \quad \alpha_t(q^{-1})u(t) = \beta_t(q^{-1})z(t) + \gamma(q^{-1})r(t+d), \quad (7)$$

где $\alpha_t(q^{-1})$ ($\alpha_t(0) = 1$) и $\beta_t(q^{-1})$ – полиномы от оператора сдвига назад q^{-1} и $\gamma(q^{-1}) = \sum_{k=0}^{+\infty} \gamma_k \lambda^k$ – заданная (выбранная конструктором) устойчивая передаточная функция.

Содержательная постановка задачи заключается в построении по данным измерений полиномов α_t и β_t , гарантирующих по возможности меньшую верхнюю границу для асимптотического показателя качества

$$J_\mu(K, \delta) := \sup_{\Delta_1, \Delta_2} \sup_{\|w\| \leq \delta_w} \sup_{\|m\| \leq \delta_m} \|z - r\|_{ss}, \quad (8)$$

в котором операторные возмущения Δ_1 и Δ_2 удовлетворяют ограничениям (4).

Поставленная задача относится к задачам синтеза робастного управления в условиях неполной априорной информации, и смысл слов “по возможности меньшую верхнюю границу” в содержательной формулировке задачи будет поясняться по ходу изложения.

Для решения задачи необходимо преодолеть следующие основные теоретические и вычислительные трудности. Оптимальный стационарный робастный регулятор (т.е регулятор вида (7) с постоянными полиномами α и β) зависит не только от коэффициентов полиномов a и b номинальной модели, но и от верхней границы δ_u . Поэтому для применения оптимального регулятора нужно в процессе управления оценивать верхнюю границу δ_u по данным измерений

$$z_0^t = (z(0), z(1), \dots, z(t))$$

и

$$u_0^{t-1} = (u(0), u(1), \dots, u(t-1))$$

с целью подстройки регулятора. Для решения этой задачи будет использоваться ослабленная верификация модели, основанная на включении помехи измерений в состав внешнего возмущения и влекущая некоторое ослабление цели управления. Верификация модели дает совокупность согласованных с измерениями линейных неравенств на верхние границы возмущений, служащих ограничениями в задаче оптимального оценивания верхних границ. При этом в качестве идентификационного критерия используется показатель качества задачи слежения. Для обеспечения разрешимости задачи оптимального оценивания в замкнутом контуре необходимо обеспечить как равномерную ограниченность по времени числа ограничений в задаче оптимального оценивания, так и численную разрешимость задачи минимизации показателя качества относительно полиномов α и β . Наконец, требуется теоретически обосновать гарантируемое качество управления и убедиться в эффективности решения с вычислительной точки зрения.

2. Качество робастного слежения при известных верхних границах возмущений

Поскольку предлагаемый метод синтеза робастного регулятора базируется на использовании показателя качества задачи слежения как идентификационного критерия, приведем сначала оценку качества слежения в классической постановке, при которой набор верхних границ δ предполагается известным, а регулятор (7) – стационарным:

$$\alpha(q^{-1})u(t) = \beta(q^{-1})z(t) + \gamma(q^{-1})r(t+d). \quad (9)$$

Так как получение явного представления для показателя качества $J_\mu(K, \delta)$ замкнутой системы (1)-(6), (9) является открытой проблемой, мы будем использовать наилучшую известную верхнюю оценку этого показателя качества, полученную в рамках ℓ_1 -теории робастного управления. Для описания этой наилучшей оценки введем необходимые обозначения. Обозначим через $\chi(\lambda)$ характеристический полином замкнутой системы управления без возмущений:

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

Необходимым условием устойчивости (и, тем более, робастной устойчивости) замкнутой системы является устойчивость полинома $\chi(\lambda)$ (все корни $\chi(\lambda)$ должны лежать вне замкнутого единичного круга комплексной плоскости). Введем обозначения для устойчивых передаточных функций в замкнутой системе:

$$G_{yv}(\lambda) = \frac{\alpha(\lambda)}{\chi(\lambda)}, \quad G_{uv}(\lambda) = \frac{\beta(\lambda)}{\chi(\lambda)},$$

$$G_{ym}(\lambda) = \frac{\lambda^d b(\lambda)\beta(\lambda)}{\chi(\lambda)}, \quad G_{um}(\lambda) = \frac{a(\lambda)\beta(\lambda)}{\chi(\lambda)},$$

$$G_{yr}(\lambda) = \frac{b(\lambda)\gamma(\lambda)}{\chi(\lambda)}, \quad G_{ur}(\lambda) = \frac{\lambda^{-d} a(\lambda)\gamma(\lambda)}{\chi(\lambda)}.$$

В работах [11, 12] показано, что при достаточно естественном дополнительном предположении об асимптотическом поведении сигналов $(G_{yr} - 1)r$, $G_{yr}r$ и $G_{ur}r$ справедливо предельное представление

$$J_\mu(K, \delta) \nearrow J(K, \delta) \text{ при } \mu \rightarrow +\infty, \quad (10)$$

где

$$J(K, \delta) := \|(G_{yr} - 1)r\|_{ss} + \delta_m(1 + \|G_{ym}\|) + \quad (11)$$

$$+ \frac{\|G_{yv}\|}{1 - \delta_y \|G_{yv}\| - \delta_u \|G_{uv}\|} \times [\delta_w +$$

$$+ \delta_y (\|G_{yr}r\|_{ss} + \delta_m \|G_{ym}\|) + \delta_u (\|G_{ur}r\|_{ss} + \delta_m \|G_{um}\|)]$$

– значение показателя качества (8), вычисленное для более широкого класса операторных возмущений с конечной или затухающей памятью (см. подробности в [11, 12]). Знак \nearrow в (10) означает монотонную сходимость снизу при $\mu \rightarrow +\infty$. Другими словами, верхняя оценка $J(K, \delta)$ показателя качества $J_\mu(K, \delta)$ является асимптотически точной при $\mu \rightarrow +\infty$. Таким образом, значение $J(K, \delta)$ представляет собой наилучшую доступную в ℓ_1 -теории робастного управления оценку показателя качества $J_\mu(K, \delta)$.

Представление (11) подразумевает ограничение на верхние границы операторных возмущений

$$\delta_y \|G_{yv}\| + \delta_u \|G_{uv}\| < 1. \quad (12)$$

В силу теоремы 8 [11] это неравенство является необходимым и достаточным условием робастной устойчивости системы (1)–(7) в классе операторных возмущений с конечной или затухающей памятью и неконсервативным достаточным условием робастной устойчивости в рассматриваемом классе возмущений с ограниченной памятью (4).

3. Верификация модели

Верификация модели заключается в проверке непротиворечивости описания объекта в виде системы (1)-(6) и данных измерений. В случае неизвестного набора верхних границ δ верификации данными измерений подлежит этот набор верхних границ. В работе [12] показано, что неконсервативная верификация модели (1)-(6), подразумевающая необходимые и достаточные условия непротиворечивости, практически нереализуема ввиду ее неприемлемой вычислительной сложности. Поэтому для реше-

ния поставленной задачи далее будет использоваться вариант ослабленной верификации, основанный на включении помехи измерений в состав внешнего возмущения. Подставляя в уравнение (1) представление неизмеряемого выхода $y(t) = z(t) - m(t)$, вытекающее из (5), получаем уравнение модели объекта управления относительно измеряемого выхода z

$$a(q^{-1})z(t) = q^{-d}b(q^{-1})u(t) + a(q^{-1})m(t) + v(t). \quad (13)$$

Учитывая неравенство

$$|a(q^{-1})m(t)| \leq \delta_m(1 + \sum_{k=1}^n |a_k|) = \delta_m \|a\|,$$

из уравнений и неравенств (13) и (2)–(6) получаем

$$\begin{aligned} |a(q^{-1})z(t) - q^{-d}b(q^{-1})u(t)| &\leq \\ &\leq \delta_w + \delta_m \|a\| + \delta_y p_y(t) + \delta_u p_u(t) \quad \forall t \in \mathbb{N}, \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$p_y(t) := \sup_{t-\mu \leq s < t} |y(s)|, \quad p_u(t) := \sup_{t-\mu \leq s < t} |u(s)|. \quad (15)$$

Величина $p_y(t)$ недоступна для вычислений, поскольку y – неизмеряемый выход объекта. Воспользуемся неравенством

$$p_y(t) \leq p_z(t) + \delta_m, \quad p_z(t) := \max_{t-\mu \leq s < t} |z(s)|. \quad (16)$$

Из неравенств (14) и (16) следует

$$\begin{aligned} |a(q^{-1})z(t) - q^{-d}b(q^{-1})u(t)| &\leq \\ \delta_w + \delta_m \|a\| + \delta_y \delta_m + \delta_y p_z(t) + \delta_u p_u(t), \quad t \in \mathbb{N}. \end{aligned} \quad (17)$$

Введем обозначение

$$\delta_e := \delta_w + \delta_m \|a\| + \delta_y \delta_m. \quad (18)$$

Тогда неравенства (17) принимают вид

$$|a(q^{-1})z(t) - q^{-d}b(q^{-1})u(t)| \leq \delta_e + \delta_y p_z(t) + \delta_u p_u(t), \quad t \in \mathbb{N}. \quad (19)$$

Именно неравенства (19) относительно сокращенного набора переменных

$$\hat{\delta} = (\delta_e, \delta_y, \delta_u)$$

будут использоваться для верификации оценок набора $\hat{\delta}$ при управлении объектом с неизвестным набором верхних границ δ . Смысл введения переменной (18) и неравенств (19) заключается в исключении из рассмотрения помехи измерений путем ее включения во внешнее возмущение. Хотя неравенства (19) являются всего лишь следствием уравнений (1)–(6), они позволяют сделать полезный вывод в “обратном” направлении: рассматривая последовательность z как выход модели (1) с внешним возмущением, ограниченным постоянной δ_e , и с нулевой помехой измерений, можно оценить сверху асимптотическую ошибку слежения $\|z - r\|_{ss}$.

Теорема 1. Пусть управление неизвестным объектом осуществляется регулятором (9). Пусть z и u – последовательности измеряемых выходов и управлений в замкнутой системе управления. Если некоторый набор неотрицательных чисел $\hat{\delta} = (\delta_e, \delta_y, \delta_u)$ удовлетворяет неравенствам (19), то

$$\|z - r\|_{ss} \leq \hat{J}(K, \hat{\delta}) := J(K, (\hat{\delta}, 0)) = \quad (20)$$

$$\|(G_{yr} - 1)r\|_{ss} + \frac{\|G_{yv}\|(\delta_e + \delta_y \|G_{yr}\|_{ss} + \delta_u \|G_{ur}\|_{ss})}{1 - \delta_y \|G_{yv}\| - \delta_u \|G_{uv}\|}.$$

Обратный переход от неравенств, верифицирующих некоторую модель управляемого объекта, к уравнениям модели лежит в основе метода рекуррентных целевых неравенств в теории адаптивного управления [13].

4. Вычисление семейства субоптимальных регуляторов

Поскольку неравенство (20) будет далее служить характеристикой качества слежения в замкнутой системе управления, нас будет интересовать задача минимизации показателя качества $\hat{J}(K, \hat{\delta})$ по K , т.е. по полиномам α и β стационарного регулятора (9). В настоящем разделе приводится алгоритм вычисления семейства субоптимальных робастных регуляторов, аппроксимирующих с наперед заданной точностью множество всех оптимальных относительно показателя качества $\hat{J}(K, \hat{\delta})$ регуляторов для всех возможных значений $\hat{\delta}$. Перейдем к описанию этого алгоритма. Воспользуемся известной параметризацией семейства всех линейных стационарных регуляторов, стабилизирующих объект управления (1) без возмущений (см., например, [13, 14]):

$$\alpha(\lambda) = G_{yv}(Q) := G_{yv}(\lambda) = \alpha^0(\lambda) - \lambda^d b(\lambda) Q(\lambda), \quad (21)$$

$$\beta(\lambda) = G_{uv}(Q) := G_{uv}(\lambda) = \beta^0(\lambda) - \alpha(\lambda) Q(\lambda), \quad (22)$$

где $Q(\lambda) = \sum_{k=0}^{+\infty} q_k \lambda^k$ – произвольная устойчивая передаточная функция и $\alpha^0(\lambda)$ и $\beta^0(\lambda)$ – решение уравнения Безу

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

(решение существует для взаимно простых $\alpha(\lambda)$ и $b(\lambda)$).

Пусть $K(Q)$ обозначает регулятор (9) с полиномами $\alpha(\lambda)$ и $\beta(\lambda)$, соответствующими параметру $Q(\lambda)$ параметризации (21), (22), а $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$ обозначают соответствующие передаточные функции $G_{yv}(\lambda)$ и $G_{uv}(\lambda)$. Положим для упрощения обозначений

$$\hat{J}(Q, \hat{\delta}) := \hat{J}(K(Q), \hat{\delta}), \quad (23)$$

чтобы отразить зависимость интересующего нас показателя качества от параметра Q . Поскольку передаточные функции $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$ являются аффинными функциями от $Q(\lambda)$, задача оптимального робастного синтеза

$$\hat{J}_{opt}(\hat{\delta}) := \inf_Q \hat{J}(Q, \hat{\delta}) \quad (24)$$

становится задачей бесконечномерного дробно-линейного программирования относительно последовательности импульсных откликов $\{q_k\}$ передаточной функции $Q(\lambda) = \sum_{k=0}^{+\infty} q_k \lambda^k$ (см. подробности в [15, 16]).

Для наглядного представления вычисления семейства субоптимальных регуляторов приведем геометрическую интерпретацию решения задачи (24). Рассмотрим множество

$$D := \{ (\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|) \mid Q \in l_1 \} \quad (25)$$

пар норм передаточных функций $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$, соответствующих всем параметрам $Q = (q_0, q_1, \dots) \in \ell_1$, т.е. всем устойчивым передаточным функциям $Q(\lambda)$ параметризации (21), (22). Условное изображение части множества D , представляющей интерес в задачах синтеза регуляторов, приведено на рис. 1, где множеству D соответствуют точки сверху-справа от жирной кривой, называемой *компромиссной кривой*. Поскольку любые разумные постановки задач синтеза оптимальных регуляторов связаны с той или иной минимизацией норм передаточных функций, интерес представляют только регуляторы, соответствующие точкам на компромиссной кривой. Следует сказать, что в силу сложности задач оптимального робастного синтеза их точное решение, как правило, недоступно, и нас будет интересовать их приближенное решение с заданной точностью. Заметим, что в силу аффинности передаточных функций $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$ по Q и выпуклости по G функции $\|G\|$ на пространстве ℓ_1 множество D является выпуклым.

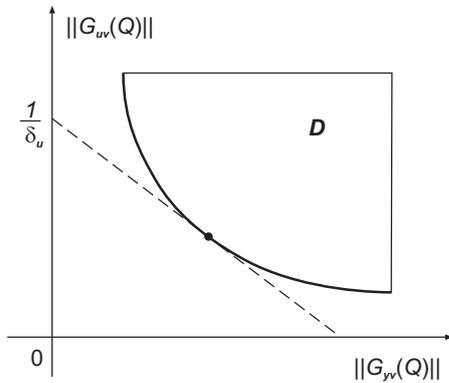


Рис. 1. Жирная линия — компромиссная кривая. Кружком отмечена оптимальная пара $(\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|)$, соответствующая минимуму $\hat{J}(Q, \hat{\delta})$ по Q .

Оптимальная пара $(\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|)$, соответствующая решению задачи (24), является точкой касания множества D касательной к этому множеству, проходящей через точку с координатами $(0, 1/\delta_u)$ [15, 16]. Множество оптимальных пар $(\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|)$, соответствующих всевозможным значениям верхней границы $\hat{\delta}$, лежит на компромиссной кривой и, как можно показать, заполняет компромиссную кривую. Нетрудно видеть, что аппроксимировать компромиссную кривую с наперед заданной точностью можно, находя точки касания множества D и конечного семейства касательных с достаточно богатым набором нормальных векторов $(1 - \nu, \nu)$, $0 \leq \nu \leq 1$. Оптимальная пара $(\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|)$, соответствующая касательной с нормальным вектором $(1 - \nu, \nu)$, $0 \leq \nu \leq 1$, является решением так называемой задачи смешанной чувствительности

$$\inf_Q (1 - \nu)\|G_{yv}(Q)\| + \nu\|G_{uv}(Q)\|.$$

Соответствующий алгоритм аппроксимации компромиссной кривой сформулируем в следующем виде. Выберем натуральное (достаточно большое) число

аппроксимирующих точек $N + 1$ и положим

$$\varepsilon_1 := \frac{1}{N}, \quad \nu_k := k\varepsilon_1 \text{ для } k = 0, 1, \dots, N. \quad (26)$$

Выберем также положительные числа ε_2 (достаточно малое) и C_Q (достаточно большое) и для $k = 0, 1, \dots, N$ обозначим через Q_k решения следующих задач линейного программирования относительно полиномиальных функций $Q_k(\lambda)$:

$$(1 - \nu_k)\|G_y(Q_k)\| + \nu_k\|G_u(Q_k)\| \leq \quad (27)$$

$$\leq \inf_{\|Q\| \leq C_Q} (1 - \nu_k)\|G_y(Q)\| + \nu_k\|G_u(Q)\| + \varepsilon_2.$$

Решение задач (27) может быть получено методом Q -масштабирования, предложенным в [17]. Семейство полиномиальных передаточных функций Q_k , $k = 0, 1, \dots, N$ аппроксимирует множество решений задач (24) для всех возможных значений $\hat{\delta}$. Желаемая точность аппроксимации достигается за счет выбора достаточно большой степени полиномов Q_k , достаточно больших значений N и C_Q и достаточно малого значения ε_2 .

5. Наилучшая согласованная с измерениями оценка верхних границ возмущений

Синтез асимптотически субоптимального робастного регулятора будет базироваться на использовании показателя качества (23) как идентификационного критерия и соответствующего этому показателю понятия наилучшей согласованной с измерениями оценки неизвестного набора верхних границ $\hat{\delta}$.

Пусть (z_0^t, u_0^{t-1}) — данные измерений на промежутке времени $[0, t]$. Обозначим через $D(t)$ множество верхних границ $\hat{\delta} = (\delta_e, \delta_y, \delta_u)$, удовлетворяющих тесту верификации (19) на промежутке $[0, t]$:

$$D(t) := \{ \hat{\delta} = (\delta_e, \delta_y, \delta_u) \geq 0 \mid \text{неравенства (19) выполнены на промежутке } [0, t] \}. \quad (28)$$

Наилучшей согласованной с измерениями (z_0^t, u_0^{t-1}) оценкой неизвестного набора $\hat{\delta}$ будем называть точку минимума задачи

$$\hat{J}_{opt}^t := \min_{\hat{\delta} \in D(t)} \inf_Q \hat{J}(Q, \hat{\delta}). \quad (29)$$

Задача (29) является сложной задачей невыпуклого дробно-квадратичного программирования относительно переменных Q и $\hat{\delta}$ при $t + 4$ линейных ограничениях вида (19) (включая три неравенства $\delta_e, \delta_y, \delta_u \geq 0$). Воспользуемся семейством субоптимальных параметров Q_k , аппроксимирующих решения задач (24) для всех возможных значений $\hat{\delta}$, благодаря которому операцию приближенной минимизации по Q можно заменить конечным перебором параметров Q_k (заметим, что число субоптимальных параметров Q_k может оказаться значительно меньшим числа N , в зависимости от полиномов a и b и требуемой точности). Приближенное решение задачи (29) вычисляется по формулам

$$\hat{\delta}^k(t) := \operatorname{argmin}_{\hat{\delta} \in D(t)} \hat{J}(Q_k, \hat{\delta}), \quad k = 0, \dots, N, \quad (30)$$

$$k(t) := \operatorname{argmin}_{k \in \{0, \dots, N\}} \hat{J}(Q_k, \hat{\delta}^k(t)). \quad (31)$$

$$\hat{\delta}(t) := \hat{\delta}^{k(t)}, \quad Q^t := Q_{k(t)}. \quad (32)$$

Набор $\hat{\delta}(t)$ и полиномиальная функция Q^t дают искоемое приближенное решение задачи (29) [18, 19]. Из представления (20) видно, что задачи (30) являются задачами дробно-линейного программирования относительно $\delta_e, \delta_y, \delta_u$ и стандартным способом сводятся к задачам линейного программирования в \mathbb{R}^4 (см., например, [20]). Они легко разрешимы с помощью современного программного обеспечения. Заметим, что при решении каждой задачи (30) действовало также условие робастной устойчивости (12) в виде линейного ограничения $\delta_y \|G_{yv}(Q_k)\| + \delta_u \|G_{uv}(Q_k)\| < 1$, так что общее число линейных ограничений равно $t + 5$.

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

Литература

1. *Smith R.S. and Dahleh M.* (Eds.) The Modeling of Uncertainty in Control Systems (Lect. Not. in Control and Information Sciences). Vol. 192. London, U.K.: Springer-Verlag, 1994. 391 p.
2. *Ljung L., Vicino A.* (Eds.) Special Issue on System Identification // IEEE Trans. Autom. Control. 2005. Vol. 50. No. 10.
3. *Soderstrom T., Van Den Hof P., Wahlberg B., Weiland S.* (Eds.) Special Issue on Data-Based Modelling and System Identification // Automatica. 2005. Vol. 41. No. 3.
4. *Gevers M.* A Personal View of the Development of System Identification // IEEE Control Syst. Magazine. 2006. Vol. 26. No. 6. P. 93–105.
5. *Hjalmarsson H.* From experiment design to closed-loop control // Automatica. 2005. Vol. 41. P. 393–438.
6. *Khammash M., Pearson J.B.* Analysis and design for robust performance with structured uncertainty // Syst. Control Lett. 1993. Vol. 20(3). P. 179–187.
7. *Khammash M., Pearson J.B.* Performance robustness of discrete-time systems with structured uncertainty // IEEE Trans. Autom. Control. 1991. Vol. 36. No. 4. P. 398–412.
8. *Соколов В.Ф.* Адаптивное субоптимальное управление в случае ограниченной помехи // Автомат. и телемех. 1985. № 9. С. 78–86.
9. *Sokolov V.F.* Adaptive suboptimal control of a linear system with bounded disturbances // Syst. Control Lett. 1985. Vol. 6. P. 93–98.
10. *Куржанский А.Б.* Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 392 с.
11. *Соколов В.Ф.* Асимптотическое робастное качество дискретной системы слежения в ℓ_1 -метрике // Автомат. и телемех. 1999. № 1. С. 101–112.
12. *Соколов В.Ф.* Оценка качества робастной системы управления при неизвестных верхних границах возмущений и помехи измерений // Автомат. и телемех. 2010. № 9. С. 3–18.
13. *Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А.* Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981. 448 с.
14. *Поляк Б.Т., Щербakov П.С.* Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. 303 с.
15. *Соколов В.Ф.* Синтез ℓ_1 -субоптимального робастного регулятора для линейного дискретного скалярного объекта со структурированной неопределенностью // Автомат. и телемех. 1999. № 11. С. 80–99.
16. *Sokolov V.F.* ℓ_1 Optimal Robust Controller for SISO Plant under Coprime Factor Perturbations // IEEE Trans. Autom. Control. 2000. Vol. 45. No. 12. P. 2339–2345.
17. *Khammash M.H.*, A new approach to the solution of the ℓ_1 control problem: the scaled-Q method // IEEE Trans. Autom. Control. 2000. Vol. 45. P. 180–187.
18. *Sokolov V.F.* Suboptimal robust synthesis for MIMO plant under coprime factor perturbations // Syst. Control Lett. 2008. Vol. 57(4). P. 348–355.
19. *Соколов В.Ф.* Синтез субоптимальных робастных регуляторов при неизвестных весах возмущений // Автомат. и телемех. 2007. № 3. С. 126–141.
20. *Гавурин М.К., Малоземов В.Н.* Экстремальные задачи с линейными ограничениями. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1984. 176 с.

Статья поступила в редакцию 23.07.2012.

УДК 548.732

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ НА ПОРИСТЫХ КРИСТАЛЛАХ. 2. ДИФФУЗНОЕ РАССЕЯНИЕ

В.И. ПУНЕГОВ

*Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар
vpunegov@dm.komisc.ru*

На основе теории диффузного рассеяния рентгеновских лучей в пористых кристаллах проведено численное моделирование двумерных автокорреляционных функций и карт изодиффузных линий в обратном пространстве. Для модели пор цилиндрической формы получены выражения для статического фактора Дебая-Валлера, собственной корреляционной функции и корреляционного объема. На примере пор цилиндрической, сфероидальной формы и пор в виде прямоугольного параллелепипеда продемонстрировано многообразие дифракционных картин в зависимости от величины пористости, размеров пор и их пространственного порядка.

Ключевые слова: статистическая теория рентгеновской дифракции, когерентное рассеяние, пористые кристаллы, численное моделирование

V.I.PUNEGOV. MATHEMATICAL SIMULATION OF X-RAY DIFFRACTION ON POROUS CRYSTALS. 2. DIFFUSE SCATTERING

Based on the diffuse X-ray scattering theory in porous crystals numerical simulation of two-dimensional autocorrelation functions and reciprocal space maps was carried out. For the cylindrical shape model expressions for the static Debye-Waller factor, the intrinsic correlation function and the correlation volume were obtained. On the examples of cylindrical, spheroidal and parallelepipedic pores diversity of diffraction patterns as a function of porosity, pore size and spatial order was demonstrated.

Key words: statistical theory of x-ray diffraction, coherent scattering, porous crystals, numerical simulation

1. Введение

Поскольку морфология пористых систем, создаваемых методами электрохимической анодизации, сильно зависит от структурных и химических характеристик материала, концентрации примеси в нем, плотности тока, времени и состава электролита, в кристаллической среде формируются поры разной формы и разного размера (см., например, [1,2] и приведенную в этих обзорах литературу). В частности, поры в виде прямоугольной [3] и треугольной призмы [4,5], а также цилиндрической [6], конусообразной [7] и эллипсоидальной (сферической) [8] форм наблюдались на снимках электронной микроскопии.

Поры в кристалле являются источниками диффузного рассеяния рентгеновских лучей, угловое распределение которого зависит от формы пор, их размеров, пространственной ориентации и структурного порядка пор в латеральном направлении. Если когерентное рассеяние характеризует структурные особенности пористой системы в целом [9], то диффузное рассеяние позволяет получать деталь-

ную информацию о самих порах. Для этого необходимо разработать методику математического моделирования с целью применения ее для неразрушающей диагностики пористых структур.

2. Диффузное рассеяние. Основные уравнения

При анализе диффузного рассеяния следует исходить из того, что поры в кристалле, как отмечалось выше, представляют собой определенный тип дефектов. В отличие от эпитаксиальных систем дифракция рентгеновских лучей на пористых кристаллах практически всегда сопровождается заметным диффузным рассеянием [10–14]. В геометрии Брэгга диффузное рассеяние можно рассматривать без учета вторичной экстинкции, т.е. динамического взаимодействия диффузно рассеянных рентгеновских волн [15].

Выражение для интенсивности диффузного рассеяния при наличии пространственной корреляции между порами и их неоднородном распределении имеет вид

$$I_h^d(\mathbf{q}) = \int_{V_0} d\mathbf{r} |a_h|^2 (1 - f^2) \Gamma(\mathbf{r}; \mathbf{q}) \exp(-2\mu z) I_0^c(\mathbf{r}), \quad (1)$$

где μ – линейный коэффициент поглощения рентгеновских лучей, $V_0 = S_0 L_z$ – засвеченный рентгеновским пучком объем пористого кристалла, $S_0 = L_x L_y$ – площадь засветки поверхности образца, L_z – толщина пористого слоя, $I_0^c(\mathbf{r})$ – интенсивность проходящего рентгеновского пучка в объеме пористого кристалла в точке с координатой \mathbf{r} ,

$$T(\mathbf{r}, \mathbf{q}) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} d\boldsymbol{\rho} \exp(i\mathbf{q}\boldsymbol{\rho} + ih[\langle \mathbf{u}(\mathbf{r} + \boldsymbol{\rho}) \rangle - \langle \mathbf{u}(\mathbf{r}) \rangle]) G(\mathbf{r}; \boldsymbol{\rho}) \quad (2)$$

– корреляционный объем, описывающий угловое распределение интенсивности рассеяния, вызванное формой и пространственным распределением пор, $G(\mathbf{r}; \boldsymbol{\rho})$ – соответствующая корреляционная функция. Отметим, что пространственная корреляция пор может быть описана моделями дальнего или ближнего порядка. В случае дальнего порядка имеет место жесткая фиксация равновесных положений всех пор, при этом эти равновесные положения имеют строгий трансляционный порядок (размещение единиц рассеяния первого рода). Для ближнего порядка весьма значительным является закон распределения ближайших соседей, при этом отсутствует строгая периодическая фиксация всех соседей (размещение единиц рассеяния второго рода). В данном случае, если установлен закон распределения для ближайших соседей, то из него можно вывести всю функцию распределения. Ближний порядок может быть описан ведением функции радиального распределения [16] либо на основе паракристаллической модели [17].

В кристаллической среде поры хаотически нарушают строгий трансляционный порядок в расположении атомов среды, тем самым вызывают диффузное рассеяние. Эти локальные нарушения описываются собственной корреляционной (автокорреляционной) функцией, общее выражение которой в рамках формализма статистической дифракции Като имеет вид [18]

$$g(\mathbf{r}, \boldsymbol{\rho}) = \frac{\langle \exp(ih[\delta\mathbf{u}(\mathbf{r} + \boldsymbol{\rho}) - \delta\mathbf{u}(\mathbf{r})]) \rangle - f^2(\mathbf{r})}{1 - f^2(\mathbf{r})}. \quad (3)$$

Поскольку угловое распределение диффузного рассеяния зависит не только от типа пор, но их взаимного пространственного распределения, корреляционная функция в выражении (2) может быть представлена сверткой функций пространственного распределения пор $W(\mathbf{r}; \boldsymbol{\rho})$ и собственной корреляционной функции $g(\mathbf{r}, \boldsymbol{\rho})$:

$$G(\mathbf{r}; \boldsymbol{\rho}) = \int_{-\infty}^{\infty} d\boldsymbol{\rho}' W(\mathbf{r}; \boldsymbol{\rho}') g(\mathbf{r}, \boldsymbol{\rho}' + \boldsymbol{\rho}). \quad (4)$$

Если поры распределены хаотически, т.е. отсутствует какой-либо порядок в их расположении, то корреляционная функция $G(\mathbf{r}; \boldsymbol{\rho})$ непосредственно трансформируется в автокорреляционную функцию $g(\mathbf{r}, \boldsymbol{\rho})$.

Наличие коррелятора $\exp(ih[\langle \mathbf{u}(\mathbf{r} + \boldsymbol{\rho}) \rangle - \langle \mathbf{u}(\mathbf{r}) \rangle])$ в (2) связано с крупномасштабными деформациями или неоднородностями кристаллической среды, например, с упругим изгибом образца, деформациями, вызванными ионной имплантацией или диффузионным внедрением примеси, неоднородным распределением химических компонент, модуляцией решетки под действием ультразвуковой волны и т.д.

Для простоты рассмотрим однородный по составу кристалл, в котором отсутствуют зависящие от координат деформации решетки.

В этом случае за угловое распределение интенсивности рассеяния отвечает корреляционный объем, который является Фурье-преобразованием корреляционной функции $G(\mathbf{r}, \boldsymbol{\rho}) = G(\boldsymbol{\rho})$:

$$T(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\boldsymbol{\rho} G(\boldsymbol{\rho}) \exp(i\mathbf{q}\boldsymbol{\rho}). \quad (5)$$

С учетом (4) корреляционный объем (5) запишется в виде произведения

$$T(\mathbf{q}) = \tau(\mathbf{q}) F(\mathbf{q}), \quad (6)$$

где

$$\tau(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\boldsymbol{\rho} g(\boldsymbol{\rho}) \exp(i\mathbf{q}\boldsymbol{\rho}) \quad (7)$$

– корреляционный объем пор определенной формы и

$$F(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{\infty} d\boldsymbol{\rho} W(\boldsymbol{\rho}) \exp(i\mathbf{q}\boldsymbol{\rho}) \quad (8)$$

– интерференционный структурный фактор, описывающий пространственный порядок в расположении пор. Собственную корреляционную функцию пор в кристалле можно представить в виде [19,20]

$$g(\boldsymbol{\rho}) = (1/V_p) \int D(\mathbf{r}) D^*(\mathbf{r} + \boldsymbol{\rho}) d\mathbf{r}, \quad (9)$$

где V_p – объем поры. Функция $D(\mathbf{r})$ зависит от поля случайных деформаций и описывает локальные нарушения кристаллической решетки [19,20]. В рассматриваемом случае эти нарушения вызваны пустотами в кристаллической матрице. Пусть c_p – концентрация пор в кристаллической матрице, тогда с использованием $D(\mathbf{r})$ можно также записать выражение для статического фактора Дебая-Валлера:

$$f_p = \exp\left(-c_p \int D(\mathbf{r}) d\mathbf{r}\right). \quad (10)$$

3. Статический фактор Дебая-Валлера, собственная корреляционная функция и корреляционный объем пор

В пористом кристалле функции $D(\mathbf{r})$ описывают разрывы в трансляционной периодичности кристаллической решетки, которые непосредственно

связаны с формой пор. Эта функция равна 1, если точка, задаваемая вектором \mathbf{r} , находится внутри поры, и равна нулю, если эта точка расположена вне поры. Поэтому для пористой кристаллической структуры всегда выполняется условие

$$D(\mathbf{r}) = \begin{cases} 1, & \mathbf{r} \in V_p \\ 0, & \mathbf{r} \notin V_p \end{cases} \quad (11)$$

Пусть

$$D(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\mathbf{r} D(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r}) \quad (12)$$

– Фурье образ функции $D(\mathbf{r})$. В большинстве случаев $D(\mathbf{q})$ можно записать в виде произведения объема поры V_p и функции $\Psi(\mathbf{q})$, зависящей от вектора \mathbf{q} в обратном пространстве: $D(\mathbf{q}) = V_p \Psi(\mathbf{q})$, при этом, как правило, $\Psi(\mathbf{q} = 0) = 1$.

Согласно (10) показатель степени статического фактора Дебая-Валлера определяется нулевой гармоникой $D(\mathbf{q})$:

$$\begin{aligned} f_p &= \exp\left(-c_p \int D(\mathbf{r}) d\mathbf{r}\right) = \\ &= \exp\left(-c_p D(\mathbf{q} = 0)\right) = \exp\left(-c_p V_p\right) \end{aligned}$$

Поскольку произведение концентрации пор c_p на их объем V_p равно объемной доле пор в кристалле, или, иными словами, пористости кристалла P , получаем

$$f_p = \exp\left(-c_p V_p\right) = \exp(-P). \quad (13)$$

Собственная корреляционная функция (9) характеризует случайные (стохастические) нарушения кристаллической решетки, которые, в свою очередь, вызывают случайные фазовые изменения рентгеновских волн в процессе дифракции рентгеновских лучей. Смысл собственной корреляционной функции состоит в том, что она представляет собой вероятность того, что точка, находящаяся на некотором расстоянии в произвольном направлении от фиксированной точки внутри поры, также окажется внутри ее. Поэтому всегда $g(\rho = 0) = 1$ и $g(\rho \rightarrow \infty) = 0$. Если рассматривается модель кристаллической среды, в которой поры не создают вокруг себя дополнительных деформаций и расстояние $|\rho| = \rho$ не превышает величину размера поры в соответствующем направлении, справедливо условие $0 \leq g(\rho) \leq 1$.

Можно выделить три типа пор: 1. Поры в виде призмы или цилиндра с равными (одинаковыми) верхним и нижним) основаниями. 2. Поры эллипсоидальной формы. 3. Поры, размер которых изменяется вдоль выделенного направления (например, конусообразные поры). В теории диффузного рас-

сеяния наиболее простое описание допускают модели пор, принадлежащие первому типу. В этом случае собственная корреляционная функция представляется как произведение вероятностных функций:

$$g(\rho_x, \rho_y, \rho_z) = g_0(\rho_x, \rho_y) g_z(\rho_z), \quad (14)$$

где $g_0(\rho_x, \rho_y)$ – латеральная и $g_z(\rho_z)$ – вертикальная автокорреляционная функция. Очевидно, что и функция $D(\mathbf{r})$ может быть записана в виде

$$D(\mathbf{r}) = D_0(x, y) D_z(z). \quad (15)$$

Перейдем теперь к анализу корреляционного объема пор определенной формы. Подставим в (7) выражение для собственной корреляционной функции (9). Получаем, что корреляционный объем пор заданной формы равен произведению объема поры V_p на соответствующую функцию углового распределения диффузного рассеяния $N(\mathbf{q})$:

$$\tau(\mathbf{q}) = \frac{1}{V_p} |D(\mathbf{q})|^2 = V_p N(\mathbf{q}). \quad (16)$$

При выполнении строгого условия брэгговской дифракции $\mathbf{q} = 0$, функция углового распределения диффузного рассеяния имеет максимальное значение $N(\mathbf{q} = 0) = 1$. В остальной угловой области функции $N(\mathbf{q})$ свойственно характерное для выбранной формы пор осцилляционное поведение. Из вышесказанного следует, что при условии $\mathbf{q} = 0$, корреляционный объем равен объему поры: $\tau_0(0) = V_p$. Для первого типа пор выражение для корреляционного объема может быть записано в виде произведения латеральной корреляционной площади $\tau_0(q_x, q_y)$ и вертикальной корреляционной длины $\tau_z(q_z)$:

$$\tau(\mathbf{q}) = \tau_0(q_x, q_y) \tau_z(q_z) = S_p N_0(q_x, q_y) l_p N_z(q_z), \quad (17)$$

где S_p – площадь латерального сечения поры, l_p – длина поры, $N_0(q_x, q_y)$ и $N_z(q_z)$ – функции углового распределения диффузного рассеяния в латеральном и вертикальном направлениях соответственно.

4. Модель пор цилиндрической формы

Рассмотрим модель кристаллической среды, трансляционный порядок решетки которой нарушен хаотически распределенными цилиндрическими пустотами с радиусом основания R и высотой цилиндра l_z (рис.1) В введенной выше классификации такие поры относятся к первому типу и допускают наиболее простое решение для собственной корреляционной функции, статического фактора Дебая-Валлера и корреляционного объема.

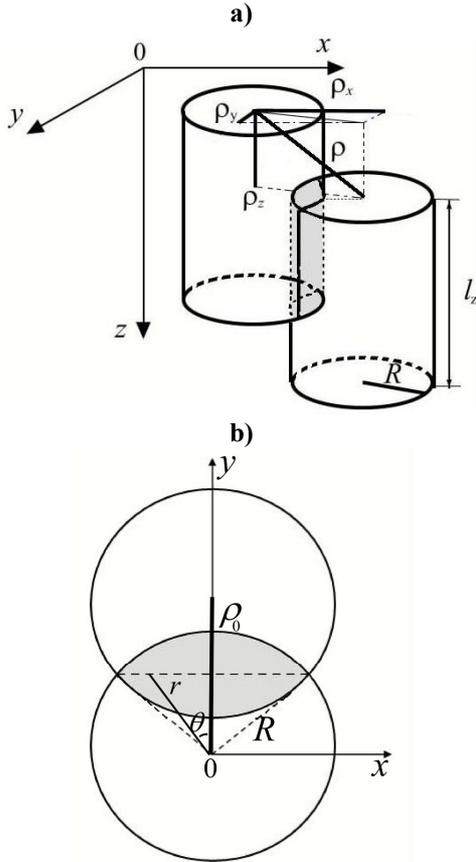


Рис. 1. Модель пор в форме цилиндра (основание – окружность радиуса R). а) – геометрическое изображение пересечения двух цилиндров; б) – к расчету автокорреляционной функции цилиндрических пор $g_0(\rho_0, R)$.

Согласно (15), запишем функцию $D(\mathbf{r})$ в виде произведения

$$D(\mathbf{r}) = D_0(r_0)D_z(z), \quad (18)$$

где

$$D_0(r_0) = \begin{cases} 1, & r_0 \leq R \\ 0, & r_0 > R \end{cases} \quad \text{и} \quad D_z(z) = \begin{cases} 1, & z \leq l_z \\ 0, & z > l_z \end{cases}. \quad (19)$$

Собственная корреляционная функция пор цилиндрической формы также представима в виде произведения

$$g(\rho_x, \rho_y, \rho_z) = g_0(\rho_x, \rho_y, R)g_z(\rho_z, l_z). \quad (20)$$

Здесь вертикальная корреляционная функция имеет вид

$$g_z(\rho_z, l_z) = \begin{cases} 1 - |\rho_z|/l_z & |\rho_z| \leq l_z \\ 0 & |\rho_z| > l_z \end{cases}. \quad (21)$$

На рис. 1 показана геометрическая трактовка корреляционной функции для цилиндрических пор. Суть этой трактовки состоит в том, что собственная корреляционная функция $g(\rho_x, \rho_y, \rho_z)$ равна отношению объема пересечения двух цилиндров

$$V_p = S_p(l_z - \rho_z) \text{ к объему цилиндра } V_p = \pi R^2 l_z.$$

Здесь S_p – площадь пересечения двух окружностей, представляющих основания двух цилиндров (рис.1б). Задача сводится к вычислению корреляционной функции $g_0(\rho_x, \rho_y, R) = g_0(\rho_0, R) = S_p/S_0$ в полярных координатах (ρ_0, θ) , где $\rho_x = \rho_0 \sin \theta$, $\rho_y = \rho_0 \cos \theta$ и $\rho_0 = \sqrt{\rho_x^2 + \rho_y^2}$:

$$g_0(\rho_0, R) = (2/S_0) \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta \int_{r(\theta)}^R r dr = (1/S_0) \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta [R^2 - r^2(\theta)]. \quad (22)$$

В правой части (22) радиус $r(\theta) = \rho_0/(2 \cos \theta)$,

$$\theta_{1,2} = \mp \arccos(\rho_0/(2R)) = \mp \arcsin\left(\sqrt{1 - \frac{\rho_0^2}{4R^2}}\right),$$

$$S_0 = \pi R^2.$$

Вычисление интеграла (22) приводит к результату:

$$g_0(\rho_0, R) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \arcsin\left(\sqrt{1 - \frac{\rho_0^2}{4R^2}}\right) - \frac{\rho_0}{\pi R} \sqrt{1 - \frac{\rho_0^2}{4R^2}}, & \rho_0 \leq 2R \\ 0, & \rho_0 > 2R \end{cases}. \quad (23)$$

Отметим, что латеральная автокорреляционная функция $g_0(\rho_0, R)$ цилиндрических пор может быть записана в интегральном виде

$$g_0(\rho_0, R) = \begin{cases} \int_0^\infty dq_0 \frac{(J_1(q_0 R))^2 J_0(q_0 \rho_0)}{q_0}, & \rho_0 \leq 2R \\ 0, & \rho_0 > 2R \end{cases}. \quad (24)$$

Выполним Фурье-преобразование функции $D(\mathbf{r})$.

С учетом (18), (19) получаем

$$D(\mathbf{q}) = D_0(q_x, q_y)D_z(q_z), \quad (25)$$

где

$$D_0(q_x, q_y) = 2\pi R J_1(q_0 R)/q_0$$

и

$$D_z(q_z) = l_z \exp(iq_z l_z / 2) \text{sinc}(q_z l_z / 2).$$

Здесь $J_1(q_0 R)$ – функция Бесселя первого порядка, $q_0 = \sqrt{q_x^2 + q_y^2}$, $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$.

Подставляя в (16) выражение (25), находим аналитическое решение для корреляционного объема цилиндрических пор:

$$\tau(\mathbf{q}) = V_p N(\mathbf{q}, R, l_z), \quad (26)$$

$$\text{где } N(\mathbf{q}, R, l_z) = \left(\frac{2J_1(q_0 R)}{q_0 R}\right)^2 (\text{sinc}(q_z l_z / 2))^2.$$

В методе трехкристальной рентгеновской дифрактометрии диффузное рассеяние от пористо-

го кристалла регистрируется в обратном пространстве в окрестности узла обратной решетки. В этом случае вместо корреляционного объема (26) в численных расчетах используется корреляционная площадь, которая в рамках цилиндрических пор имеет вид

$$\begin{aligned} \tau(q_x, q_z) &= \tau_z(q_z) \int_{-\infty}^{\infty} \tau_0(q_x, q_y) dq_y = \\ &= V_p (\text{sinc}(q_z l_z / 2))^2 \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{2J_1(\sqrt{q_x^2 + q_y^2} R)}{\sqrt{q_x^2 + q_y^2} R} \right)^2 dq_y \end{aligned} \quad (27)$$

5. Флуктуации размеров пор в кристалле

Теоретические расчеты углового распределения диффузного рассеяния от кристалла с хаотически распределенными порами цилиндрической формы одного и того же размера показывают, что изодиффузные линии на картах в обратном пространстве, а также соответствующие сечения вдоль проекций вектора \mathbf{q} имеют осцилляционную структуру. Действительно, функция углового распределения $N(\mathbf{q}, R, l_z)$ как в латеральном, так и вертикальном направлении совершает при изменении \mathbf{q} быстро затухающие осцилляции. Как правило, экспериментальные измерения интенсивностей диффузного рассеяния от пористых кристаллов таких осцилляций не выявляют [10–14]. Это может быть обусловлено двумя обстоятельствами: во-первых, недостаточной чувствительностью измерительной аппаратуры, во-вторых, отсутствием в кристаллах пор исключительно одинаковых размеров.

В настоящей работе, придерживаясь формализма, предложенного в [20], проведем статистическое усреднение по размерам пор L с использованием логарифмического нормального распределения

$$p_{LN}(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} L \sigma_{LN}} \exp \left\{ -\frac{[\ln(L / \langle L \rangle) + \sigma_{LN}^2 / 2]^2}{2\sigma_{LN}^2} \right\}, \quad (L \geq 0), \quad (28)$$

где $\langle L \rangle = \int_0^{\infty} L p_{LN}(L) dL$ – средний размер пор в латеральном или вертикальном направлении. Дисперсия размера пор $\sigma_L^2 = \int_0^{\infty} (L - \langle L \rangle)^2 p_{LN}(L) dL$ и положение максимума L_{max} в распределении пор по размерам запишутся как $\sigma_L^2 = [\exp(\sigma_{LN}^2) - 1] \langle L \rangle^2$, $L_{max} = \exp(-3\sigma_{LN}^2 / 2) \langle L \rangle$. Выбор такого распределения объясняется тем обстоятельством, чтобы избежать вероятности отрицательных размеров пор.

С другой стороны, малый разброс по размерам пор приводит к совпадению с нормальным распределением: $\sigma_L^2 \cong \sigma_{LN}^2 \langle L \rangle^2$, $L_{max} \cong \langle L \rangle$.

6. Пространственная корреляция в расположении пор в кристалле

Поры в кристаллической среде распределены либо хаотически, либо имеют определенный (дальний или ближний) структурный порядок. Поскольку для самоорганизованных пор характерен ближний структурный порядок, его описание возможно с помощью паракристаллической модели [17].

Выберем два характерных направления расположения пор в плоскости (x, y) , которые определяются базисными векторами \mathbf{a} и \mathbf{b} . Пусть в направлении вектора \mathbf{a} число пор равно N_a , в направлении \mathbf{b} – N_b . Латеральная корреляционная функция при бесконечно большом числе пор может быть представлена как

$$W(\rho_x, \rho_y) = H_0(\rho_x, \rho_y) + \sum_m \sum_n (H_m^{(a)}(\rho_x, \rho_y) \otimes H_n^{(b)}(\rho_x, \rho_y)) = \quad (29)$$

$$H_0(\rho_x, \rho_y) + W^a(\rho_x, \rho_y) \otimes W^b(\rho_x, \rho_y)$$

Соответствующий этой функции интерференционный структурный фактор в силу известного свойства Фурье преобразования свертки запишется как произведение структурных факторов базисных направлений

$$F(q_x, q_y) = F_a(q_x, q_y) F_b(q_x, q_y), \quad (30)$$

где

$$F_a(q_x, q_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_x \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_y e^{i(q_x \rho_x + q_y \rho_y)} W^a(\rho_x, \rho_y) \quad (31)$$

Аналогичный вид имеет $F_b(q_x, q_y)$.

При конечном числе частиц функции $H_m(x)$ должны быть нормированы к разности $(N_a - |m|)$, так как вес пиков $W_L^a(\rho_x, \rho_y)$ уменьшается с возрастанием $|m|$. Поэтому следует писать, например, для направления оси \mathbf{a}

$$W^a(\rho_x, \rho_y) = \delta(\rho_x) + \sum_{m=1}^{N_a} \frac{(N_a - |m|)}{N_a} (H_m^a(\rho_x, \rho_y) + H_{-m}^a(\rho_x, \rho_y)) \quad (32)$$

и

$$F_a(q_x, q_y) = 1 + \frac{2}{N_a} \text{Re} \left(\sum_{m=1}^{N_a} (N_a - m) Z_a(q_x, q_y)^m \right), \quad (33)$$

где

$$Z_a(q_x, q_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_x \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_y \exp(i[q_x \rho_x + q_y \rho_y]) H_1^a(\rho_x, \rho_y) \quad (34)$$

– Фурье образ единичной функции распределения пор $H_1^a(\rho_x, \rho_y)$. Среднее расстояние от начала координат до поры с номером m равно $\int_0^\infty d\rho_y \int_0^\infty d\rho_x H_m^{(a)}(\rho_x, \rho_y) = ma$. Отсюда среднее расстояние (среднестатистический период) между ближайшими соседями есть

$$a = \int_0^\infty d\rho_y \int_0^\infty d\rho_x H_1^{(a)}(\rho_x, \rho_y). \text{ Размытие пиков}$$

функции распределения можно характеризовать величиной среднего квадратичного отклонения. Для первого пика $H_1^{(a)}$ это отклонение равно

$$(\Delta_1^a)^2 = \int_0^\infty d\rho_y \int_0^\infty d\rho_x (a - \rho_x)^2 H_1^{(a)}(\rho_x, \rho_y).$$

Можно показать, что дисперсия для функции $H_m^a(\rho_x, \rho_y)$ связана с дисперсией единичной функции распределения соотношением $\Delta_m^a = \Delta_1^a \sqrt{m}$.

Если расположения пор в двух направлениях имеют статистическую зависимость, то единичная гауссова функция распределения примет вид

$$H_1^a(\rho_x, \rho_y) = (2\pi\Delta_1^a\Delta_1^b\sqrt{1-\delta^2})^{-1} \times \exp\left(-\left[\frac{(\rho_x - a)^2}{(\Delta_1^a)^2} - \frac{2\delta(\rho_x - a)\rho_y}{(\Delta_1^a\Delta_1^b)} + \frac{\rho_y^2}{(\Delta_1^b)^2}\right]/2(1-\delta^2)\right), \quad (35)$$

где $\delta = (\langle \rho_x \rho_y \rangle - \langle \rho_x \rangle \langle \rho_y \rangle) / (\Delta_1^a \Delta_1^b)$ корреляционный коэффициент.

Характеристики паракристаллической модели задаются параметрами Δ_1^a , Δ_1^b , и δ . Если между разными направлениями расположения пор отсутствует корреляция, т.е. $\delta = 0$, то вместо (35) следует использовать более простое выражение

$$H_1^a(\rho_x, \rho_y) = \frac{1}{2\pi\Delta_1^a\Delta_1^b} \exp\left(-\left[\frac{(\rho_x - a)^2}{2(\Delta_1^a)^2} + \frac{\rho_y^2}{2(\Delta_1^b)^2}\right]\right). \quad (36)$$

Фурье преобразование этой функции, согласно (34), может быть представлено как

$$Z_a(q_x, q_y) = P_a(q_x, q_y) \exp(iq_x a), \quad (37)$$

где $P_a(q_x, q_y) = \exp(-[(\Delta_1^a q_x)^2 + (\Delta_1^b q_y)^2]/2)$.

Несложные преобразования в (33) позволяют записать аналитическое решение для интерференционного структурного фактора

$$F_a(q_x, q_y) = 1 + \frac{2}{N_a} \operatorname{Re} \left\{ \left(\frac{Z_a(q_x, q_y) \times \left(\frac{N_a}{1 - Z_a(q_x, q_y)} - \frac{1 - Z_a(q_x, q_y)^{N_a}}{(1 - Z_a(q_x, q_y))^2} \right)} \right) \right\}. \quad (38)$$

Аналогичный вид имеет и структурный фактор $F_b(q_x, q_y)$.

При бесконечно большом числе пор ($N_a \rightarrow \infty$) формула (38) упрощается

$$F_a(q_x, q_y) = \frac{1 - [P_a(q_x, q_y)]^2}{1 + [P_a(q_x, q_y)]^2 - 2P_a(q_x, q_y) \cos(q_x a)} \quad (39)$$

В традиционной трехкристалльной схеме рентгеновской дифракции угловое распределение интенсивности рассеяния в обратном пространстве зависит от параметров q_x и q_z . Поэтому для этой дифракционной схемы вместо (43) и (44) в численных расчетах следует использовать

$$\bar{F}(q_x) = \int_{-\infty}^{\infty} dq_y F(q_x, q_y). \quad (40)$$

7. Численное моделирование

Общее выражение, описывающее диффузное рассеяние рентгеновских лучей (без учета вторичной экстинкции), задается формулой (1). Это выражение позволяет вычислять угловое распределение интенсивности рассеяния в случае неоднородного распределения пор по глубине кристалла. Для более простой модели пористой среды, когда зарядовая плотность и статический фактор Дебая-Валлера постоянные величины во всем объеме кристалла, $|a_h|^2$ и $(1 - f^2)$ могут быть вынесены из-под знака интеграла:

$$I_h^d(\mathbf{q}) = |a_h|^2 (1 - f^2) \int_{V_0} d\mathbf{r} \Gamma(\mathbf{r}; \mathbf{q}) \exp(-2\mu z) I_0^c(\mathbf{r}). \quad (41)$$

Соотношение (41) описывает угловое распределение интенсивности диффузного рассеяния в трехмерном пространстве вблизи узла обратной решетки. Современные дифракционные схемы пока еще не позволяют экспериментально регистрировать трехмерное распределение диффузного рассеяния. Для того, чтобы использовать решение (41) для анализа данных в рамках метода трехкристалльной рентгеновской дифрактометрии, необходимо проинтегрировать выражение по одному из латеральных направлений обратного пространства:

$$I_h^d(q_x, q_z) = \int_{-\infty}^{\infty} dq_y I_h^d(\mathbf{q}). \quad (42)$$

Кроме того, следует отметить, что выражение (13), связывающее статический фактор Дебая-Валлера и пористость кристалла, является приближенным, поскольку при усреднении фазового фактора учитываются только первые члены разложения. Поэтому в случае пористости более чем на 0.8, это выражение следует использовать с определенной осторожностью. Действительно, при пористости $P=I$ (полное отсутствие кристаллического материала) статический фактор, согласно (13), равен 0.37, а не нулю, как это требует физический принцип причинности. Статический фактор имеет экспоненциальный вид для пористости, не превышающей значение 0.6. При более высокой пористости следует использовать выражение $f_p = 1 - P$.

Кроме того, при высокой пористости трудно выдержать кристаллическое совершенство оставшейся части материала, поэтому статический фактор Дебая-Валлера в данном случае всегда представим в виде произведения $f = f_s f_p$, где f_s – вызван структурными нарушениями «скелета» пористой среды.

7.1. Собственная корреляционная функция

Форма пор в теории диффузного рассеяния задается собственной корреляционной (автокорреляционной) функцией. Для модели цилиндрических пор аналитическое решение для этой функции представлено формулами (20), (21) и (23). Ранее исследована дифракция рентгеновских лучей на кристалле с формой пор в виде прямоугольного параллелепипеда [21]. Недавно рассмотрена задача диффузного рассеяния кристаллом со сфероидальной формой пор [22].

На рис. 2 приведены двумерные карты автокорреляционных функций $g(\rho_x, 0, \rho_z)$ для моделей пор цилиндрической, сфероидальной формы и в виде прямоугольного параллелепипеда. Объемы пор и вертикальные размеры вышеперечисленных

моделей одинаковы. Высота всех видов пор $l_z=300$ nm, радиус цилиндрических пор $R_{cl}=50$ nm, сфероидальных пор $R_{sph}=61$ nm, длина стороны квадратного сечения пор в виде прямоугольного параллелепипеда $l_{sq}=89$ nm, объемы пор $V_{cl} = V_{sph} = V_{sq} = 2.4 \times 10^{-3} \mu m^3$. Карты автокорреляционных функций представлены в линейном масштабе, значения между соседними линиями равны 0.1.

Поскольку поры цилиндрической формы и в виде прямоугольного параллелепипеда относятся к первому типу и допускают запись выражения для автокорреляционной функции в виде (20), при этом вертикальные корреляционные функции для них одни и те же, приведенные на рисунках 2а и 2с карты функций $g(\rho_x, 0, \rho_z)$ слабо различимы. На это указывает и совпадение вертикальных сечений двумерных автокорреляционных функций этих моделей. Действительно, кривые 1 и 3 на рис.3б накладываются друг на друга, в то время как кривая 2 для сфероидальной модели пор имеет более узкое распределение. В виду того, что для одного и того же объема пор горизонтальные размеры рассматриваемых моделей имеют разные значения, латеральные распределения автокорреляционных функций отличаются друг от друга (рис. 3а).

7.2. Диффузное рассеяние кристаллом с хаотически распределенными порами

Перейдем к рассмотрению диффузного рассеяния кристаллами с разными формами пор. Все вычисления привязаны к рассматриваемым моделям пор с указанными выше размерами. Поскольку интенсивности диффузного рассеяния рентгеновских лучей зависят от объема пор и их концентрации, в расчетах эти параметры, а также высота пор для рассматриваемых моделей принимались как постоянные величины. Для удобства максимальные значения диффузного рассеяния были нормированы на единицу.

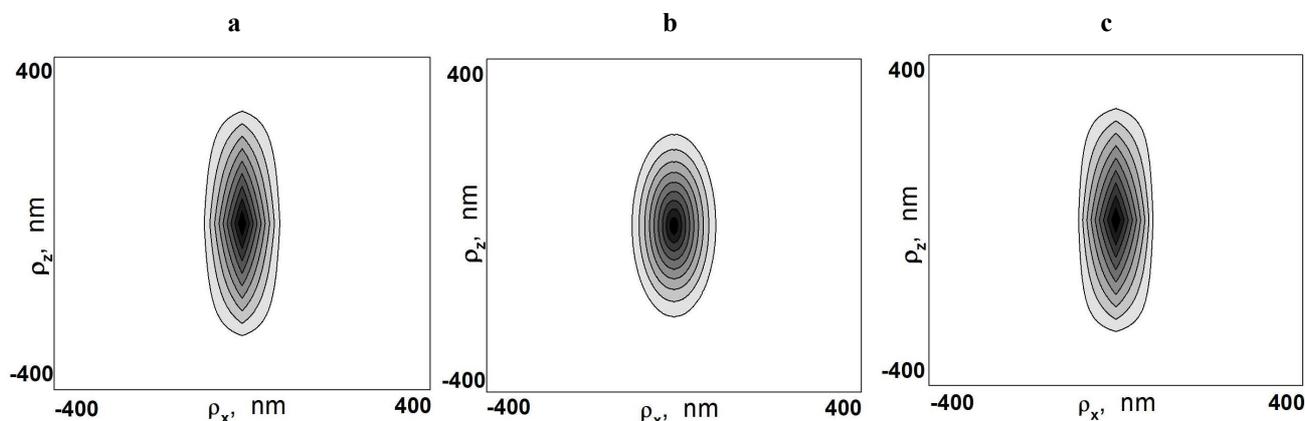


Рис. 2. Двумерные автокорреляционные функции $g(\rho_x, 0, \rho_z)$ для моделей пор цилиндрической (а), сфероидальной (б) форм и в виде прямоугольного параллелепипеда (с).

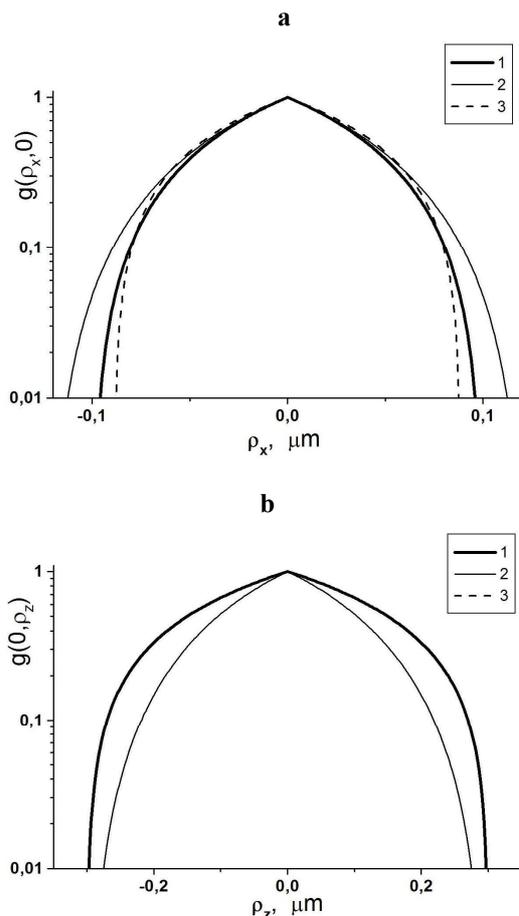


Рис. 3. Латеральные (а) и вертикальные (б) сечения двумерных автокорреляционных функций для моделей пор цилиндрической (1), сферической (2) форм и в виде прямоугольного параллелепипеда (3).

Сначала рассмотрим случай, когда поры в кристалле имеют один и тот же размер. Это условие всегда приводит к интерференционному характеру диффузного рассеяния, которое в численных расчетах характеризуется осцилляционной структурой углового распределения интенсивности.

На рис. 4. представлены карты распределения интенсивности диффузного рассеяния пористыми кристаллами с разной формой пор. Контурные линии равной интенсивности на этом рисунке, а также на последующих картах диффузного рассеяния представлены в логарифмическом масштабе, отношение между соседними линиями равно 0.468. Для пор цилиндрической формы (рис. 4а) и в виде прямоугольного параллелепипеда (рис.4б) угловое распределение диффузного рассеяния в вертикальном направлении имеет сильно выраженное осцилляционное поведение, характерное для функции $(\text{sinc}(q_z l_z / 2))^2$. Изодиффузные линии от сферических пор также осциллируют (рис.4с), однако структура этих осцилляций заметно отличается от пор первого типа. Что касается углового распределения диффузного рассеяния в латеральном направлении, то резко выраженные осцилляции интенсивности свойственны только порам в виде прямоугольного параллелепипеда (рис.4б).

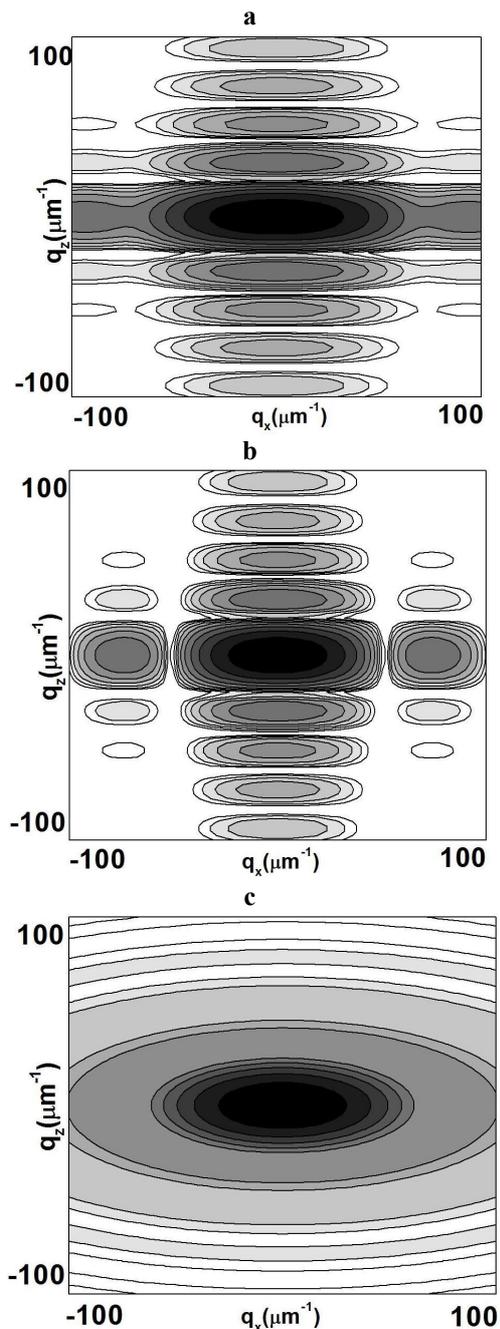


Рис. 4. Карты распределения интенсивности диффузного рассеяния пористым кристаллом: (а) – поры цилиндрической формы; (б) – поры в виде прямоугольного параллелепипеда; (с) – поры сферической формы.

Для пор двух других моделей осцилляции интенсивности рассеяния в данном направлении сглажены (рис. 4а,с). Такое поведение углового распределения диффузного рассеяния связано с геометрией формы латерального сечения пор.

Технология электрохимического травления, как правило, не позволяет формировать в кристалле поры одинакового размера. Для того, чтобы производить сравнения численных расчетов с экспериментальными данными, необходимо проводить усреднение по размерам пор. Для этого в процеду-

ре вычислений углового распределения интенсивности диффузного рассеяния используется распределение (28). На рис.5 показаны карты распределения интенсивности рассеяния для рассматриваемых моделей пор с учетом их разброса по размерам. В процедуре численного моделирования во всех случаях среднестатистический размер пор соответствовал вышеуказанным параметрам: $\langle l_z \rangle = 300 \text{ nm}$, $\langle R_{cl} \rangle = 50 \text{ nm}$, $\langle R_{sph} \rangle = 61 \text{ nm}$, $\langle l_{sq} \rangle = 89 \text{ nm}$, $\langle V_{cl} \rangle = \langle V_{sph} \rangle = \langle V_{sq} \rangle = 2.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$, дисперсия составляла $\sigma_p = \langle l_p \rangle / 3$, где $\langle l_p \rangle$ – среднестатистический размер поры.

В процессе численного моделирования выявлено, что разброс пор по размерам приводит к подавлению осцилляционной структуры углового распределения диффузного рассеяния от пористого кристалла (рис.5), что ранее также было показано для кристаллических дефектов «кулоновского» типа [20]. Отметим, что осцилляции исчезают в направлении, вдоль которого имеет место разброс по размерам пор. Однако характерные различия в распределении диффузного рассеяния для пор одинакового среднестатистического объема, но разной формы, остаются (рис.5).

На рис. 6. показаны q_x - сечения диффузного рассеяния кристаллом с порами одного размера и с

учетом флуктуаций размера пор. Помимо сглаживания осцилляций, разброс пор по размерам приводит к заметному уширению профиля интенсивности диффузного рассеяния в случае пор цилиндрической формы (рис. 6b, кривая 2).

7.3. Влияние пространственной корреляции пор на диффузное рассеяние

Поры в кристалле могут иметь определенный структурный порядок в своем расположении. В зависимости от технологических условий степень их упорядоченности может меняться в достаточно широких пределах. Известно, что высшей степенью пространственного порядка является упаковка атомов в идеальном кристалле. Однако строгая трансляция позиций в решетке практически в природе не встречается. С другой стороны, и идеальный беспорядок в расположении самоорганизованных объектов достигается крайне редко, так как нельзя пренебречь корреляциями между этими объектами, расположенными по соседству друг с другом. Поэтому чаще всего можно встретить промежуточное состояние между идеальным порядком и идеальным беспорядком. Строгое периодическое расположение пор может быть описано моделью дальнего порядка. Однако для самоорганизованных пор такое трансляционное расположение не свойственно. Как отмечалось выше, для описания корреляций между ближайшими соседями могут быть использованы два подхо-

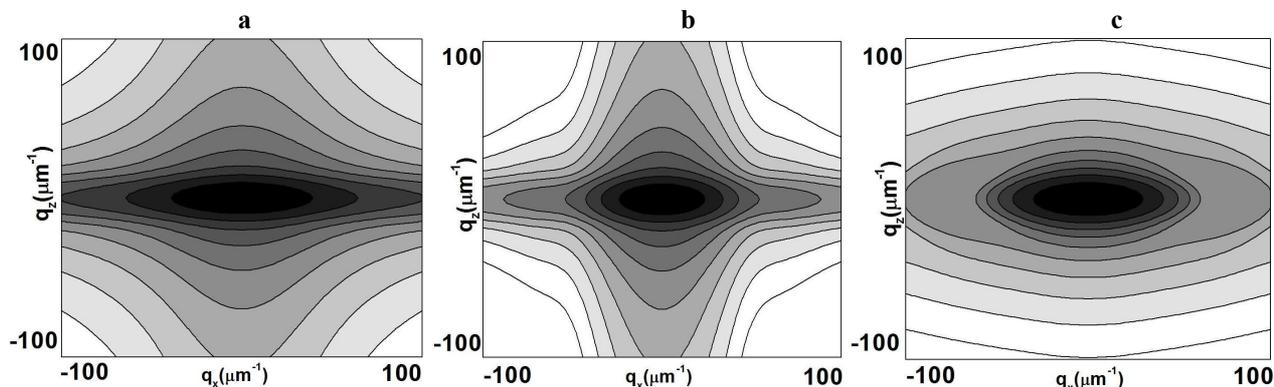


Рис. 5. Влияние флуктуаций размера пор на угловое распределение интенсивности диффузного рассеяния пористым кристаллом: (а) – поры цилиндрической формы; (b) – поры в виде прямоугольного параллелепипеда; (с) – поры сфероидальной формы.

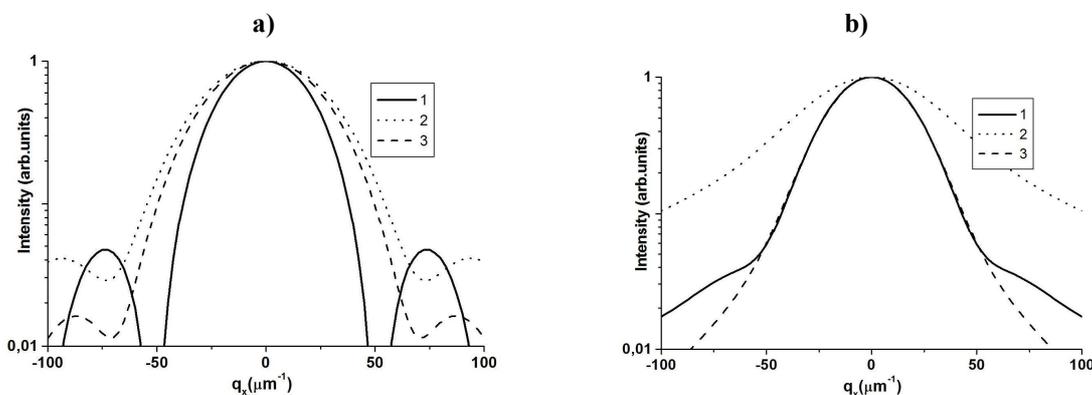


Рис. 6. q_x - сечения диффузного рассеяния кристаллом с порами одного размера (а) и с учетом флуктуаций размера пор (b). 1 – поры в виде прямоугольного параллелепипеда; 2 – поры цилиндрической формы; 3 – поры сфероидальной формы.

да, основанные на формализме паракристаллического строения или функции радиального распределения. Как паракристаллическая модель, так и модель радиального распределения базируются на введении вероятностной функции расположения пор, однако модель радиального распределения применима только в случае изотропного распределения пустот в латеральной плоскости.

Базируясь на выводах раздела 6 данной работы, проведем численное моделирование диффузного рассеяния с учетом пространственной корреляции пор.

На рис. 7, 8 показаны карты распределения интенсивности диффузного рассеяния кристаллом

при наличии ближнего порядка в расположении пор в кристалле. Расчеты проводились с использованием паракристаллической модели. Даже относительно слабый трансляционный порядок приводит к заметному изменению картины диффузного рассеяния (сравни рис.5 и 7). Вместо куполообразного распределения интенсивности рассеяния при хаотическом распределении пор появляется провал в центральной части углового спектра и формируются дополнительные интерференционные пики. В случае малой дисперсии квазипериодической структуры в угловом спектре диффузного рассеяния возникают симметрично расположенные сателлиты не только первого, но и следующих порядков

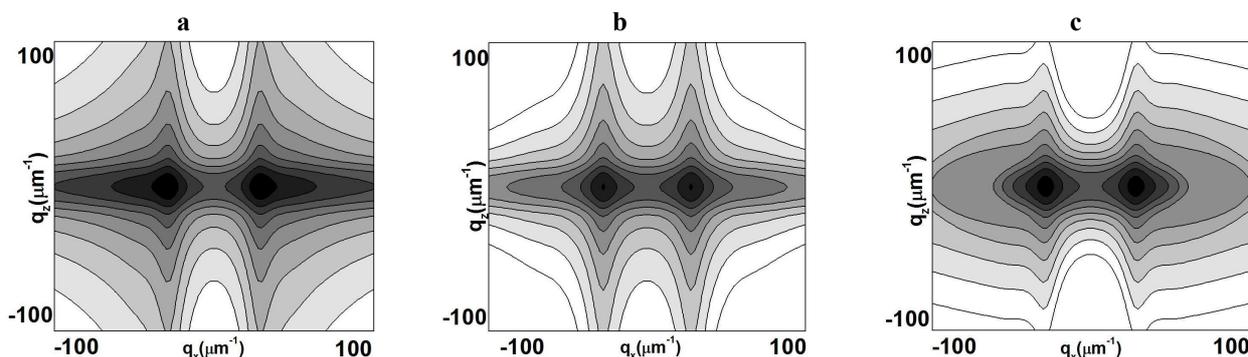


Рис. 7. Карты распределения интенсивности диффузного рассеяния кристаллом при наличии пространственной корреляции пор, среднее расстояние между порами $T=200\text{ nm}$, дисперсия $\Delta_l=0.3T=60\text{ nm}$: (а) – поры цилиндрической формы; (б) – поры в виде прямоугольного параллелепипеда; (с) – поры сферической формы.

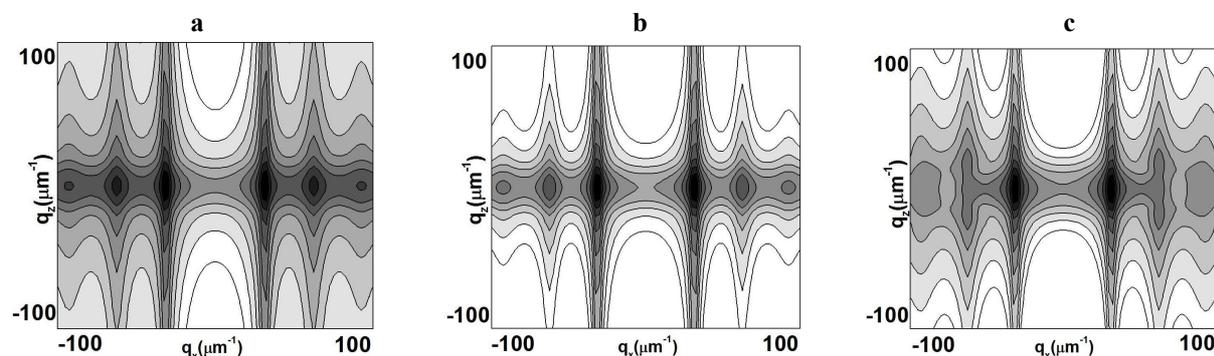


Рис. 8. Карты распределения интенсивности диффузного рассеяния кристаллом при наличии пространственной корреляции пор, среднее расстояние между порами $T=200\text{ nm}$, дисперсия $\Delta_l=0.1T=20\text{ nm}$: (а) – поры цилиндрической формы; (б) – поры в виде прямоугольного параллелепипеда; (с) – поры сферической формы.

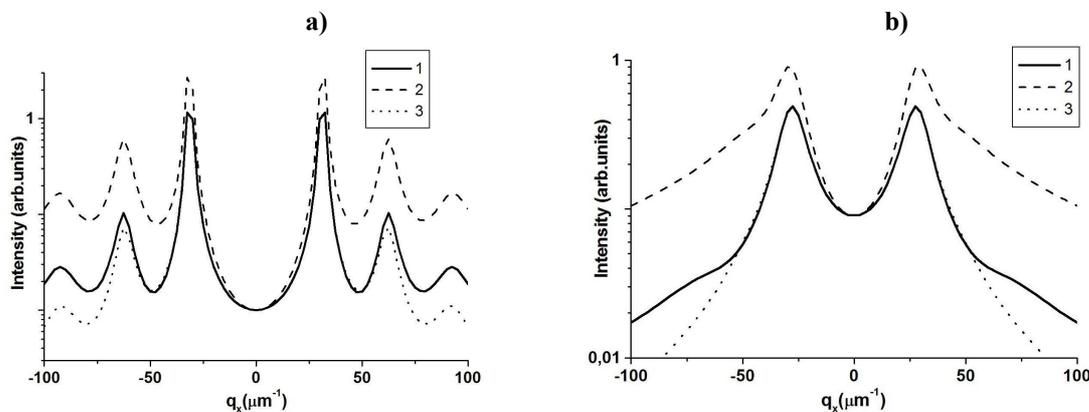


Рис.9. q_x - сечения диффузного рассеяния кристаллом при наличии пространственной корреляции пор, среднее расстояние между порами $T=200\text{ nm}$, (а) – дисперсия $\Delta_l=0.1T=20\text{ nm}$; (б) – дисперсия $\Delta_l=0.3T=60\text{ nm}$. 1 – поры в виде прямоугольного параллелепипеда; 2 – поры цилиндрической формы; 3 – поры сферической формы.

(рис.8). На рис. рис.9. показаны q_x - сечения диффузного рассеяния кристаллом при наличии пространственной корреляции пор с малой (рис.9а) и относительно большой (рис.9б) дисперсией периода T .

8. Заключение

В настоящее время пористые кристаллы широко применяются в различных областях человеческой деятельности. Это требует постоянного контроля за качеством их изготовления. В рамках данной статьи на основе разработанной теории и численного моделирования показано разнообразие картин диффузного рассеяния в зависимости от формы, размеров и пространственной корреляции пор. Очевидно, что расчеты когерентного и диффузного рассеяния окажутся полезными при неразрушающем анализе пористых систем по данным высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-02-00445-а), Программы Президиума РАН 12-П-1-1014, Программы фундаментальных исследований УрО РАН 12-У-1-1010 и Программы развития вычислительных, телекоммуникационных и информационных ресурсов УрО РАН (проект РЦП-2012-П2).

Литература

1. Föll H., Leisner M., Cojocar A., Carstensen J. Self-organization phenomena at semiconductor electrodes // *Electrochimica Acta*. 2009. Vol.55. P.327–339.
2. Föll H., Leisner M., Cojocar A., Carstensen J. Macroporous semiconductors // *Materials* 2010. Vol.3. P. 3006–3076.
3. Granitzer P., Rumpf K., Pölt P., Reichmann A., Krenn H. Self-assembled mesoporous silicon in the crossover between irregular and regular arrangement applicable for Ni filling // *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. 2007. Vol.38. P.205–210.
4. Tiginyanua I. M., Kravetsky I. V., Monecke J. et al. Semiconductor sieves as nonlinear optical materials // *Applied Physics Letters*. 2000. Vol. 77. P. 2415–2417.
5. Nohavica D., Gladkov P., Zelinka J. et al. "Micro and Nanopores Formation in A III B V Semiconductors" // *Proc. of the Conf., NANO. Brno, 2004*. P.176–182.
6. Ломов А.А., Пунегов В.И., Васильев А.Л. и др. Рентгенодифракционные исследования многослойной пористой структуры InP(001) // *Кристаллография*. 2010. Т.55. № 2. С. 212–220.
7. Li X., Um H., Jung J., Seo H., Lee J. Triangular GaAs Microcones and Sharp Tips Prepared by Combining Electroless and Electrochemical Etching // *J. Electrochem. Soc.* 2010. Vol.157 P.D1-D4.
8. Nohavica D., Gladkov P., Jarchovská Z., Zelinka J. Defect structure modifications by porous InP and non-izoperiodical heterojunctions growth on micropores containing InP and GaP // *Acta Metallurgica Slovaca*, 2008 Vol.14. P. 240 – 246.
9. Пунегов В.И. Математическое моделирование рентгеновской дифракции на пористых кристаллах. 1. Когерентное рассеяние // *Известия Коми НЦ УрО РАН*. 2012. № 3. С. 10–19 (первая часть данной работы).
10. Lomov A.A. Bellet D., Dolino G. X-ray Diffraction Study of Thin Porous Silicon Layers // *Phys. Stat. Sol. (b)*. 1995. Vol.190. P. 219–226.
11. Punegov V.I., Lomov A.A., Shcherbachev K.D. Characterization of InP porous layer by high-resolution x-ray diffraction // *Phys. Stat. Sol. (a)*. 2007. Vol. 204. P. 2620–2625.
12. Пунегов В.И., Ломов А.А. Теория дифракции рентгеновских лучей в нанопористых кристаллах с латеральной квазипериодичностью // *Письма в ЖТФ*. 2008. Т.34. № 6. С.30–35.
13. Ломов А.А., Пунегов В.И., Васильев А.Л. Рентгенодифракционные исследования многослойной пористой структуры InP(001) // *Кристаллография*. 2010. Т.55. № 2. С. 196–204.
14. Пунегов В.И., Ломов А.А. О рассеянии рентгеновских лучей на многослойных пористых структурах // *Письма в ЖТФ*. 2010. Т. 36. № 3. С.60–67.
15. Punegov V. I., Kharchenko A. V. Effect of multiple diffuse scattering on the dynamical diffraction of x-rays in nonuniform layer crystals containing microdefects // *Crystallography Reports* .1998. Vol.43. No. 6. P. 1020–1025.
16. Бушув В.А. Влияние пространственной корреляции квантовых точек на диффузное рассеяние рентгеновских лучей // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2007. № 9. С.29–34.
17. Пунегов В.И. Паракристаллическая модель в статистической теории рентгеновской дифракции на эпитаксиальных слоях с квантовыми точками // *Письма в ЖТФ*. 2011. Т. 37. № 15. С.8–16.
18. Kato N. Statistical Dynamical Theory of Crystal Diffraction. I. General Formulation // *Acta Cryst. A*. 1980. Vol.36. P. 763–769.
19. Бушув В.А. Угловое распределение интенсивностей динамической дифракции рентгеновских лучей в кристаллах с микродефектами в геометриях Лауэ и Брэгга. М.: ВИНТИ, 1988. № 486-B88. 51с.
20. Пунегов В.И. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей от сферически-симметричных кластеров. Влияние флуктуаций размера дефектов // *Кристаллография*. 2009. Т.54. № 3. С. 415–423.
21. Ломов А.А., Бушув В.А., Караванский В.А., Бэйлисс С. Структура слоев пористого германия по данным высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии // *Кристаллография*. 2003. Т. 48. С. 362–371.
22. Пунегов В.И. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей пористым кристаллом со сфероидальной формой пор // *Письма в ЖТФ*. 2012. Т. 38. № 11. С.53–60.

Статья поступила в редакцию 3.04.2012.

УДК: 574.587(470.1)(211.7)

ЗООБЕНТОС ОЗЕРА БОЛЬШОЙ ХАРБЕЙ (БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКАЯ ТУНДРА): СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АНАЛИЗ РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ДАННЫХ

М.А. БАТУРИНА, О.А. ЛОСКУТОВА, Е.Б. ФЕФИЛОВА, Л.Г. ХОХЛОВА

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

Приводится оценка современного состояния зообентоса тундрового озера Большой Харбей (Большеземельская тундра) в сравнении с данными ретроспективных исследований. Рассмотрены физико-химические параметры воды, состав и структура донных биоценозов, выявлены доминирующие группы зообентоса. Проведен анализ распределения донных организмов по градиенту глубины и типам грунта.

Ключевые слова: зообентос, тундровые озера, химический состав воды

**M.A. BATURINA, O.A. LOSKUTOVA, E.B. FEFILOVA, L.G. KHOKHLOVA.
ZOOBENTHOS OF THE LAKE BOLSHOI KHARBEI (BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA): MODERN STATE AND ANALYSIS OF RETROSPECTIVE DATA**

The assessment of modern state of zoobenthos of the lake Bolshoi Kharbei (Bolshezemelskaya tundra) is given in comparison with data of retrospective researches. Physical and chemical parameters of surface water, composition and structure of bottom biocenosis are examined, dominating groups of zoobenthos are revealed. Distribution of bottom organisms on gradient of depth and types of ground is described.

Key words: zoobenthos, tundra lakes, chemical composition of water

Полигоном для изучения структуры и функциональных характеристик водоемов высоких широт в 60–80-е гг. прошлого столетия являлись озерно-речные системы Большеземельской тундры: Вашуткины, Падимейские, Харбейские и оз. Амбарты [1–5 и др.]. Наблюдениями были охвачены экосистемы чистых, не затронутых хозяйственной деятельностью водоемов с целью инвентаризации животного населения и растительности, выявления их продуктивности. Установлены высокое разнообразие и своеобразие водной фауны, свидетельствующие об удовлетворительном качестве среды обитания, определена значительная роль зоопланктона и зообентоса как кормового ресурса для промысловых рыб [4]. Продолжающееся интенсивное освоение территории тундры, а также особая уязвимость водных сообществ Севера диктуют необходимость проведения мониторинга состояния биоты тундровых озер и контроль их экологического благополучия. Сведения о естественной эволюции озер Большеземельской тундры, удаленных от прямого влияния промышленных объектов, являются фоном для изучения антропогенной динамики водных экосистем.

Настоящая работа нацелена на выявление возможных трендов динамики состава и количественных показателей развития зообентоса оз. Бол. Харбей, расположенного в Большеземельской тундре и не подверженного прямому антропогенному прессу, с привлечением данных ретроспективного анализа. Изучение сообществ гидробионтов на длительном временном отрезке позволит описать динамику их развития и закономерности распределения в ненарушенной среде.

Материал и методы

Материалы для данного обзора относятся к трем временным периодам: 1968–1969 гг. [3; архивные материалы], 1998–1999 гг. и 2009–2010 гг. (современный период). Исследования зообентоса в 1990-е и 2000-е гг. проводились в последнюю декаду июля–начале августа в северной, центральной и южной частях озера. Отбор проб бентоса на мягких грунтах осуществлялся дночерпателем Петерсена (с площадью 0,04 м²). На небольших глубинах и твердых (валунных и галечно-гравийных) грунтах использовался гидробиологический скребок с длиной лезвия 0,3 м. Попутно проводились смывы

с камней и прибрежно-водной растительности. Гидробиологические пробы промывались через сито с размером ячеи 230 мкм и фиксировались 4 %-ным раствором формальдегида. Анализировались следующие данные: численность (экз./м²) и биомасса (мг/м²) гидробионтов, относительные величины численности и биомассы (%), встречаемость (%) групп в пробах. Для оценки взаимосвязи между количественными показателями развития донных организмов и некоторыми факторами среды (глубина, размер фракций грунта, наличие растительных обрастаний на субстратах и зарослей макрофитов) использовался корреляционный анализ (по результатам обработки 74 количественных проб бентоса за 1998–1999 и 2009–2010 гг.). Расчеты осуществляли в программе Statistica 6.0 for Windows.

Отбор гидрохимических проб в 2009–2010 гг. выполняли согласно утвержденной методике [6] параллельно с отбором гидробиологического материала. Химико-аналитические работы проведены в стационарных условиях по общепринятым методикам сотрудниками аккредитованной лаборатории аналитической химии Института биологии Коми НЦ УрО РАН. На 13 станциях отобрано 85 проб воды, которые проанализированы на содержание в них макро- и микроэлементов, биогенных и органических веществ. Определялись цветность, кремний, минеральный фосфор, аммонийный азот, нитраты, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, бихроматная и перманганатная окисляемость, кальций, магний, калий, натрий, медь, цинк, марганец. У дна и на поверхности замерялись температура воды, pH, концентрация растворенного кислорода (портативным анализатором "Multi 340i/ SET", Германия). Прозрачность воды определялась с помощью диска Секки.

Характеристика озера и условия обитания гидробионтов

Наиболее крупное озеро Харбейской системы – Большой Харбей (площадь зеркала – 21,3 м²) расположено на территории Ненецкого автономного округа в восточной части Большеземельской тундры (67°33'22" с.ш., 62°53'23" в.д.). Природные условия этого региона описаны в ряде работ [1, 3, 7]. Харбейские озера имеют ледниковое происхождение. Водосбор их по сравнению с Вашуткиными и Падимейскими заболочен в большей степени [2].

В оз. Бол. Харбей выделяются зоны литорали (верхней и нижней), sublиторали, занимающей большую площадь дна водоема, и профундали [3]. В зоне литорали (0–3 м) доминируют твердые галечно-гравийные, реже – песчаные с валунами грунты, часто обросшие водными мхами и водорослями. В зоне sublиторали (3–10 м) и профундали (более 10 м) преобладают мягкие грунты (заиленные пески, глина, ил), реже встречаются гравийно-галечные элементы, иногда в составе грунтов присутствуют железистые включения рыжего цвета. Наибольшая глубина (18,5 м) отмечена в южной части озера в 1968–1969 гг. Максимально зарегистрированная глубина в 1998–1999 гг. составляла 16 м,

2009–2010 гг. – 9,8 м, однако в озере преобладают глубины 1–3 и 3–6 м [3; собственные данные]. Прозрачность воды в оз. Бол. Харбей достигает 2,7 м.

Бол. Харбей в связи с относительно небольшими глубинами отличается менее устойчивой температурной стратификацией [7] по сравнению с другими крупными тундровыми озерами. Максимальный прогрев воды относится к летнему периоду [3] – последняя декада июля – начало сентября (в среднем 6,2–10,3°C в 1968 г. и 8,2–7,7°C в 1969 г.). Во время наших исследований температура воды в конце июля – начале августа составляла: 18,1–18,7 °C – в 1998 г. и 10,6°C – в 1999 г. Эти годы отмечались как контрастные по погодным условиям: крайне теплый и холодный год [8]. В 2009 и 2010 г. колебания температуры воды составляли 14,1–16,3 и 9,6–13,0°C соответственно. Зона литорали (верхняя и нижняя) в эти годы характеризовалась сходным температурным режимом: 13,1 и 13,6 °C (максимальная – 18,5°C в 1998 г., минимальная – 9,8°C в 1999 г.). На глубине в зоне профундали средняя температура воды равнялась 13,6 °C (от 9,0 до 18,5°C).

Озеро Бол. Харбей расположено на значительном (100 км) расстоянии от предприятий угледобывающего комплекса. По результатам изучения фито- и зоопланктона [9–13] его экологическое состояние оценивалось как удовлетворительное.

Химический состав воды озера определяют прежде всего природные факторы: происхождение котловины, поверхностный сток, составляющий до 50–70 % приходной части водного баланса, специфика гидрологического и температурного режимов, жизнедеятельность гидробионтов и т.д. [3, 7]. В озерах отмечался благоприятный кислородный режим, незначительная минерализация и преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав воды при невысокой цветности и незначительном содержании биогенных элементов. На современном этапе наблюдений в воде оз. Бол. Харбей зафиксированы благоприятное насыщение воды кислородом, слабокислая или близкая к нейтральной реакция среды, низкая минерализация (табл.1). Вода также характеризуется гидрокарбонатно-кальциевым составом. Уровень цветности, перманганатная и бихроматная окисляемость указывают на невысокое содержание в воде органического вещества. Аммонийный азот, нитраты и нитриты не обнаружены, что в целом характерно для водоемов Большеземельской тундры, учитывая замедленность процессов нитрификации и аммонификации при низких температурах [14]. В центральной части озера на глубине зафиксирована наибольшая концентрация соединений железа (21 ПДК_{рбхз}). Среди микроэлементов в концентрациях, превышающих ПДК_{рбхз}, обнаружены соединения марганца (в 26 раз), которые, вероятно, поступают в природные воды в виде комплексных соединений с гуминовыми кислотами [15, 16]. Таким образом, полученные спустя более 40 лет результаты наблюдений не показывают наличия существенных изменений в химическом составе вод озера Бол. Харбей.

Физико-химическая характеристика воды озера Большой Харбей

Показатели	Годы исследований, июль–август				
	1963 ¹	1968 ²	1969 ²	2009	2010
Прозрачность, м	2.0-4.5	2.0-3.5	2.0-3.5	2.2-2.7	2.2-2.7
t _{воды} , °C	4.3	14.5	8.2	14.1-16.9	9.6-11.7
pH	6.7-7.4	6.3-7.2	6.5-7.1	6.3-6.9	7.1-7.4
Электропроводность, µS/cm	отс.	отс.	отс.	24-28	27-28
Σ _{ионов} , мг/дм ³	32.1-63.9	20.6-76.9	25.3-55.4	18.7-42.9	17.7-22.9
Cl ⁻ , мг/дм ³	3.5-5.5	отс.	отс.	0.6-8.1	0.6-0.9
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	2.9-10.6	отс.	отс.	1.35-1.59	1.30-1.63
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	12.8-30.5	отс.	отс.	10.2-16.1	10.7-14.3
Ca ²⁺ , мг/дм ³	2.6-8.2	отс.	отс.	2.2-3.2	2.5-3.1
Mg ²⁺ , мг/дм ³	0.6-1.7	отс.	отс.	0.72-0.84	0.69-0.74
Na ⁺ , мг/дм ³ (+K ⁺) ¹	4.5-8.5 ¹	отс.	отс.	0.70-0.98	0.66-0.84
K ⁺ , мг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.33-0.42	0.29-0.45
O ₂ , мг/дм ³	3.2-10.4	8.2-11.7	11.3-12.9	9.4-10.5	6.9-7.3
O ₂ , % _{нас.}	110-120	82-102	88-112	94-106	63-65
Цветность, град.	4-28	5-26	13-50	21-43	14-29
ПО, мг/дм ³	4.4-10.4	3.3-13.0	2.7-10.4	отс.	1.86-4.00
ХПК, мг/дм ³	отс.	8.2-22.9	6.0-36.6	9.8-19.0	8.8-23.0
БПК ₅ , мг/дм ³	отс.	0.47-2.41	0.60-3.41	1.0-3.3	отс.
Фенолы, мкг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.07-0.46	отс.
Фосфор мин., мг/дм ³	отс.	0.004-0.026	0.005-0.026	0.000-0.110	0.002-0.008
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	отс.	0.04-0.13	0.01-0.44	н/о	н/о
N _{общ.} , мг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.20-0.28	отс.
Fe _{общ.} , мг/дм ³	0.11-1.02	0.12-0.95	0.04-1.04	0.00-2.10	0.00-0.07
Mn, мкг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.28- 260	0.10- 18.0
Cu, мкг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.26- 8.1	0.12- 9.00
Zn, мкг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.80- 47.0	0.28- 46.0
Al, мкг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.0- 190	отс.
Pb, мкг/дм ³	отс.	отс.	отс.	0.0-1.61	отс.

Примечание. Жирным шрифтом отмечены показатели, превышающие ПДК_{рбхз}; отс. – нет данных; н/о – не обнаружено; ПО – перманганатная окисляемость. ¹ по: Голдина, 1972 [7], ² по: Продуктивность озер ..., 1976 [3].

Зообентос

Анализ многолетних структурно-функциональных показателей сообществ гидробионтов водоемов Субарктики позволяет выявить закономерности преобразования водных экосистем как при усилении, так и при относительном снижении уровня техногенного загрязнения. Представленные в литературе результаты были получены в основном для районов в условиях активного промышленного освоения [17–20 и др.]. Длительное воздействие приводит к упрощению экосистемы, а снижение уровня токсического загрязнения – к реколонизации водных сообществ со сменой доминантов, что указывает на процессы самовосстановления. При этом отмечается, что современное состояние экосистем отличается от доиндустриального периода развития региона.

Как показали первые исследования (1968–1969 гг.) донной биоты оз. Бол. Харбей [3], общие показатели количественного развития зообентоса в этот период были довольно высоки и близки к таковым мезотрофных озер средневропейской части СССР [21, 22] и некоторых тундровых водоемах [1, 2]: средняя биомасса бентоса в 1968–1969 гг. составляла 4,65 г/м², численность – 6,49 тыс. экз./м². В 1960-е гг. к числу доминантов по численности и биомассе отнесены: малощетинковые черви (Oligochaeta), моллюски (Mollusca), личинки хирономид (Chironomidae), реже – низшие ракообразные (Cladocera, Sorepoda) и нематоды (Nematoda). Донные беспозвоночные входили в состав 24 систематических групп. Состав фауны и встречаемость организмов в пробах были схожи с данными, полученными для других тундровых во-

доемов [1, 2, 5]. В результате исследований выявлен относительно низкий уровень продукции бентоса, равный 4,89 ккал/м² [3] и соответствующий таковым показателям в других озерах Большеземельской тундры [17, 23 и др.].

На следующем этапе исследований (1998–1999 гг.) в оз. Бол. Харбей количественные показатели развития зообентоса были выше по сравнению с данными 30-летней давности (табл. 2): средняя биомасса составляла 6,1 г/м², средняя численность – 10,4 тыс. экз./м². Основу биомассы бентоса формировали личинки хирономид (41% биомассы бентоса), моллюски (от 20 до 52%) и олигохеты (15%). По численности в эти годы доминировали личинки Chironomidae и рачки Sorepoda, составляя в сумме 67 – 68% от общих показателей (табл. 2).

По степени количественного развития донной и планктонной фауны озеро характеризовалось как олиготрофный водоем с признаками мезотрофии [8, 10, 24]. В составе фауны было установлено 19 систематических групп донных беспозвоночных. В отличие от других тундровых озер [1, 5] в оз. Бол. Харбей отмечена более высокая встречаемость амфипод и веснянок [8]. При анализе биотопического распределения донных беспозвоночных в озере установлено, что на преобладающих типах грунтов в 1998–1999 гг. доминировали одни и те же систематические группы и виды. При этом в различные по погодным условиям годы зафиксированы колебания количественных показателей развития.

В 2009–2010 гг. численность зообентоса в оз. Бол. Харбей относительно ранних периодов изуче-

Таблица 2

Количественные показатели развития зообентоса в озере Большой Харбей с 1968 по 2010 г.

Группа	1968 г.		1969 г.		1998 г.		1999 г.		2009 г.		2010 г.		
	N***	B	N***	B	N	B	N	B	N	B	N	B	
Hydrozoa	***		***		15,6	3,9	88,1	45,7	8,4	0,7	63,1	8,0	
Turbellaria	***	} 1,0**	***	} 1,4**	-	-	-	-	-	-	1,2	0,6	
Hirudinea	***		***		***	1,4	0,3	6,7	53,3	3,2	0,5	2,2	48,8
Nematoda	***		***		***	53,0	1207,0	1,2	1061,1	1,1	1151,5	63,5	895,6
Oligochaeta	***	932,0	***	1444,0	863,4	563,4	916,2	595,4	2358,3	1471,1	1499,6	409,4	
Tardigrada	***	***	***	***	5,0	0,1	3,4	0,2	3,2	0,2	11,1	0,7	
Mollusca	***	1050,0	***	1480,0	941,8	3961,3	452,2	700,9	350,2	717,8	285,6	901,4	
Cladocera	***	17,0	***	183,0	862,0	128,4	298,3	168,8	2945,7	163,5	1053,8	59,8	
Harpacticoida	***	***	***	***	1422,3	10,9	287,3	2,9	1528,2	16,4	821,1	10,0	
Cyclopoida	***	23,0	***	61,0	562,0	87,6	5139,9	246,0	1954,8	112,6	1620,0	83,7	
Ostracoda	***	***	***	***	114,9	1,1	74,8	0,7	44,6	3,3	46,9	2,1	
Amphipoda	***	79,0	***	366,0	194,5	948,4	85,7	883,1	61,2	135,0	48,7	196,3	
Collembola	***	***	***	***	-	-	-	-	0,4	0,04	-	-	
Hydracarina	***	37,0	***	24,0	112,0	30,1	48,4	34,1	56,9	18,3	28,6	7,3	
Plecoptera, lv	***	***	***	***	14,9	12,2	9,2	1,3	9,5	1,8	8,6	0,8	
Coleoptera, lv	***	***	***	***	5,7	7,6	27,2	6,9	9,8	6,7	6,8	0,8	
Coleoptera, im	***	***	***	***	-	-	3,7	12,9	-	-	-	-	
Trichoptera, lv	***	***	***	***	56,1	188,4	39,5	2,0	48,4	5,2	42,2	3,9	
Chironomidae, lv	***	1568,0	***	1510,0	3733,5	1163,2	1857,7	2239,8	2457,6	1398,8	2723,4	2434,0	
Chironomidae, pp	***	***	***	***	27,0	11,4	229,5	46,4	93,3	27,4	20,9	2,2	
Heleidae, lv	***	***	***	***	-	-	-	-	0,3	0,1	0,4	0,04	
Diptera, lv n/det	***	***	***	***	-	-	11,4	46,0	14,5	11,5	5,3	49,7	
** другие Insecta	***	214,0	***	179,0									
Всего	7000,0	3968,0	5990,0	5301,1	10139,1	7119,5	10640,3	5087,5	13100,0	4154,4	9185,1	4263,5	

Примечание. N – средняя численность зообентоса, экз./м²; B – средняя биомасса зообентоса, мг/м². Жирным шрифтом – преобладающие группы.

«-» – группа не встречена; * по: Продуктивность озер ..., 1976 [3]; ** – сведения только за 1968–1969 гг. ([3], архивные материалы), *** – сведения отсутствуют.

ния (табл. 2) вновь увеличилась и составила в среднем за два года наблюдений 11,2 тыс. экз./м² при биомассе 4,2 г/м². Общая биомасса донного населения в основном создавалась за счет личинок хирономид (16,3 – 81,3 % от общего её показателя) и моллюсков (17,3 – 55,6 % от общей), а в 2009 г. – олигохет (35,4 %). В формировании общей численности зообентоса в этот период основную роль играли ракообразные (Cladocera, Naupacticoidea, Cyclopoida, Ostracoda, Amphipoda), в сумме составляя от 37 до 48 %. Значительна была также численность личинок хирономид (18,8 – 29,7 % от общей) и олигохет (16,3 – 18,0 % от общей). В составе донной фауны оз. Бол. Харбей в 2009–2010 гг. отмечено 20 таксономических групп донных беспозвоночных (табл. 2). Все группы характерны для стоячих водоемов Большеземельской тундры [1, 2, 5] и отмечались в Бол. Харбее ранее [3, 8]. Нами не встречены лишь Hemiptera, Simuliidae, Aranea, которые указывались в составе фауны других тундровых озер [1].

На распределение беспозвоночных в бентали оказывают влияние и абиотические факторы. В современной гидробиологии как в России [25–27 и др.], так и зарубежом [28–31 и др.] много внимания уделяют воздействию на гидробионтов морфометрических характеристик водоемов, например, глубины и типа грунтов. Анализ данных о горизонтальном распределении донных беспозвоночных оз. Бол. Харбей, полученных на современном этапе исследований, подтвердил выводы, сделанные 40 лет назад [3]. Как состав групп, так и количественные показатели развития зообентоса в различных зонах и биотопах озера не однородны (рис. 1). В исследованном водоеме для глубин 0–3 м характерны высокий уровень развития зообентоса и наибольшее количество таксономических групп (рис. 1, 2). Основы численности и биомассы бентоса в этой зоне составляют личинки хирономид, моллюски и реже – олигохеты. Заметна в общей численности бентоса роль мейобентосных ракообразных, для которых, как и в других субарктических водоемах [32], типичны высокие показатели развития именно в этой зоне. Из-за более поздней затяжной весны 2010 г. верхняя литораль озера дольше была подоледом и количественные показатели развития зообентоса в конце июля – начале августа были заметно ниже таковых в предыдущие периоды (рис. 1). Подобное распределение наблюдалось и в 1968–1969 гг.: верхняя литораль уступала по численности и биомассе зообентоса нижней из-за длительного ее пребывания подоледом [3].

На разных типах грунтов донные организмы распределяются неравномерно. Достоверно выше количественные показатели развития бентоса только на твердых грунтах в зоне нижней литорали озера (рис. 3). Как на мягких, так и на твердых грунтах численность зообентоса на глубине 1–3 м формируют в основном олигохеты, нематоды, низшие ракообразные и личинки хирономид, биомассу – олигохеты, моллюски и личинки хирономид (табл. 3). На каменистых грунтах мелководья отмечено наибольшее разнообразие групп амфибиотических на-

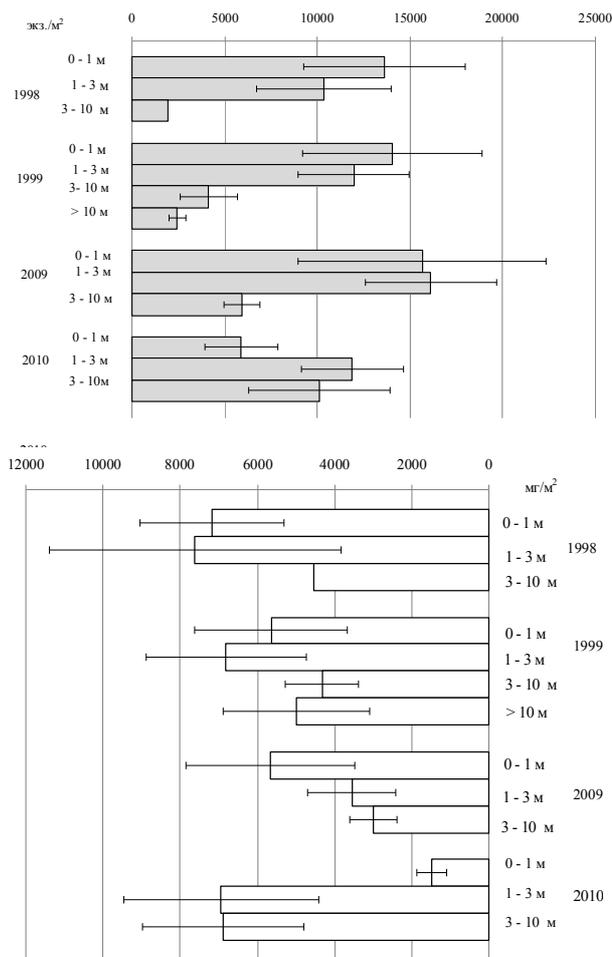


Рис. 1. Распределение по годам численности (вверху) и биомассы (внизу) зообентоса на разных глубинах.

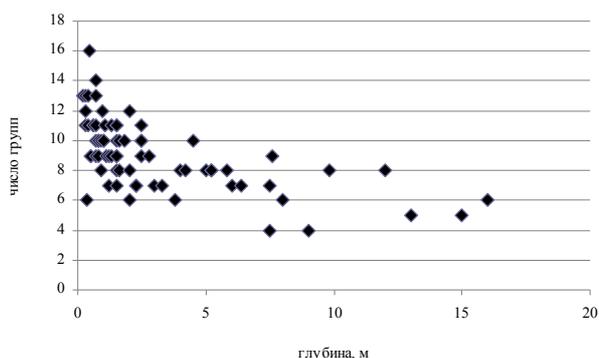


Рис. 2. Распределение по глубинам донных беспозвоночных различных систематических групп.

секомых, которые показывают положительную корреляцию с размером основной фракции грунта и наличием на нем обрастаний (табл. 4). В среднем в оз. Бол. Харбей численность, биомасса и разнообразие бентоса на мягких грунтах ниже, чем на твердых субстратах (13,6 тыс. экз./м² и 5 г/м² против 14,3 тыс. экз./м² и 6,9 г/м²). Проведенный корреляционный анализ многолетних данных показал достоверное влияние некоторых параметров среды на количественные показатели развития отдельных групп

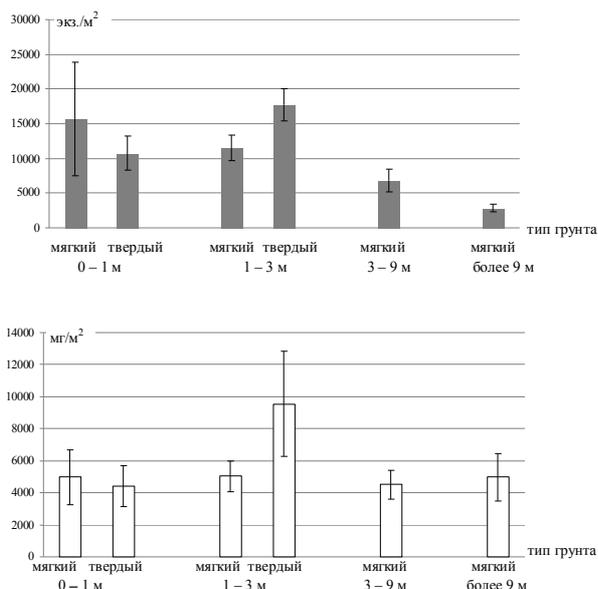


Рис. 3. Количественные показатели зообентоса на разных типах грунтов (мягкий – глина, ил, песок; твердый – гравий, галька, валуны).

зоне литорали с хорошим прогревом воды и стабильным кислородным режимом на твердых грунтах, покрытых мхами или водорослями.

В сублиторали исследуемого водоема отмечено от 7 до 12 систематических групп донных беспозвоночных, состав которых по сравнению с литоралью не изменяется (табл. 3). Однако более чем в два–четыре раза снижается их численность, что приводит к уменьшению общей численности бентоса. Так, с продвижением в глубину резко сокращается количество бентосных рачков: копепод – в 90 раз, кладоцер – в 17. Численность остальных групп снижается от 1,5 до 3 раз. Биомасса зообентоса в этой зоне формируется за счет крупных форм моллюсков, олигохет, амфипод и личинок хирономид. На фоне уменьшения биомассы большинства групп донных беспозвоночных биомасса личинок хирономид возрастает в 1,3 – 2,7 раза по сравнению с мелководьем. Вероятно, это связано с развитием в сублиторали крупных личинок рода *Chironomus*, которые предпочитают мягкие заиленные грунты [33].

Зона профундали в оз. Бол. Харбей характеризуется наименьшей численностью (2,4 тыс. экз./м²) бентоса. Основу ее (более 80 %) формируют олиго-

Таблица 3

Состав групп зообентоса, преобладающих по численности и биомассе

Зона	1998 г.	1999 г.	2009 г.	2010 г.
Верхняя литораль (0–1 м)	Chironomidae, lv Mollusca	Copepoda Chironomidae, lv Nematoda	Chironomidae, lv Cladocera Oligochaeta	Chironomidae, lv Cladocera Copepoda
	<i>Mollusca,</i> <i>Chironomidae, lv</i>	<i>Mollusca</i> <i>Chironomidae, lv</i> <i>Oligochaeta</i>	<i>Oligochaeta</i> <i>Chironomidae, lv</i> <i>Mollusca</i>	<i>Oligochaeta</i> <i>Mollusca</i>
Нижняя литораль (1–3 м)	Chironomidae, lv Cladocera Harpacticoida Oligochaeta Nematoda	Chironomidae, lv Copepoda Nematoda	Cladocera Harpacticoida Oligochaeta	Chironomidae, lv Harpacticoida Oligochaeta Nematoda
	<i>Mollusca,</i> <i>Amphipoda</i>	<i>Chironomidae, lv</i> <i>Oligochaeta</i> <i>Amphipoda</i>	<i>Oligochaeta</i> <i>Chironomidae, lv</i> <i>Mollusca</i>	<i>Chironomidae, lv</i> <i>Mollusca</i>
Сублитораль (3–9 м)		Chironomidae, lv Oligochaeta Nematoda	Chironomidae, lv Copepoda Oligochaeta	Chironomidae, lv Copepoda Oligochaeta Nematoda
		<i>Chironomidae, lv</i>	<i>Chironomidae, lv</i>	<i>Chironomidae, lv</i>
Профундаль (более 9 м)		Chironomidae, lv Oligochaeta		
		<i>Chironomidae, lv</i> <i>Amphipoda</i>		

Примечание. В таблицу включены группы, доля которых в общей численности или биомассе бентоса составляла от 20 до 80 %; обычным шрифтом – доминанты по численности, курсивом – доминанты по биомассе.

зообентоса (табл. 4). Большинство групп, демонстрируя отрицательную зависимость от градиента глубины, положительно коррелируют с различными типами обростаний или наличием макрофитов. Это объясняет их распространение преимущественно в

хеты и личинки хирономид. Большая, по сравнению с населением литорали, биомасса личинок хирономид определяет более высокие значения средней биомассы бентоса на заиленных грунтах глубоководных зон озера (рис. 3).

Таблица 4

Значения коэффициента корреляции численности (N , экз./м²) и биомассы (B , мг/м²) систематических групп донных беспозвоночных с некоторыми факторами среды ($p > 0,05$, $n = 72$)

Показатели	Глубина, м	Размер частиц грунта, мм	Растительность (присутствие/отсутствие)		
			Мхи	Водоросли	Макрофиты
Глубина, м	1,00	-0,48	-0,13	-0,21	-0,17
Hydrozoa (N)	-0,37	0,28	-0,05	0,25	-0,02
Hydrozoa (B)	-0,31	0,25	-0,04	0,26	-0,03
Nematoda (N)	-0,71	0,05	-0,07	0,23	-0,13
Oligochaeta (N)	-0,58	0,07	-0,12	0,19	-0,08
Oligochaeta (B)	-0,54	0,07	-0,06	0,23	-0,07
Hirudinea (N)	0,19	-0,13	-0,10	0,25	-0,07
Mollusca (N)	-0,57	0,41	0,19	0,46	-0,08
Mollusca (B)	-0,52	0,33	0,08	0,43	-0,09
Cladocera (N)	-0,69	0,09	-0,13	0,33	-0,08
Cladocera (B)	-0,35	-0,08	-0,09	0,39	-0,07
Harpacticoida (N)	-0,55	0,19	-0,13	0,24	-0,11
Harpacticoida (B)	-0,59	0,12	-0,12	0,20	-0,11
Cyclopoida (N)	-0,54	0,08	-0,02	0,28	-0,21
Ostracoda (N)	0,25	-0,25	0,00	-0,13	-0,13
Amphipoda (N)	-0,40	0,21	0,25	0,43	-0,06
Hydracarina (N)	-0,56	0,43	-0,01	0,48	-0,13
Hydracarina (B)	-0,25	0,16	-0,09	0,42	-0,08
Plecoptera, lv (N)	-0,41	0,32	-0,04	0,04	-0,08
Plecoptera, lv (B)	-0,39	0,37	0,04	0,02	-0,08
Coleoptera, lv (N)	-0,47	0,32	-0,08	0,23	-0,06
Coleoptera, lv (B)	-0,46	0,32	-0,07	0,12	-0,08
Coleoptera, im (N)	-0,30	0,24	-0,06	-0,06	-0,04
Coleoptera, im (B)	-0,30	0,25	-0,06	-0,07	-0,04
Trichoptera, lv (B)	-0,39	0,23	0,22	0,07	-0,06
Chironomidae, lv (N)	-0,45	0,22	-0,05	0,27	-0,19
Chironomidae, lv (B)	0,41	-0,29	-0,08	0,11	-0,21
Chironomidae, pp (N)	-0,64	-0,01	-0,12	0,44	-0,09
Chironomidae, pp (B)	-0,56	0,14	-0,13	0,54	-0,09
Общая численность бентоса	-0,74	0,23	-0,11	0,45	-0,19
Общая биомасса бентоса	0,02	0,09	-0,01	0,50	-0,22
Число групп	-0,74	0,50	0,02	0,17	0,05

Примечание. Жирным шрифтом – корреляция достоверна.

Ретроспективный анализ структуры зообентоса оз. Бол. Харбей показал, что наблюдаемые изменения укладываются в представления о межгодовых колебаниях донной фауны. Наибольшей встречаемостью в гидробиологических пробах отличаются низшие ракообразные (Cladocera, Suctoroida, Harpacticoida), черви (Nematoda, Oligochaeta), двусторчатые моллюски (Bivalvia) и личинки двукрылых (Chironomidae). Перечисленные группы отмечены на протяжении всех лет исследований, на разных глубинах и всех описанных типах грунтов. Редко встречаются личинки насекомых

(кроме хирономид) и пиявки, что характерно для арктических водоемов [1, 5, 17]. В 1968–1969 гг. в составе донной фауны оз. Бол. Харбей зарегистрирован реликтовый рачок *Pallasea quadrispinosa* G.O. Sars, относящийся к группе Amphipoda. Рачки преимущественно встречались на плотных грунтах с обрастаниями водяного мха и хары [3]. На большинстве станций численность вида была не высока при биомассе от 0,3 до 6,5 г/м². В 1998–1999 гг. палассов рачок в отдельных биотопах также занимал лидирующее положение по биомассе, составляя 32,3–46,9 % от общей массы зообентоса. Макси-

мальная масса рачков ($4,7 \text{ г/м}^2$) была зарегистрирована на глубинах до 12 м, здесь же отмечалась максимальная масса одной особи (0,6 г). Однако наибольшее распространение амфиподы имели на грунтах с моховыми и ностоковыми обрастаниями на глубинах 1,5–3 м. Известно [34], что молодь палассии развивается на мелководье, а крупные, взрослые особи обитают на больших глубинах. По данным наблюдений в 2009–2010 гг., рачки также предпочитали плотные грунты с обрастаниями, однако количественные показатели их развития в бентосе были заметно снижены. Так, средняя их биомасса не превышала $2,0 \text{ г/м}^2$, или 3,3–3,7 % общей массы бентоса. По нашему мнению, это связано с жизненным циклом развития рачков. В сборах встречалась лишь молодь, что и определяло низкую биомассу этих ракообразных. Однако, существует мнение, что численность реликтовых ракообразных снижается в ответ на антропогенное эвтрофирование северных озер [18, 19]. В крупных озерах Северо-Запада России [18, 20 и др.] описаны изменения уровня трофности, сопровождающиеся ростом количественных показателей развития зообентоса. Это явление связывают с активным накоплением в поверхностном слое донных отложений органического вещества, что тоже приводит к структурным преобразованиям донного сообщества, например, резкому увеличению доли малощетинковых червей в суммарной численности бентоса. В оз. Бол. Харбей, по нашим данным, таких преобразований не наблюдалось. Через несколько десятилетий после первоначальных исследований экосистемы озера устойчивой тенденции к изменениям в количественных показателях развития зообентоса также не выявлено. Как по численности, так и по биомассе доминирующий комплекс возглавляют личинки хирономид. В разные годы отмечался вклад и других групп в общие показатели развития донной фауны (бентосные ракообразные, моллюски, олигохеты). Если в 1969 г. доля олигохет составляла 27 % общей биомассы, то в 2009–2010 гг. эта цифра колебалась от 35 до 9,5 %. То есть при росте количественных показателей развития донных беспозвоночных структурных перестроек в фауне не произошло. Наблюдаемые нами незначительные колебания численности донных организмов не влияют на уровень трофности водоема. Отмечаемые в литературе негативные изменения в биологическом и промысловом состоянии рыбной части сообществ тундровых озер, в частности оз. Бол. Харбей [35], вероятнее всего, не связаны с изменениями качества среды обитания рыб. В период с 60-х гг. прошлого столетия и на сегодняшний день по количественным показателям развития зообентоса трофический статус оз. Бол. Харбей не изменяется, и озеро оценивается как мезотрофный водоем.

Заключение

По итогам многолетнего изучения зообентоса оз. Большой Харбей установлено 24 таксономические группы, характерные для водоемов Субаркти-

ки и крупных тундровых озер Северо-Востока России в целом.

Анализ ретроспективных данных показал, что за более чем 40-летний период в экосистеме оз. Бол. Харбей существенных изменений не произошло как в таксономической структуре зообентоса, так и в количественных показателях его развития. Уровень биомассы донных беспозвоночных характеризует исследованный водоем как мезотрофный. Наблюдаемый подъем численности донных организмов определяется межгодовыми колебаниями доминирующих групп. Проанализированная информация о таксономическом составе, численности и биомассе донных беспозвоночных отражает современное состояние водоема и может служить для оценки долгосрочных изменений среды. Распределение сообществ зообентоса по глубинам и на разных типах грунтов соответствует естественным закономерностям горизонтального распределения гидробионтов в озерных экосистемах.

Результаты получены в рамках проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно организациями УрО и СО РАН: № 09-С-4-1017 и № 12-С-4-1011, при поддержке гранта РФФИ 11-05-00246-а и проекта 12-4-7-004-АРКТИКА.

Литература

1. *Зверева О.С.* Бентос и общие вопросы гидробиологии Вашуткиных озер // Гидробиологическое изучение и рыбохозяйственное освоение озер Крайнего Севера СССР. М., 1966. С.112–136.
2. *Зверева О.С., Власова Т.А., Голдина Л.П., Изъярова В.К.* Итоги лимнологических исследований в Большеземельской тундре // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1970. С. 248–253.
3. *Продуктивность озер* восточной части Большеземельской тундры / Отв. редакторы Г.Г.Винберг, Т.А.Власова. Л.: Наука, 1976. С. 6–25.
4. *Сидоров Г.П.* Рыбные ресурсы Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1974. 164 с.
5. *Флора и фауна* водоемов Европейского Севера (на примере озер Большеземельской тундры) / Отв. редактор М.В.Гецен. Л.: Наука, 1978. 192 с.
6. *Стенина А.С., Елсаков В.В., Хохлова Л.Г.* Состояние водных экосистем в районе месторождений углеводородного сырья в бассейне Средней Печоры по данным гидрохимического и биологического анализов // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 4. С. 484–493.
7. *Голдина Л.П.* География озер Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1972. 101 с.
8. *Лоскутова О.А.* Бентос озерно-речных систем восточноевропейской тундры // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Сыктывкар, 2002. С. 44–57 (Тр. Коми НЦ УрО РАН, № 169).

9. *Стенина А.С.* Диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) в озерах востока Большеземельской тундры. Сыктывкар; 2009. 176 с.
10. *Фефилова Е.Б.* Изученность планктонной фауны тундровых озер // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Сыктывкар, 2002. С. 33–43 (Тр. Коми НЦ УрО РАН, № 169).
11. *Gladyshev M.I., Semenchenko V.P., Dubovskaya O.P. et al.* Effect of temperature on contents of essential highly unsaturated fatty acids in freshwater zooplankton // *Limnologica*. 2011. Vol. 41. P. 339–347.
12. *Фефилова Е.Б., Кононова О.Н., Дубовская О.П., Хохлова Л.Г.* Современное состояние зоопланктона системы озер Большеземельской тундры // *Биология внутренних вод*. 2012. № 4. С. 44–52.
13. *Фефилова Е.Б.* Зоопланктон // Воркута – город на угле, город в Арктике. Второе дополненное и переработанное научно-популярное издание/ Отв. редактор – составитель д.б.н. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2011. С. 68–73.
14. *Дауэвальтер В.А., Хлопцева Е.В.* Гидрологические и гидрохимические особенности озер Большеземельской тундры // *Вестник МГТУ*. 2008. Т. 11. № 3. С. 407–411.
15. *Хохлова Л.Г.* Гидрохимическая изученность поверхностных вод Большеземельской тундры // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Сыктывкар, 2002. С. 5–14 (Тр. Коми НЦ УрО РАН; №169).
16. *Хохлова Л.Г., Стенина А.С.* Экологическое состояние поверхностных вод в бассейне реки Новая Нерута (район мыса Болванский Нос) // Биоразнообразии наземных и водных экосистем охраняемых территорий Малоземельской тундры и прилегающих районов. Сыктывкар, 2005. С.77–87.
17. *Особенности структуры экосистем озер Крайнего Севера (на примере озер Большеземельской тундры)*. СПб.: Наука, 1994. 259 с.
18. *Тимакова Т.М., Сабылина А.В., Полякова Т.Н. и др.* Современное состояние экосистемы Онежского озера и тенденции ее изменения за последние десятилетия. Петрозаводск, 2011. С. 42–49. (Тр. Карельского научного центра РАН, № 4).
19. *Ильяшук Б.П.* Реликтовые ракообразные в условиях длительного загрязнения субарктического оз.Имадра (результаты наблюдений за период 1930–1998 гг.) // *Экология*. 2002. №3. С. 215–220.
20. *Moiseenko T.I., Voinov A.A., Megorsky V.V. et al.* Ecosystem and human health assessment to define environmental management strategies: The case of long-term human impacts on an Arctic lake // *Science of the Total Environment* 2006. No. 369. P. 1–20.
21. *Алимов А.Ф., Финогенова Н.П.* Биоценозы и продуктивность бентоса // *Биологическая продуктивность северных озер*. 1. Озера Круглое и Кривое. Л.: Наука, 1975. С. 156–195.
22. *Китаев С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 395 с.
23. *Садьрин В.М.* Гидробиологическая характеристика некоторых ледниковых озер Республики Коми и их продукция // *Гидробиол. журн.* Киев, 1998. Т.34. № 2. С. 19–29.
24. *Лоскутова О.А.* Зообентос // Воркута – город на угле, город в Арктике. Второе дополненное и переработанное научно-популярное издание/ Отв. редактор – составитель д.б.н. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2011. С. 73–79.
25. *Алимов А.Ф.* Связь количества видов гидробионтов с морфометрическими характеристиками озер и их продуктивностью // *ДАН*. 2000. Т. 375. № 2. С. 268–271.
26. *Алимов А.Ф.* Морфометрия озер, количество видов и биомасса гидробионтов // *Биология внутр. вод*. 2006. № 1. С. 3–7.
27. *Безматерных Д.М., Чернышкова К.В., Марусин К.В.* Современное состояние и многолетняя динамика зообентоса озера Чаны // *Проблемы региональной экологии*. 2008. № 6. С. 43–49.
28. *Rusmussen J.* Litoral zoobenthic biomass in Lakes, and its relationship to physical, chemical, and trophic factors // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1988. Vol. 45. P. 1436–1447.
29. *Heino J.* Lentic macroinvertebrate assemblage structure along gradients in spatial heterogeneity, habitat size and water chemistry // *Hydrobiologia*, 2002. No. 418. P.229–242.
30. *Beaty S.R., Fortino K., Hershey A.E.* Distribution and growth of benthic macroinvertebrates among different patch types of the littoral zones of two arctic lakes // *Freshwater Biology*. 2006. No. 51. P. 2347–2361.
31. *Lake Vxrtsjdrv* Tallin: Estonian Encyclopedia Publishers, 2004. P. 463.
32. *Skvortsov V.* Meiobenthos communities of some subarctic lakes // *Hydrobiologia*. 1997. No. 342/343. P. 117–124.
33. *Мотыль Chironimus plumosus L.* (Diptera, Chironomidae). Систематика, морфология, экология, продукция. М.: Наука, 1983. 309 с.
34. *Hill C.* Life cycle and spatial distribution of the amphipod *Pallasea quadrispinosa* in a lake in northern Sweden // *Ecography*. 1988. Vol. 11 (4). P. 298–304.
35. *Сидоров Г.П.* Ихтиофауна Большеземельской тундры и ее рыбохозяйственные возможности // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Сыктывкар, 2002. С. 79 – 94. (Тр. Коми НЦ УрО РАН; № 169).

Статья поступила в редакцию 14.03.2012.

УДК 631.4

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕРЗЛОТНЫХ И ДЛИТЕЛЬНО СЕЗОННО-ПРОМЕРЗАЮЩИХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

А.В. ПАСТУХОВ

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
alpast@mail.ru*

Рассмотрено микроморфологическое строение тундровых и лесотундровых почв Европейского Северо-Востока, формирующихся на покровных пылеватых суглинках. Изучаемые почвы составляют биоклиматогенный генетический ряд: глееземы криогенно-ожелезненные – глееземы криометаморфические – светлоземы иллювиально-железистые, ведущую роль в формировании которых играет почвенный криогенез. Характерной их особенностью является наличие срединного неоглеенного криометаморфического горизонта CRM. Наиболее важная его черта – специфическая угловато-крупитчатая, ооидная (гранулированная рассыпчатая), творожистая в сыром состоянии, криогенная структура. Типичными в микроморфологии CRM для тундровых и северотаежных почв являются кольцевое обособление грубодисперсного материала вокруг микроагрегатов, аккумуляция песчано-пылеватых зерен в основной массе, порах и трещинах.

Ключевые слова: микроморфология почв, криометаморфический горизонт, экотон, биоклиматогенный ряд

A.V. PASTUKHOV. MICROMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF PERMAFROST-AFFECTED AND SEASONALLY LONG-TERM FREEZING LOAMY SOILS OF THE EUROPEAN NORTHEAST

Micromorphological structure of tundra and forest-tundra soils occurred in pulverulent induviate loamy soils in the European Northeast is considered. The studied soils make bioclimatic genetic series: Iron-Cryogenic Gleyzems – Cryometamorphic Gleyzems – Iron-Illuvial Svetlozems. Cryogenesis plays leading role in their formation. Characteristic feature of these loamy soils is the presence of the middle non-gleyic cryometamorphic horizon CRM. The most important feature of the horizon is the specific angular, ooid (granular crumbly), curdy in the moist state, cryogenic structure. Typical of CRM micromorphology for both tundra and extreme north taiga soils is annular isolation of coarse disperse material around microaggregates, accumulation of sand-silty grains in most material, in pores and cracks.

Key words: soil micromorphology, cryometamorphic horizon, ecotone, bioclimatic genetic series

Введение

Почвы и почвенный покров тундры, лесотундры и крайне северной тайги длительное время являются объектом изучения несколькими поколениями отечественных и зарубежных ученых – Ю.А. Ливерского, Е.Н. Ивановой, О.А. Полынцевой, И.В. Забоевой, И.В. Игнатенко, А.В. Барановской, И.Б. Арчеговой, А.Н. Цыпановой, А.В. Кононенко, Г.В. Русановой, В.Д. Тонконогова, Г.Г. Мажитовой, С.В. Горячкина, Д.А. Каверина, П. Кюхри (P. Kuhry), Л.Т. Станд (L.T. Strand) и др. В результате многолетних почвенно-географических и стационарных исследований были выявлены основные закономерности и специфика развития тундровых глеевых и северотаежных глееподзолистых почв,

закрывающиеся в процессах оглеения, оподзоливания, грубогумусовой аккумуляции, криогенных процессов и пр.

Однако эколого-генетическим аспектам почвообразования и микростроения почв переходной (экотонной) полосы между тундровыми и лесотундровыми биогеоценозами посвящены единичные работы. В исследовании Г.В. Русановой [1] рассмотрены подбуры, формирующиеся на погребенных подзолах на северном пределе распространения леса, дана их микроморфологическая диагностика. Показано, что данные профили содержат информацию о предшествующих фазах развития и являются индикаторами климатических изменений прошлого.

В результате наших многолетних исследований под руководством В.Д. Тонконогова были уста-

новлены зонально-подзональные закономерности почвенного покрова, генезис и классификационное положение почв, формирующихся на пылеватых покровных суглинках. Показано, что характер границы между почвами тундровых и редколесных ассоциаций в пределах лесотундры может изменяться на протяжении нескольких метров, создавая контрастный почвенный покров [2–4 и др.]. Были впервые выделены и описаны в южной тундре суглинистые почвы с неглеевым профилем – криометаморфические почвы [4]. Выявлено, что на легко- и среднесуглинистых пылеватых покровных отложениях от южной тундры до средней тайги включительно преобладают почвы, общей чертой которых является наличие специфически оструктуренного неглеевого срединного криометаморфического горизонта [4, 5].

Согласно ставшими классическими трудам В. Кубиены, Х. Альтемяллера, Е. Мюккенхаузена, Е.И. Парфеновой и Е.А. Яриловой, вся совокупность почвенных процессов находит свое отражение в микроструктурной организации, которая выступает как проявление естественно-исторической природы почвы. Поэтому чтобы отразить процессы почвообразования, происходящие в экотонных условиях (зонах экологического напряжения), в данной работе дана детальная характеристика микроморфологического строения почв и предпринята попытка рассмотреть географию и генезис как типов почв, так и пространственных рядов генетических горизонтов, в частности криометаморфического.

Результаты исследований

Район исследований находится на Северо-Востоке европейской части России и характеризуется умеренно-континентальным умеренно-холодным климатом. Изучаемая территория представляет собой низменную холмистую равнину с абсолютными высотами от 80 до 190 м над ур. м., перекрытую мощным слоем четвертичных отложений. Лето короткое (всего 30–40 дней) и прохладное, зима многоснежная, продолжительная и морозная. Среднегодовое количество осадков варьирует от 700 до 800 мм, составляя 450–500 мм в теплый период и 175–275 мм – в холодный. Среднегодовая температура – -5.2 – -5.3°C , средняя температура января – -19 – -20.8°C , средняя температура июля – $+11.6$ – $+13.6^{\circ}\text{C}$, сумма положительных температур – 800 – 1400°C (по данным метеостанций Воркута и Сивая Маска).

Изучаемые ключевые участки находятся в пределах экотона «тундра – лесотундра». Он представляет собой переходную зону между двумя смежными и в то же время различными экологическими системами – тундровой и таежной. Европейская южная тундра и лесотундра представляют собой биоклиматогенный экотон, обладающий повышенной чувствительностью к фоновым изменениям климата и антропогенному влиянию. Поскольку в нем происходит уменьшение в растительном покрове ценотической роли лесных и кустарниковых сообществ при переходе от фитохор редкостойных

северотаежных лесов к лесотундровым редколесьям и далее – к ерниковым и кустарничковым тундрам. Поэтому строение и состав растительных группировок обусловлены влиянием экологических факторов [6]. На изучаемой территории граница сплошного распространения многолетнемерзлых пород совпадает с южной границей тундровых ландшафтов. Согласно современным прогнозным сценариям изменения климата, полученным в рамках проекта «Оценка влияния климата Арктики» (ACIA), предполагается, что среднегодовые температуры возрастут на 4 – 7°C [7]. Это приведет к трансформации тундровых ландшафтов в лесные, а значит, кардинально изменятся и экологические функции почв.

Непосредственные объекты полевых исследований находятся вдоль Печорской железной дороги на двух ключевых участках к югу от г. Воркута ($67^{\circ}31.5'$ с. ш., $63^{\circ}49'$ в. д.) и в окрестностях ж. д. станции Сейда ($67^{\circ}02'$ с. ш., $63^{\circ}03'$ в. д.). Почвенные профили расположены на дренированных водораздельных пространствах, сложенных с поверхности пылеватыми легкими суглинками.

Первый ключевой участок к югу от г. Воркута представляет собой бугорковато-пятнистую тундру с редкими кустарниками: ивой шерстистой и сероголубой высотой до 50 см, березой карликовой – до 40 см. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают багульник стелющийся, вороника гермафродитная, брусника, голубика, толокнянка альпийская, осоки шаровидная и дернистая. Мхи угнетены и представлены родом *Polytrichum*, лишайники хорошо развиты и разнообразны: *Cladonia sylvatica*, *Cl. rangiferina*, *Cetraria nivalis*, *C. cucullata*, *C. hyascens*, *Alectoria ochroleuca* и др. В зависимости от степени дренированности почв, контролируемой главным образом мерзлотным экраном и оглеением, выделяются три типа профиля почв [4]:

1) почвы, характеризующиеся полнопрофильным оглеением – глееземы криогенно-ожелезенные (названия почв здесь и ниже даны согласно классификации и диагностике почв России [8]) и Turbic Cryosols (Thixotropic & Reductaquic) (название почвы дано согласно WRB [9]);

2) почвы с поверхностным оглеением – глеезёмы криометаморфические [8]; Cambi-Turbic Cryosols (Reductaquic) [9];

3) почвы без выраженного оглеения – криометаморфические [8]; Cambi-Turbic Cryosols (Oxhaquic) [9].

В условиях глубокого и длительного сезонного промерзания, сливающегося со льдисто-водоупорной многолетней мерзлотой (до 1 м) и постоянного или периодического надмерзлотного гидроморфизма и процессов криотурбации, формируются глеезёмы криогенно-ожелезенные. При более глубоком залегании многолетней мерзлоты часто сохраняются так называемые «нулевые завесы» [10], и на этих глубинах происходит формирование криометаморфического горизонта как результат чередования процессов оттаивания и замерзания при

участии гумусово-железистых соединений. Формируются глееземы криометаморфические или криометаморфические почвы (в случае отсутствия выраженного оглеения).

Второй ключевой участок в окрестностях станции Сейда является очень узким локальным экотонном, в котором кустарничковые тундры могут резко сменяться угнетенными березово-еловыми редколесными сообществами на протяжении десятков метров. При этом данный локальный экотон представляет собой своеобразную модель регионального экотона – перехода от южной тундры к лесотундре [3]. В связи с этим в строении почвенного покрова наблюдается чрезвычайно сложная картина. На открытых, обдуваемых ветром ландшафтах под тундровыми биогеоценозами форми-

гумусового подзола с накладывающимися чертами оглеения. Сочетание Al-Fe-гумусовой дифференциации с криогенными процессами приводит к формированию трех основных горизонтов: подзолистого, иллювиально-железистого и криометаморфического. Эти системы горизонтов характерны для северо- и среднетаежных почв, формирующихся на легко-среднесуглинистых пылеватых суглинках [4, 5].

Таким образом, изучаемые почвы составляют биоклиматогенный генетический ряд: глееземы криогенно-ожелезенные – глееземы криометаморфические – светлоземы иллювиально-железистые (рис. 1). Подобный биоклиматогенный ряд почв впервые проанализирован В.Д. Тонконовым [4]. Он отмечает, что не ареалы почв, а ареалы генети-

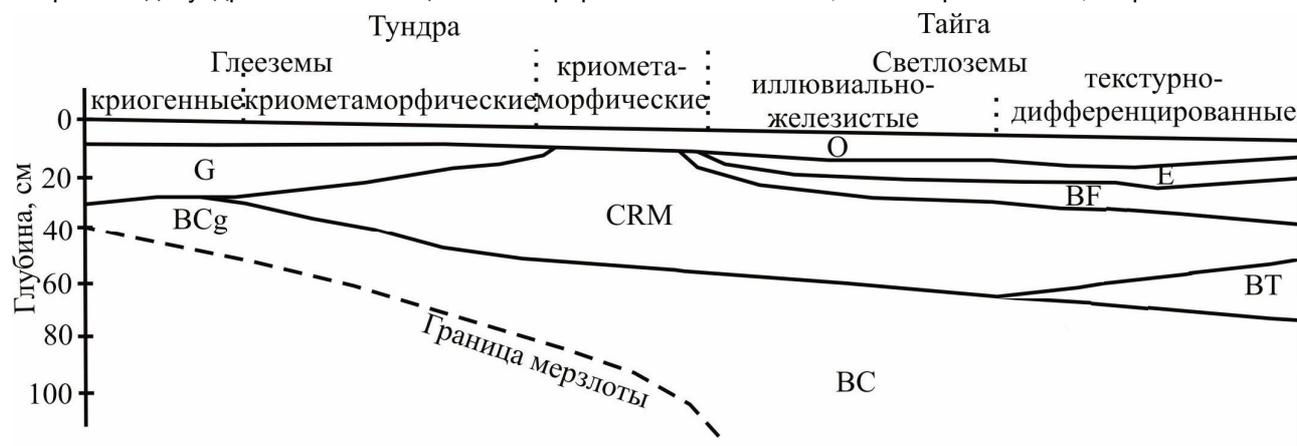


Рис. 1. Биоклиматогенный ряд горизонтов и почв севера Европейской территории России на легкосуглинистых пылеватых отложениях [4].

Условные обозначения горизонтов: О – подстильно-торфяной; Е – элювиальный; BF – иллювиально-железистый; BT – текстурный; G – глеевый; CRM – криометаморфический; BC/BCg – переходные (в т.ч. глееватые) к почвообразующей породе.

руются те же типы профилей, что и на первом ключевом участке, но уже преобладают неглеевые криометаморфические почвы. Глееземы криометаморфические занимают промежуточное положение. Собственно глееземы (глееземы криогенно ожелезенные) встречаются уже только в подчиненных позициях рельефа. В защищенные от ветра привершинные склоны и приречные долины проникают березово-еловые редколесья. Древесный ярус представлен березой пушистой высотой 4-5 м и елью сибирской до 6 м. Кустарниковый ярус состоит из ивы шерстистой и серо-голубой высотой до 70 см, карликовой березы – до 40 см. Кустарнички: багульник стелющийся, вороника гермафродитная, брусника, черника, голубика, толокнянка альпийская. В наземном покрове – мхи *Dicranum elegantum*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum strictum*, *P. commune* и лишайники *Cladonia sylvatica*, *Cl. rangiferina*, *Cetraria nivalis*, *C. cucullata*, *C. hyascens*. Под редколесьем глеевый горизонт постепенно вытесняется сверху подзолистым и иллювиально-железистым горизонтом, и формируются светлоземы иллювиально-железистые глееватые [8]; Gleyic-Cutanic Albeluvisols (Dystric) [9] – криометаморфические почвы со вложенным профилем Al-Fe-

ческих горизонтов и признаков несут более точную информацию об их связи с факторами почвообразования, поскольку почвенный профиль, в отличие от составляющих его горизонтов, является полигенетическим, а часто и полихронным образованием. Поэтому изучение пространственно-генетических рядов позволяет скорректировать распространенное представление об идеальной биоклиматической зональности почв территории исследования.

Действительно, на данной территории, особенно в лесотундре, даже в пределах одного почвенного разреза зачастую соседствуют почвы, которые относятся к разным отделам, например, глееземы и криометаморфические почвы. Тогда как ареалы генетических горизонтов оказываются гораздо шире. Так, характер аккумулятивного подстильно-торфяного горизонта практически не изменяется от типичной тундры до средней тайги. Изменение на этом пространстве с севера на юг климатических условий способствует уменьшению степени проявления оглеения почв, вплоть до полного исчезновения глеевого горизонта в пределах безлесных участков лесотундры. Под редколесными биогеоценозами формируются подзолистый и иллювиально-железистый горизонты и их резкое по-

явление контролируется отнюдь не зональными различиями климата, а микроклиматическими условиями лесотундры [3]. Срединный, хорошо оструктуренный криометаморфический горизонт характерен для легко- и среднесуглинистых почв от южной тундры до средней тайги. В типичной тундре криометаморфический горизонт не идентифицируется даже при отсутствии или весьма слабом профилном оглеении, что связано с очень близким залеганием (менее 1 м) многолетней мерзлоты и ее смыканием с сезонной. В средней тайге криометаморфический горизонт начинает постепенно исчезать и идентифицируется только на легко-среднесуглинистых покровных суглинках [5]. Вместо криометаморфического горизонта хорошо диагностируется текстурный горизонт.

Таким образом, границы между природными зонами оказываются слабо значимыми для консервативных свойств почвенных горизонтов [4]. Чтобы подтвердить данное предположение, рассмотрено микроморфологическое строение* трех характерных профилей автоморфных суглинистых почв: глееземов криогенно-ожелезненных (35-ПА), глееземов криометаморфических (3-ПА) и светлоземов иллювиально-железистых (5-ПА) (табл. 1) и проведен сравнительный анализ микростроения почв с их макропризнаками и химическими свойствами.

В глеевых горизонтах глееземов (35-ПА и 3-ПА) преобладающими являются восстановительные процессы. Распределение оксалатрастворимого Fe_2O_3 (табл. 2) в глеевых горизонтах четко дифференцировано.

Глеевые горизонты часто имеют морфологически выраженную верхнюю и нижнюю ярко-охристую кайму, что проявляется в виде двух максимумов Fe_2O_3 (Gcf), из которых верхний приурочен к

иллювиально-гумусово-железистому микрогоризонту, а нижний – к надмерзлотным слоям. Образование верхнего максимума обусловлено активным развитием глеевого процесса и последующим образованием устойчивых органо-минеральных комплексов с гумусовыми веществами. И.В. Игнатенко [13] связывает это с сильноокислой реакцией почв, повышенным содержанием подвижных и особенно кислотно-растворимых фракций фульвокислот и интенсивным развитием восстановительных процессов в минеральных горизонтах в теплый период. Образование нижнего максимума оксалатрастворимых и окристаллизованных несиликатных форм железа в профиле, видимо, связано с нисходящей миграцией наиболее подвижных органо-минеральных комплексов и накоплением их над слоем многолетней мерзлоты, выполняющей в данном случае роль водоупора. На микроуровне эти зоны окисления различаются только в верхнем и нижнем надмерзлотном горизонтах Gcf по цвету и формам выделения оксидов железа в виде нодулей, концентр, стяжений.

Все горизонты рассматриваемых типов почв достаточно хорошо агрегированы как на микро-, так и мезоуровне, за исключением тиксотропных глеевых горизонтов. На макроуровне глеевый горизонт глееземов обычно представляет собой бесструктурную массу, как правило, мерзлую или перенасыщенную водой. Но на микроуровне заметны процессы переорганизации материала в виде концентрических стяжений глинистого вещества вокруг железистых новообразований со слабо выраженными угловато-округлыми агрегатами, центральная часть которых состоит из крупных железистых конкреций (рис. 2). Межагрегатное пространство заполнено крупной и средней пылью, т.е. на микро-

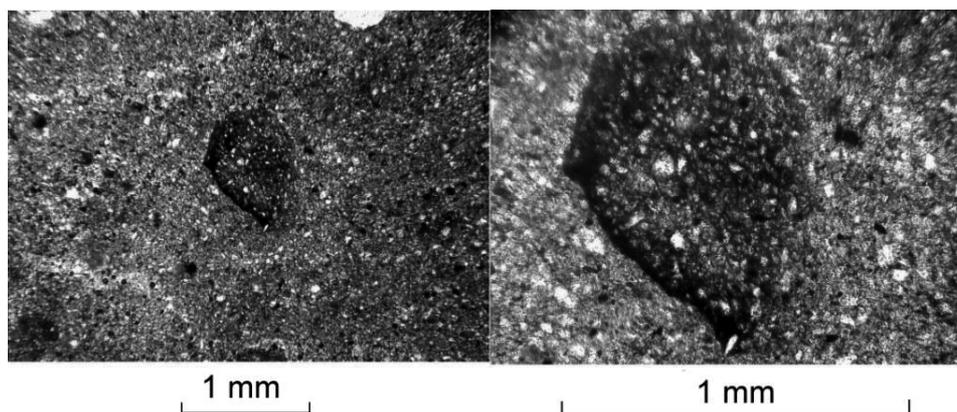


Рис. 2. Микростроение глеевого горизонта 35-ПА – концентрическая переорганизация материала вокруг железистой конкреции (II N).

* Почвенные шлифы были изготовлены из ненарушенных микромонолитов основных генетических горизонтов с фиксацией эпоксидной смолой Ероху-520 в вакуумном эксикаторе. Основные элементы микростроения определялись согласно руководству к микроморфологическим исследованиям Е.И. Парфеновой и Е.А. Яриловой [11].

уровне глеевые горизонты имеют диагностические признаки, характерные также для криометаморфического горизонта (табл. 1).

Напомним, что макроморфологически дифференцированный криометаморфический горизонт формируется при более глубоком залегании (свыше 1 м) или отсутствии многолетней мерзлоты на легко- и среднесуглинистых отложениях от южной тун-

Микроморфологическое строение почв*

Горизонт	Агрегаты	Скелет**	Элементарное микро- строение / Плазма	Поры	Новообразования
Глеезем криогенно-ожелезненный (35-ПА)					
G/Gcf, 10-25	Заметны признаки плитчатости	Крупнопылеватый Минеральные зерна лишены пленок	Пылевато-плазменное Глинистая, слабоанизотропная, чешуйчатая, вокруг крупных стяжений	Редкие трещины, частично заполненные пылью	Крупные железистые конкреции с включениями скелетных зерен, мелкие микроортштейны, плотные, компактные
Bg, 25-50	Слабо выраженные угловато-округлые агрегаты	Крупнопылеватый	Пылевато-плазменное Глинистая, анизотропная, в основном крапчатая	Межагрегатные, заполнены тонкой пылью	Единичные железистые мелкие пятна. Обрывки слоистых глинистых кутан
G ₁ , 50-70	Выраженные, угловато-блоковые, часто с нечеткими границами	Пылеватый, но со значительным содержанием фракций мелкого и среднего песка	Пылевато-плазменное. Глинистая, анизотропная, в основном крапчатая, и железисто-глинистая в стяжениях	Межагрегатные и внутриагрегатные (округлые или неправильной формы)	Железистые стяжения Множество глинистых кутан по обрывкам корней
G ₂ , 70-90	Заметна слабая горизонтальная делимость почвенной массы	Крупнопылеватый с большим количеством среднего и крупного песка	Песчано-пылевато-плазменное. Глинистая, слабоанизотропная, сетчатая	Межагрегатные, заполнены пылью	Редкие железистые стяжения и конкреции, инкрустированные пылью Множество обрывков глинистых кутан
Cg _L , 90-110	Слабо выраженные крупные блоки	Крупнопылеватый, со множеством зерен песка	Песчано-пылевато-плазменное. Глинистая, слабоанизотропная, местами струйчатая или мозаичная	Редкие межагрегатные, различной формы и величины.	Множество железистых пятен, нодулей и стяжений со скелетным материалом. Вокруг нодулей глинистые кутаны
Глеезем криометаморфический (3-ПА)					
G/Gcf, 5-20	Крупные округлой формы, структура массивная	Крупнопылеватый, единично зерна мелкого песка. Зерна угловатой формы лишены пленок, отбелены	Плазменно-пылеватое. Глинистая и железисто-глинистая, анизотропная, крапчатая	Редкие внутриагрегатные поры различной формы. Межагрегатные трещины заполнены пылью	Множество темно-охристых нодулей, вокруг которых часто формируется тонкая глинистая оболочка
CRMg ₁ ***, 20-36	Хорошо выраженные округлые агрегаты	Крупнопылеватый	Пылевато-плазменное. Железисто-глинистая, анизотропная, ооидная	Межагрегатные, каналовидные, соединены сетью	Ржаво-охристые и охристо-коричневые нодули и пятна, внутри некоторых скелетные зерна. Единичные тонкие глинистые кутаны, приуроченные в основном к центру некоторых агрегатов с повышенным содержанием плазмы
CRMg ₂ , 36-53	Крупные округлые агрегаты и округлые отдельности	Крупнопылеватый, единично мелкий песок	Пылевато-плазменное. Железисто-глинистая, анизотропная, крапчатая	Крупные внутри- и межагрегатные, частично заполненные песком и крупной пылью	Мелкие железистые конкреции вкраплены в светло-бурую массу округлых агрегатов. По поверхности мелких трещин и краям межагрегатных пор единичные тонкие стресскутаны
CRMg, 53-80	Крупные субгоризонтальные блоки, распадающиеся на орехи и плитки	Крупнопылеватый, с фракцией крупного и среднего песка	Плазменно-пылеватое. Глинистая, анизотропная, струйчатая	Крупные внутри- (тонкие, каналовидные) и межагрегатные	Редкие железистые новообразования, чаще всего с размытыми границами
Светлозем иллювиально-железистый (5-ПА)					
Eg, 5-10	Структура двухуровневая: в верхней части плитки и чешуйки, внутри которых мелкие округлые агрегаты; в нижней части только более крупные и выраженные агрегаты, иногда с железистыми пятнами	Крупнопылеватый Зерна скелета распределены, главным образом, вдоль внешних границ агрегатов. Минеральные зерна в межагрегатном пространстве лишены пленок, в агрегатах зерна покрыты пленкой	Пылевато-плазменное в агрегатах и плазменно-пылеватое в основной массе. Глинистая, анизотропная, нечетко ооидная	Изолированные округлые и неправильной формы и межагрегатные, часто, засыпанные зернами скелета	Ржаво-коричневые железистые новообразования по ходам корней и на месте растительных остатков

Горизонт	Агрегаты	Скелет**	Элементарное микро-строение / Плазма	Поры	Новообразования
BF, 10-15	Четкие, хорошо выраженные округлые агрегаты	Крупнопылеватый	Пылевато-плазменное внутри агрегатов и пылеватое в основной массе. Железисто-глинистая, изотропная, крапчатая и ооидная	Межагрегатные трещины и пустоты	Многочисленные пятна и микроортштейны в большинстве микроагрегатов
CRMg, 15-33	Хорошо выраженные округлые агрегаты	Крупнопылеватый	Пылевато-плазменное. Глинистая, анизотропная, вокругскелетная	Межагрегатные трещины и пустоты	В некоторых агрегатах видны округлые железистые конкреции и тонкие пленки
CRM, 33-58	Нечеткие округлые агрегаты, горизонтальная делимость почвенной массы	Крупнопылеватый	Пылевато-плазменное в агрегатах и плазменно-пылеватое в основной массе. Глинистая, анизотропная, крапчатая	Редкие изолированные и межагрегатные, различного размера и формы	Редкие железисто-марганцевые микроортштейны, приуроченные в основном к центрам агрегатов
CRMC, 58-85	Крупные субгоризонтальные блоки, поделенные сетью мелких трещин на орехи и плитки	Крупнопылеватые и мелкопесчаные угловатые зерна с тенденцией к гнездовому распределению, сцементированных глинистым веществом	Пылевато-плазменное. Глинистая, анизотропная, вокругскелетная	Множество внутриагрегатных пор, округлой и неправильной форм	Единично мелкие железистые стяжения и пятна

* Автор статьи не рассматривает особенности состава и строения органического вещества, так как характер аккумулятивного подстильно-торфяного горизонта практически не изменяется от типичной тундры до средней тайги, а особенности микро-строения органических горизонтов уже достаточно полно описаны Г.В. Русановой [1, 12 и др.].

**В описываемых профилях резко преобладают крупнопылеватые частицы скелета, минералогический состав которого практически неизменен: доминируют кварц и полевые шпаты, реже присутствует роговая обманка, единично гидрослюды. Встречаются обломки горных пород – аргиллитов и сланцев.

***В горизонте происходит формирование ооидной структуры – пылеватая фракция стягивается в формирующийся ооид и частично засыпается вниз по порам.

Таблица 2

Основные физико-химические свойства почв

Горизонт	Глубина, см	C, %	pH		Обменная кислотность, ммоль/100 г почвы		Валовой химический состав, %			Fe ₂ O ₃ , %	
			H ₂ O	H ⁺	Al ⁺³	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	по Тамму	по Джексону	
Глеезем криогенно-ожеженный (35-ПА)											
G/Gcf	10-20	0.28	4.3	0.03	4.48	76.20	10.24	2.43	0.41	0.56	
Bg	35-45	0.35	4.3	0.03	4.45	75.10	11.05	2.83	0.44	0.60	
G ₁	55-65	0.24	4.5	0.04	1.56	69.70	12.81	3.76	0.41	0.74	
G ₂	75-85	не опр.	4.9	0.03	0.57	69.60	12.82	3.77	0.42	0.73	
Cg ^L	90-100	-	5.0	0.03	0.22	69.70	12.48	3.88	0.30	0.76	
Глеезем криометаморфический (3-ПА)											
Gcf	5-10	1.11	4.2	0.05	5.18	74.00	10.62	3.13	0.50	0.77	
G	15-18	0.50	4.2	0.05	4.62	76.22	10.65	2.26	0.37	0.64	
CRMg ₁	20-30	0.27	4.5	0.02	3.72	74.77	11.78	2.87	0.35	0.70	
CRMg ₂	40-50	не опр.	4.8	0.02	1.61	75.80	13.55	2.76	0.31	0.71	
CRMG	60-70	-	5.0	0.03	1.20	73.63	13.75	3.67	0.38	0.85	
Светлозем иллювиально-железистый (5-ПА)											
Eg	5-10	2.05	4.1	0.30	9.14	77.21	10.39	2.76	0.36	0.56	
BF	10-20	1.15	4.5	0.19	9.40	76.18	12.46	3.68	0.84	1.13	
CRMg	20-40	0.70	4.5	0.05	8.28	74.62	12.63	3.60	0.42	0.82	
CRM	40-50	не опр.	4.2	0.03	5.57	73.43	12.13	3.38	0.36	0.79	
CRMC	60-70	-	4.5	0.02	3.29	70.34	13.42	4.18	0.47	0.88	

дры до средней тайги [2–5]. Типичной макроморфологической особенностью криометаморфического горизонта является специфическая угловато-крупитчатая, ооидная или гранулированная рассыпчатая криогенная структура. Размер структурных отдельностей (педов) колеблется от 2–3 до 7–10 мм. Как правило, размер агрегатов увеличивается с глубиной, и они постепенно сменяются крупными субгоризонтальными блоками. Прослеживается горизонтальная делимость почвенной массы, однако плитки непрочные, рассыпаются на мелкие отдельности. Во влажном состоянии структура творожистая. При сильном переувлажнении минеральная масса становится тиксотропной. В верхней части этого горизонта могут наблюдаться слабые признаки иллювирирования железа. Нижняя, более тяжелая по гранулометрическому составу часть горизонта (табл. 3) обычно имеет отчетливо выраженную криогенную плитчатость с элементами ореховатой структуры и слабыми признаками вымывания глинистого вещества, видны слабо выраженные кутаны. В горизонте могут наблюдаться признаки оглеения.

колесной растительностью на данный процесс накладываются появляющиеся процессы Al-Fe-гумусовой и текстурной дифференциации. В северной и средней тайге происходит постепенное увеличение степени влияния Al-Fe-гумусового и глинистого иллювирирования с уменьшением доли криогенных процессов, что также способствует формированию криометаморфического горизонта [5].

Эти теоретические выводы подтверждены экспериментально В.В. Роговым и А.С. Абрамовой [15]. Перетертый через сито в 1 мм образец криометаморфического горизонта глеезема криометаморфического, отобранного в окрестностях г. Воркуты Большеземельской тундры, был подвергнут 50-кратным 12-часовым циклам оттаивания и промерзания при постоянной влажности образца 18–21%, в результате чего образовывалась рассыпчатая угловато-крупитчатая криогенная структура.

Известно, что покровные лессовидные суглинки Большеземельской тундры представляют собой типичные грунты слоя сезонного оттаивания с высоким содержанием пылеватых фракций и нали-

Таблица 3

Гранулометрический состав почв

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Гранулометрический состав почв, мм						
			1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	<0.01
			Глеезем						
35-ПА	G	10-20	0	18	57	8	7	10	25
	Vg	35-45	0	12	46	22	7	13	42
	G ₁	55-65	0	7	55	8	9	21	38
	G ₂	75-85	1	5	51	9	9	25	43
	CRMG	90-100	2	9	44	11	11	23	45
			Глеезем криометаморфический						
3-ПА	Gcf-Bf	5-10	0	11	64	8	6	11	25
	G	15-18	0	15	62	7	7	9	23
	CRMg ₁	20-30	0	11	61	7	7	14	28
	CRMg ₂	40-50	0	8	62	7	6	17	30
	CRMG	60-70	0	8	54	8	8	22	38
			Светлозем иллювиально-железистый						
5-ПА	Eg	5-10	0	31	39	8	6	16	30
	BF	10-20	0	18	51	6	8	17	31
	CRMg	20-40	0	13	55	5	7	20	32
	CRM	40-50	0	13	55	6	7	19	32
	CRMC	60-70	0	24	36	7	7	26	40

В микростроении криометаморфического горизонта (CRM) для почв южной тундры и лесотундры характерными являются кольцевое обособление грубодисперсного материала вокруг микроагрегатов, аккумуляция песчано-пылеватых зерен в основной массе, порах и трещинах (рис. 3а). Подобные сортировки в тундровых и таежных суглинистых почвах описаны в работах Г.В. Русановой [12] и Т.В. Турсиной [14]. Пылеватая фракция стягивается в формирующийся микроагрегат и частично засыпается вниз по порам (рис. 3б). Т.е. агрегация происходит вокруг железистых стяжений, склеивающих засыпающиеся крупные пылеватые частицы. В тундре подобного рода сортировки образуются, главным образом, за счет селективной криогенной миграции материала, а в лесотундре под ред-

чим значительного количества высокодисперсных глинистых минералов, коллоидов железа, алюминия и органического вещества [16, 17]. В.Н. Конищевым и В.В. Роговым для пылеватых суглинков установлено [18], что в ходе 50-кратного промерзания–оттаивания происходит активная диспергация и деградация глинистых частиц. Наибольшие изменения наблюдаются для гидрослюды, у которой деградация сопровождается трансформацией в смешанно-слоистое слюдо-сметитовое образование структуры слоистых силикатов, в том числе и глинистых минералов. При воздействии процесса попеременного промерзания–оттаивания эти изменения не являются стабильными. При этом образуются новые структурные виды, типичные для криометаморфического горизонта.

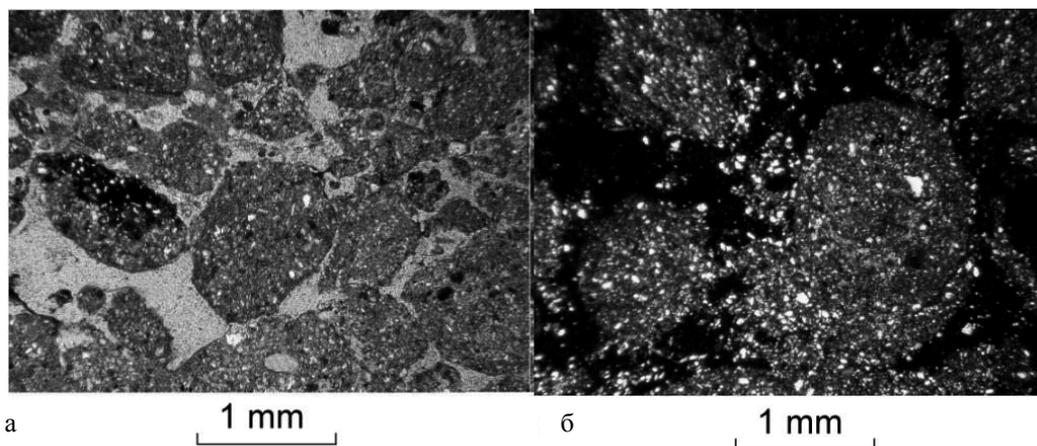


Рис. 3. Микростроение криометаморфического горизонта: а – ПА CRMg (20–40 см) – угловато-округлые микроагрегаты (II N); б – 3-ПА ПА CRMg₁ (20–30 см) – формирующийся микроагрегат (X N).

Для всех типов профилей характерна литологическая неоднородность, поэтому в нижележащих горизонтах с глубины 50–58 см имеет место более крупная ореховатая структура на фоне горизонтальной мерзлотной плитчатости. В гранулометрическом составе появляются песчаные фракции (табл. 3), а также отмечается увеличение глинистых частиц, проявляющееся в их более высокой оптической ориентировке. Выделяется множество реликтовых голоценовых глинистых кутан иллювиирования, внедренных во внутриагрегатную массу в виде папул. В настоящее время идет их разрушение, видны многочисленные разрывы глинистых кутан, вызванные процессами криотурбации. Последние наиболее ярко проявляются в глеезах криогенно-ожелезненных, где обрывки глинистых кутан присутствуют даже в поверхностных глеевых горизонтах. Это указывает не на происходящие современные процессы иллювиирования, а на интенсивные криопедотурбации (рис. 4). Гетерогенность и залегание подобных кутан в миграционных каналах есть свидетельство их палеопочвенного происхождения. Г.В. Русанова описывает наличие таких глинистых кутан в погребенных суглинистых почвах в Большеземельской тундре [1] и глееподзолистых почвах северотаежной подзоны тайги [12], доказывая, что образование таких кутан происходило в атлантический оптимум голоцена.

В елово-березовых редколесных растительных сообществах микроклиматические условия «мягче» по сравнению с тундровыми. В результате верхняя граница многолетней мерзлоты залегает глубже 2 м и не влияет заметно на профилеобразование. Особенно уменьшаются процессы криотурбации и увеличивается динамика элементарных почвенных процессов. Под редколесьем появляются признаки Al-Fe-гумусовой дифференциации, достигающей наибольшего развития в таежных почвах, и над криометаморфическими почвами формируется вложенный элювиально-иллювиальный микропрофиль суглинистого подзола – выделяются светлосемы иллювиально-железистые. Элювиальный горизонт E_g, практически бесструктурный на макроуровне, различен по микроструктуре. Верхняя часть горизонта (1–2 см) имеет микроплитчатую, частично линзовидную агрегацию, внутри которой можно выделить ооидную организацию тонкодисперсного вещества. Линзовидная (микроплитчатая) структура свойственна для элювиальных горизонтов суглинистых почв и образуется в результате циклического сезонного промерзания и оттаивания, когда элювиальный горизонт перенасыщен влагой. На контакте с иллювиально-железистым горизонтом центральные зоны ооидов имеют твердый охристый центр. С.В.Губиным [19] при исследовании динамики структуро- и микроструктурообразования была по-

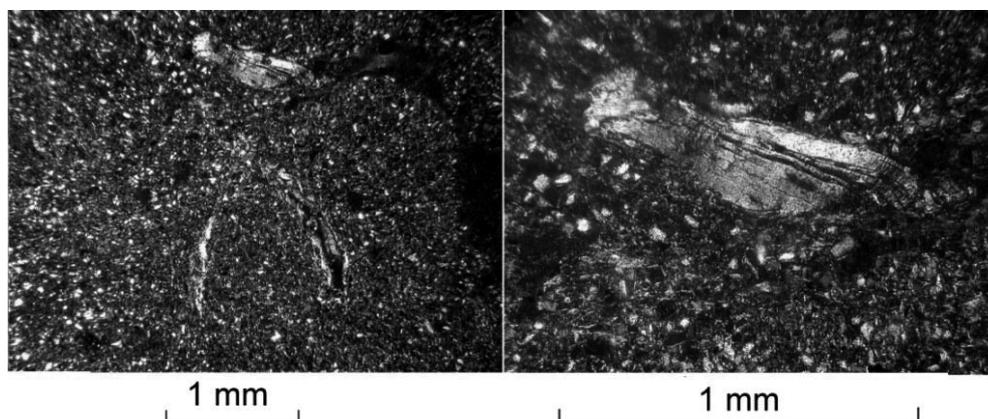


Рис. 4. Микростроение глеевого горизонта 35-ПА G 25–50 см при различной степени увеличения – обрывок глинистой кутаны (X N).

казана определяющая роль форм выделения льда и сделан вывод, что ооиды образуются в результате чередования процессов и уплотнения глинистых частиц при оттаивании и замерзании с участием гумусово-железистых соединений. Ниже плитчатость исчезает, округлые агрегаты становятся более выраженными и крупными, иногда с железистыми пятнами. При этом все межагрегатные поры заполнены крупнопылеватым скелетным материалом с очень низким содержанием тонкодисперсных частиц (рис. 5а). В иллювиально-железистом горизонте BF крупнопылеватые зерна сконцентрированы вокруг округлых железистых новообразований и микроагрегатов, образуя 2-3 мм плотные округлые агрегаты, которые на макроуровне имеют икриную (иногда дробовидную) структуру. При этом межагрегатные поры представляют собой трещины или пустоты. В иллювиально-железистом горизонте наблюдается максимум железа (табл. 2), иллювиированного из подзолистого горизонта, видны частично разрушенные колонии железобактерий (рис. 5б), что связано с процессом Al-Fe-гумусовой аккумуляции.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в светлоземах среди элювиально-иллювиальных почвообразовательных процессов, дифференцирующих профиль, главными являются восстановительная мобилизация, миграция и частичное иллювиальное закрепление оксидов железа. Этот почвообразовательный процесс, который можно определить как элювиально-глеевый, диагностируется обеднением почвенной массы и илистой фракции осветленного элювиального горизонта почти исключительно оксидом железа. Весьма часто глеевая мобилизация железа сопровождается его сегрегацией в конкреции.

роль играет почвенный криогенез. Наличие в этих почвах криогенных признаков, горизонтов и режимов обусловлено их длительным и глубоким сезонным промерзанием, а также крупнопылеватым составом. Несомненное доминирование криогенных процессов в этих почвах подтверждается как макроморфологическими признаками: криотурбации, криогенная оструктуренность (плитчатая и гранулированная или ооидная структуры), надмерзлотная верховодка, так и микроморфологическими: преобладание в плазме оптически ориентированной глины, ооидная ориентация плазмы, скопления песчано-пылеватых зерен в основной массе, порах и трещинах, криогенная микрослоистость и микротрещиноватость, образование различной степени выраженности угловато-округлых микроагрегатов с общей субгоризонтальной делимостью.

В автоморфных пылеватосуглинистых почвах южной тундры и лесотундры лучше всего проявляется процесс криометаморфического оструктурирования. Формированию диагностического криометаморфического горизонта с его характерной структурой способствуют не столько биогенно-аккумулятивные, метаморфические (оглеение) и элювиально-иллювиальные (Al-Fe-гумусовые) почвенные процессы, сколько многократные циклы промерзания и оттаивания, где действие криогенных факторов, наряду с высокой льдистостью (30-45%), усиливает агрессивность агентов внутрипочвенного выветривания железистых минералов, активизирует коагуляцию и уплотнение глинистых частиц. В то же время в почве законсервированы палеопочвенные образования – глинистые кутаны, отражающие процессы почвообразования предыдущих эпох (голоцен).

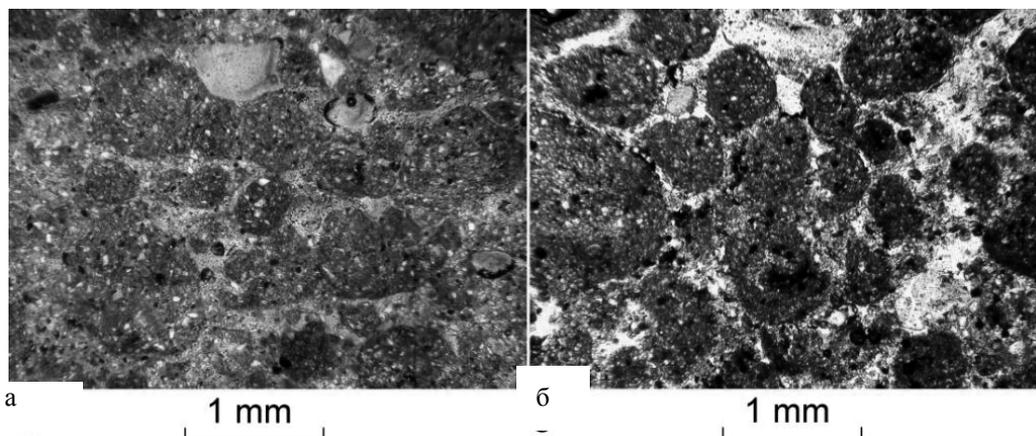


Рис. 5. Микростроение 5-ПА: а – Ег 5–10 см – двухуровневая микроструктура (II N); б – BF 10–20 см – округлая микроструктура.

Конкрециообразование в элювиальном горизонте способствует его осветлению.

Заключение

Несмотря на кажущуюся пестроту почвенного покрова, можно говорить о единой генетической природе образования почвенных горизонтов суглинистых почв экотона «тундра–лесотундра». В формировании рассматриваемых почв определяющую

Не нарушая общих принципов новой классификации с приоритетом субстантивных признаков генетических горизонтов, в отдел криометаморфических почв следует отнести глееземы криометаморфические и, возможно, глееземы криогенно-железистые как почвы с наиболее слабым проявлением криометаморфического горизонта (проявляется на микроуровне), где он только зарождается.

Автор сердечно благодарит к.с.-х.н. М.П. Верба, д.с.-х.н. И.В. Забоеву и д.б.н. Г.В. Русанову за ценные советы и замечания, Е.В. Жангурова – за поддержку при проведении экспедиционных работ, а также М.А. Лебедева за помощь в подготовке почвенных микрошлифов.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 08-04-90711-моб_ст; РФФИ 12-04-31759-мол-а; проекта № 12-Т-4-1004 «Формирование и функционирование почв криолитозоны европейского Северо-Востока в условиях изменения климата и антропогенных воздействий».

Литература

1. Русанова Г.В. Позднеголоценовые погребенные почвы басс. р. Воркута (Большеземельская тундра) // Почвоведение. 2008. №1. С.27–33.
2. Тонконогов В.Д., Пастухов А.В., Забоева И.В. О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках северной тайги Европы // Почвоведение. 2006. № 1. С. 29–36.
3. Пастухов А.В. О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках в микроэкотоне тундра-лесотундра // Вестник СПбГУ. Серия 3. Биология. 2008. № 3. С. 117–126.
4. Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
5. Жангуров Е.В., Лебедева (Верба) М.П., Забоева И.В. Микростроение генетических горизонтов автоморфных таежных почв Тимана // Почвоведение. 2011. № 3. С. 288–299.
6. Норин Б.Н. Структура растительных сообществ восточноевропейской лесотундры. Л.: Наука, 1979. 200 с.
7. ACIA, 2004. The Arctic Climate Impact Assessment: Impacts of a Warming Arctic. Cambridge University Press. 1042.
8. Классификация и диагностика почв России / Составители: Л.Л.Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
9. IUSS Working Group WRB, 2006, World reference base for soil resources 2006, 2nd edition, World Soil resources Reports. No. 103. FAO. Rome, 145.
10. Мажитова Г.Г., Каверин Д.А. Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России // Криосфера Земли. 2007. Т. 11. № 4. С. 20–30.
11. Парфенова Е.И., Ярилова Е.А. Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении. М.: Наука, 1977. 198 с.
12. Русанова Г.В. Микроморфология таежных почв. Л.: Наука, 1987. 197 с.
13. Игнатенко И.В. Почвы восточноевропейской тундры и лесотундры. М.: Наука, 1979. 279 с.
14. Турзина Т.В. Микроморфологическая диагностика криогенных признаков в почвах // Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции. Сыктывкар, 1985. С. 32–33.
15. Abramova A.S. Cryometamorphic horizon in tundra soils: modeling of properties and soil forming // Abstracts of the International Polar year Oslo Science Conference. Oslo, Norway, 2010 - PS1-D.6.
16. Попов А.И. Полярный покровный комплекс // Вопросы физической географии полярных стран. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956. Вып. 1. 132 с.
17. Конищев В.Н. Покровные лессовидные образования юго-восточной части Большеземельской тундры // Проблемы палеогеографии и морфогенеза в полярных странах и высокогорье. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. С. 27–48.
18. Конищев В.Н., Рогов В.В. Влияние криогенеза на глинистые минералы // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 51–58.
19. Губин С.В. Динамика структурообразования в тундровых криогенных неглеевых почвах (Тундровые криоземы) // Почвоведение. 1993. № 10. С. 62–70.

Статья поступила в редакцию 23.01.2012

УДК 631.44: 631.48 (470.21)

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ ХРЕБТА МАЛДЫ-НЫРД (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Е.В. ЖАНГУРОВ, Ю.А. ДУБРОВСКИЙ, А.А. ДЫМОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
zhan.e@mail.ru, aadymov@gmail.com

Рассмотрены особенности дифференциации почвенно-растительного покрова эколого-топологического профиля в системе высотного градиента горно-тундрового, подгольцового и горно-лесного поясов хребта Малды-нырд. Общие закономерности почвообразования в пределах исследуемого профиля обусловлены влиянием вертикальной поясности, которая выражается в смене растительного покрова от подножия до вершины горного хребта и литолого-геоморфологическими условиями, определяющими развитие почв на обильно-щебнистых элювиально-делювиальных отложениях различной мощности.

Ключевые слова: Приполярный Урал, Национальный парк «Югыд ва», почвы, растительный покров

E.V. ZHANGUROV, YU.A. DUBROVSKY, A.A. DYMOV. CHARACTERISTICS OF SOIL AND VEGETATION COVER OF THE ALTITUDINAL BELTS OF MALDY-NYRD RIDGE (SUB-POLAR URALS)

Characteristics of soil and vegetation cover differentiation within the ecotopologic and altitudinal gradient in the system of mountain tundra, light forest and mountain forest belts of the Maldy-Nyrd mountain ridge are given. General regularities of soil genesis within the investigated gradient are caused by altitudinal zonality, which is expressed in changes of vegetation cover from foot to top of the ridge, and by lithological and geomorphological conditions that determine soil development on rubble eluvial-deluvial sedimentations of different depth.

Key words: Sub-Polar Urals, “Yugyd Va” National park, soils, vegetation cover

Изучение взаимозависимости лесной растительности и разнообразия почв в геохимически сопряженных ландшафтах представляет большой интерес, особенно в горных экосистемах, где создаются контрастные экологические условия и почвенно-растительный покров формируется под воздействием сложного комплекса факторов. В горных регионах распределение почв и почвенного покрова более сложное, чем на равнинах, что связано с их разнообразием в зависимости от высоты местности, типов и форм рельефа, литологического и химического состава горных пород. Горные условия определяют своеобразие водного и теплового режимов, особенностей выветривания и почвообразования. За счет склоновых процессов часто происходит «омоложение» почв. Перепады высот определяют высотную поясность почвенного и растительного покрова (закон вертикальной зональности) как одну из ведущих особенностей дифференциации горных экосистем. Достаточно часто элементы мезо- и микро-рельефа, крутизна, экспозиция склона и связанные с ней резкие различия мощности снежного покрова формируют участки, сильно различающиеся по гидротермическому режиму, но расположенные в непосредственной близости друг от

друга. Всё это обеспечивает определенную пространственную дифференциацию как почвенного, так и растительного покрова.

Территория Приполярного Урала ввиду трудной доступности до настоящего времени относится к мало и неравномерно изученным областям Уральского хребта в отношении почвенно-географических и геоботанических исследований. Почвы и почвенный покров западных макросклонов Приполярного Урала в 1960–1980-х гг. изучены лишь редкой сетью маршрутных исследований в связи с составлением листов почвенных карт масштаба 1: 1000000. Характеристика почв горно-тундрового и горно-лесного поясов представлена в работах С.В. Беляева с соавторами [1], Г.А. Симонова [2], Г.В. Русановой и П. Кюхри [3]. Эти исследования позволили выявить основные закономерности распространения почв, особенности их морфологического строения, физико-химических свойств и составить систематический список почв. Исследования растительного покрова на Приполярном Урале проводились на протяжении второй половины XX в. и охватывали по большей части бассейн р. Кожим [4–11].

Цель данной работы – изучение разнообразия и физико-химических свойств почв с детальной

характеристикой структуры и состава растительных сообществ в системе высотного градиента горно-тундрового, подгольцового и горно-лесного поясов хребта Малды-нырд.

Материал и методы

Исследования проводили на территории национального парка «Югыд ва» – одной из крупнейших ООПТ России, расположенной на западных склонах Приполярного и Северного Урала [12, 13]. Комплексные маршрутные работы были сосредоточены на склоне юго-восточной экспозиции хребта Малды-нырд, где заложен эколого-топологический профиль (катена) протяженностью около 2 км (рисунок). Охвачены все высотные пояса, от нижней части горно-лесного (400 м над ур. м.) до границы

всего среднегорному типу рельефа с абсолютными отметками высот 800–1000 м, максимальная абсолютная высота 1400 м. На вершинах и склонах верхней части подгольцового и горно-тундрового поясов (650–760 м над ур. м.) широко развиты каменные россыпи, солифлюкционные террасы и полигонально-пятнистые формы микрорельефа, связанные с криогенными процессами. Среднегодовая температура воздуха варьирует от -3 до -7°C , количество осадков колеблется от 500 до 800 (1000) мм, большая часть которых приходится на май-октябрь [17]. Активный вегетационный период составляет 40–50 дней.

По профилю горной катены почвообразующей породой служат элювий и элюво-делювий различных горных пород, образующие в верхней части

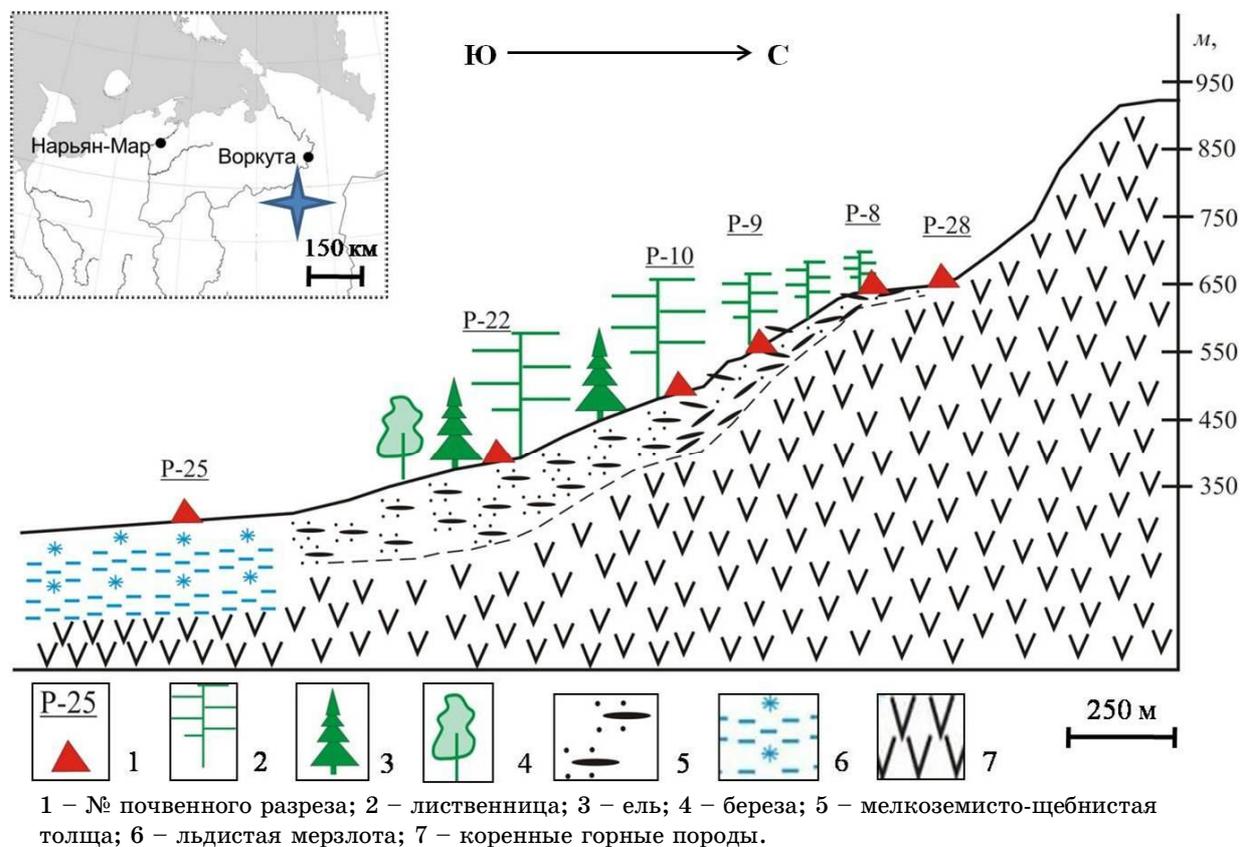


Рис. Распределение объектов исследования в пределах эколого-топологического профиля хребта Малды-нырд.

горно-тундрового пояса и горных каменистых пустынь (760 м над ур. м.). В каждой из точек наблюдений были заложены опорные разрезы, дополненные серией прикопок, характеризующие основные типы и подтипы почв. Физико-химические свойства почв определяли по стандартным методикам [14]. Идентификацию почв и генетических горизонтов проводили в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» [15]. Описания растительности выполнены по общепринятым в отечественной геоботанике методикам [16].

Горный хребет Малды-нырд имеет сглаженную форму и относится преимущественно к гольцо-

горно-тундрового пояса часто фрагментарный, а на пологих и крутых склонах почти сплошной покров мелкоземисто-щебнистых отложений различной мощности.

Результаты и обсуждение

Горно-тундровый пояс. В границах профиля горно-тундровый пояс выделяется на высотах 660–760 м над ур. м. Растительный покров участка горных тундр, в пределах которого на высоте 730–740 м над ур. м. был заложен опорный почвенный разрез (P-28; рисунок), представлен злаково-осоковыми сообществами. Общее проективное покрытие

тие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса достигает 85 %. Явные доминанты отсутствуют. Наиболее часто встречающимися видами сосудистых растений являются луговик извилистый (*Avenella flexuosa*), овсяница овечья (*Festuca ovina*), ситник нитевидный (*Juncus filiformis*), осока арктико-сибирская (*Carex arctisibirica*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), филлодоце голубая (*Phyllodoce coerulea*). Напочвенный покров развит слабо и его проективное покрытие не превышает 15%. В мохово-лишайниковом ярусе преобладает *Pleurozium schreberi*, заметного обилия достигает *Cladonia stellaris*.

Почвы формируются при длительном насыщении водой, поступающей в результате таяния снежников с гольцового пояса. Диагностируются по наличию глеевых горизонтов ВG, расположенных под подстильно-торфянистым грубогумусированным горизонтом (Оао). Горизонты ВG имеют яркую окраску часто с охристой каймой, являются тиксотропными, на глубине 30–40 см появляется верховодка. Почвообразующими породами служат продукты разрушения и переотложения порфирированных риолитов. Почва – **глеезем грубогумусированный** (Оао–ВG₁–ВG₂).

Глееземы характеризуются сильнокислой реакцией среды по всему профилю (рН сол. 2.8–3.8), низким содержанием обменных форм Ca^{2+} и Mg^{2+} , ненасыщенностью основаниями почвенного поглощающего комплекса. Характерно накопление органического углерода в грубогумусированной подстилке (до 40%) и резкое уменьшение его содержания в минеральных горизонтах (табл. 1). Валовой химический состав отражает слабую дифференциацию профиля (табл. 2). В гранулометрическом составе наблюдается обогащение верхних минеральных горизонтов илистой фракцией и фракцией физической глины (табл. 3).

Подгольцовый пояс. Верхняя граница распространения листовенничных редколесий на исследованном профиле проходит на высотах 650–660 м над ур. м. В геоморфологическом отношении этот участок представлен террасированным склоном хребта Малды-нырд солифлюкционного генезиса с крутизной 8–10°. Многочисленные солифлюкционные террасы-ступени в виде узких полос имеют размеры 30–50 см по ширине и до 1–3 м в длину, лишены растительности, уплотненные обломки сланцев ориентированы большей плоскостью к дневной поверхности и длинной осью вниз по склону. Наличие таких террас и закономерная ориентация обломочного материала на их поверхности свидетельствуют о медленных склоновых движениях почвенно-грунтовой массы и относятся к солифлюкционному типу склоновых образований. Растительный покров представлен разреженными кустарничково-сфагновыми листовенничными редколесьями. Сомкнутость крон древесного яруса не превышает 0.2, высота – 2–4 м. В подлеске преобладает берёзка карликовая (*Betula nana*). Доминантами травяно-кустарничкового яруса являются голубика (*Vaccinium uliginosum*), багульник стелющийся (*Ledum decumbens*), водяника гермафродит-

ная (*Empetrum hermaphroditum*). Для напочвенного покрова (ОПП – 60–70 %) характерен бугорковатопятнистый микрорельеф: ковер сфагновых мхов и лишайников, который нарушен пятнами вымораживания каменистого материала (30–40% площади поверхности). Пятна-медальоны имеют размеры 40–60 см, с поверхности суглинистый мелкозем перемешан с обломками породы. Почвообразующими породами служат продукты разрушения и переотложения сильно метаморфизованных и хорошо выветрелых кристаллических сланцев кварцсерицитового состава.

Для морфологического строения почвенного профиля (P-8; рисунок) характерна слабая дифференциация на генетические горизонты. В верхней части органогенных горизонтов представлен очес из мхов и лишайников, которые сменяются слабо-разложившейся подстильно-торфянистой подстилкой (Оао) коричневатобурой окраски мощностью 3–4 см, в нижней части которой присутствует грубогумусированный материал (смесь различных по степени разложённости органических остатков с минеральными компонентами). Ниже формируются обильно-щербнистые срединные минеральные горизонты ВCf–BC со слабыми признаками аккумуляции железистых соединений в виде тонких желтоватых охристых пленок иллювиирования на поверхности почвенных агрегатов, а также на нижних гранях обломков пород. Характерной морфологической особенностью почвенного профиля является наличие сети горизонтальных (параллельных друг другу) трещин толщиной 2–3 мм в срединных горизонтах, что также свидетельствует о медленном перемещении верхней части суглинисто-щебнистой толщи вниз по склону. Мощность профиля 30–35 см, с глубины 25–30 см скелетно-грубообломочная часть профиля закономерно увеличивается и переходит в подстилающие глыбы коренных пород. Согласно новой «Классификации почв России» (2004), почва диагностируется как **литозем грубогумусированный ожеженный** (Оао–ВCf–BC–C). По физико-химическим свойствам, распределению несилкатных форм Fe_2O_3 , а также валовым формам соединений SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 рассматриваемые почвы дифференцированы слабо (табл. 1, 2), что согласуется с морфологическим описанием профиля. В гранулометрическом составе преобладают мелкопесчаные и крупнопылевые фракции (табл. 3). Стоит отметить, что и почвы, и нижние ярусы растительности в верхней части катены имеют выраженный горно-тундровый характер. Это объясняется слабым влиянием разреженных древостоев на особенности формирования данных компонентов экосистем и усилением роли экологических факторов.

В нижней части подгольцового растительного пояса на высотах 570–580 м над ур. м. формируются сообщества листовенничных редколесий чернично-зеленомошной ассоциации, которые типичны для горной ландшафтной зоны Северного и Приполярного Урала [18]. Древесный ярус таких фитоценозов по сравнению с лесными сообществами довольно разрежен (сомкнутость до 0.4), имеет упро-

Таблица 1

Физико-химические свойства почв Приполярного Урала

Гори- зонт	Глубина, см	рН		Нг*	Обменные основания		V**	С	N	C:N
		вод.	сол.		Ca ²⁺	Mg ²⁺				
		ммоль/100 г				%				
Р-28. Глеезем грубогумусированный										
Оао	0-3	3,9	2,8	53,8	5,73	2,06	13	40,80	0,67	71
BG ₁	3-22	4,6	3,6	7,1	0,25	0,09	5	2,20	0,18	14
BG ₂	22-45	4,9	3,8	3,8	0,23	0,08	8	0,65	0,06	13
Р-8. Литозем грубогумусированный ожелезненный										
Очес	0-1	4,7	3,3	42,0	10,36	3,32	25	37,10	0,54	80
Оао	1-3(4)	4,5	3,4	39,3	6,80	1,61	18	17,60	0,91	23
BCf	3(4)-10	4,5	3,5	7,4	0,45	0,13	7	1,80	0,22	10
BC	10-20	4,4	3,5	7,9	0,52	0,14	8	2,40	0,26	11
С	20-35	4,7	3,7	4,5	0,30	0,10	8	0,79	0,10	10
Р-9. Подзол иллювиально-железистый										
О	0-10	3,7	2,8	82,5	5,98	2,32	9	40,70	1,52	31
Е	10-22	4,4	3,5	7,9	0,76	0,16	10	1,26	0,10	15
BF	22-40	4,6	3,8	6,5	0,48	0,17	9	0,75	0,06	14
BCg	40-60	4,8	3,9	4,6	0,67	0,16	15	0,46	0,05	11
Р-10. Подзол иллювиально-железистый										
Очес	0-5	4,2	3,3	55,0	15,30	5,75	28	38,30	1,32	34
О	5-15	3,7	2,8	73,7	8,34	2,75	13	40,30	1,70	28
Е ₁	15-25	4,2	3,1	11,0	0,12	0,15	2	1,90	0,12	18
Е ₂	25-40	4,3	3,3	8,6	0,44	0,17	7	0,71	0,06	12
BF	40-55	4,5	3,7	6,5	0,06	0,16	2	1,05	0,07	17
BC	55-65	4,7	3,8	5,1	0,06	0,15	4	1,08	0,07	18
Р-22. Светлозем иллювиально-железистый										
Очес	0-3	4,8	4,2	44,9	24,77	10,50	44	46,20	1,90	28
Оао	3-6	3,8	2,8	70,5	7,50	2,04	12	30,90	1,41	26
Еh	6-14	3,8	2,9	23,3	0,55	0,24	3	2,90	0,13	26
BF	14-30	4,4	3,4	16,9	0,33	0,17	3	1,35	0,09	19
CRM	30-37	4,6	3,6	13,9	0,36	0,15	4	1,13	0,08	17
BCcm	37-55	4,7	3,7	12,2	0,28	0,16	3	1,13	0,08	17
С	55-70	4,6	3,8	13,9	0,26	0,17	3	1,39	0,09	18
Р-25. Глеезем мерзлотный										
Очес	0-3	3,7	2,6	75,4	8,23	2,65	13	41,20	0,62	78
О	3-8	3,9	2,9	66,0	8,84	2,03	14	41,60	1,02	48
BG	8-22	5,2	3,6	8,8	2,32	0,38	23	0,80	0,08	12
BCg	22-45	5,1	3,5	9,6	3,26	0,52	28	0,68	0,07	11
Сg ₁	45-70	5,2	3,6	8,1	3,05	0,46	30	0,06	0,06	1

Примечание. * – гидролитическая кислотность; ** – степень насыщенности основаниями.

Таблица 2

Содержание несиликатных форм Fe_2O_3 , Al_2O_3 и валовых форм соединений, % от массы почвы

Горизонт	Глубина, см	по Тамму		Fe_2O_3 по Джексону	Валовой химический состав				
		Fe_2O_3	Al_2O_3		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO
Р-28. Глеезем грубогумусированный									
BG ₁	3-22	0,26	0,36	0,26	65,40	4,75	15,95	0,26	1,34
BG ₂	22-45	0,23	0,19	0,28	71,10	4,16	15,14	0,27	1,29
Р-8. Литозем грубогумусированный ожелезненный									
BCf	3(4)-10	0,34	0,23	0,62	69,52	4,58	19,92	0,22	0,83
BC	10-20	0,31	0,28	0,57	69,93	4,31	19,87	0,22	0,81
C	20-35	0,26	0,10	1,06	72,42	4,59	17,42	0,20	0,85
Р-9. Подзол иллювиально-железистый									
Eg	10-22	0,36	0,19	0,81	73,10	4,63	16,53	0,35	1,02
BF	22-40	0,90	0,40	1,66	73,40	6,22	15,17	0,38	0,93
BCg	40-60	0,37	0,26	0,91	78,70	4,61	11,99	0,31	0,79
Р-10. Подзол иллювиально-железистый									
E ₁	15-25	0,13	0,23	0,40	77,27	4,20	15,08	0,26	0,84
E ₂	25-40	0,09	0,15	0,38	78,56	4,04	12,16	0,26	0,70
BF	40-55	1,30	0,40	2,27	80,50	5,94	10,45	0,21	0,61
BC	55-65	1,20	0,43	2,52	79,40	6,19	11,33	0,23	0,71
Р-22. Светлозем иллювиально-железистый									
Eh	6-14	0,20	0,28	0,42	77,16	3,76	13,41	0,34	0,73
BF	14-30	1,09	0,64	2,42	74,83	6,78	13,29	0,44	0,96
CRM	30-37	1,79	0,59	1,82	73,71	6,24	14,23	0,47	1,08
BCcrm	37-55	1,14	0,72	2,04	71,29	6,86	15,70	0,46	1,27
C	55-70	1,73	1,38	2,28	68,48	7,41	17,78	0,43	1,20
Р-25. Глеезем мерзлотный									
BG	8-22	1,99	0,57	2,18	71,30	6,14	13,08	0,65	1,17
BCg	22-45	1,50	0,49	1,86	72,40	6,04	12,15	0,79	1,09
Cg _±	45-70	2,06	0,45	2,32	74,80	6,01	10,60	0,50	1,00

Таблица 3

Гранулометрический состав почв

Горизонт	Глубина образца, см	Содержание фракций, %; (размер частиц, мм)						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Р-28. Глеезем грубогумусированный								
BG ₁	3-22	1	31	31	11	13	13	37
BG ₂	22-45	15	21	39	9	6	10	25
Р-8. Литозем грубогумусированный ожелезненный								
BCf	3(4)-10	1	5	39	21	19	15	55
BC	10-20	5	38	13	13	19	12	44
C	20-35	14	32	25	9	9	11	29
Р-9. Подзол иллювиально-железистый								
Eg	10-22	3	61	11	6	8	11	25
BF	22-40	24	42	16	5	2	11	18
BCg	40-60	28	36	17	4	5	10	19

Горизонт	Глубина образца, см	Содержание фракций, %; (размер частиц, мм)						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
P-10. Подзол иллювиально-железистый								
E ₁	15-25	14	13	38	10	12	13	35
E ₂	25-40	5	34	34	7	8	12	27
BF	40-55	19	31	30	5	5	10	20
BC	55-65	2	24	31	12	19	12	43
P-22. Светлозем иллювиально-железистый								
Eh	6-14	4	22	42	9	9	14	32
BF	14-30	1	27	47	3	8	14	25
CRM	30-37	3	24	41	6	11	15	32
BC _{crm}	37-55	15	17	38	4	11	15	30
C	55-70	5	26	32	10	12	15	37
P-25. Глеезем мерзлотный								
BG	8-22	7	39	18	6	9	21	36
BC _g	22-45	5	20	38	8	7	22	37
C _g	45-70	10	36	24	6	6	18	30

щённую структуру и состав (1–2 вертикальных полога, формула древостоя 10Л+Е). Высота основного полога 4–6 м, отдельные деревья достигают 7–9 м. Под пологом лиственницы довольно активно возобновляется ель. В кустарниковом ярусе доминирует *Betula nana*. Напочвенный покров представляет собой ковер (ОПП – 90–95 %) из зеленых и политриховых мхов. Разрез заложен на пологом склоне, крутизна 5–7°.

На исследованных участках при описанной структуре нижних ярусов растительных сообществ характерной особенностью морфологического строения почв (P-9; рисунок) является наличие подстильно-торфянистого горизонта O мощностью 8–10 см, который переходит в подзолистый горизонт E мощностью 10–12 см. В верхней части на границе с органомным горизонтом он пропитан иллювиальным гумусом и имеет сероватые оттенки.

С глубины 20–22 см формируется иллювиально-железистый горизонт BF – ярко-ржавый с плитчато-комковатой структурой супесь, встречаются обломки пород с размерами до 10 см. Нижние горизонты имеют буроватые оттенки и содержат значительное количество угловатой и хорошо окатанной формы обломков пород с размерами 15–20 см. С глубины 40–50 см содержание мелкозема незначительно, характерны слабые признаки оглеения в виде ржавых и сизых пятен. Мощность профиля 60–70 см. Почва – **подзол иллювиально-железистый** (O–E–BF–BC_g). Физико-химические свойства будут рассмотрены ниже.

Горно-лесной пояс. Облик растительного покрова горно-лесного пояса, который в пределах исследованного профиля распространен на абсолютных высотах 360–550 м, определяется горными лиственничными лесами. В верхней части пояса (540 м над ур. м.) на пологих склонах (крутизна 5–7°) формируются лесные сообщества, отнесённые к ассоциации лиственничник воронично-чернично-зе-

леношный. Общая сомкнутость древесного яруса 0,4–0,5, высота основного полога 12–14 м, состав 10Л+Е. Возобновление древесных пород идет довольно слабо, отмечены единичные экземпляры ели. Это отчасти объясняется наличием сомкнутого (до 0,6) кустарникового яруса, сложенного *Betula nana*. ОПП травяно-кустарничкового яруса 75–80%, господствуют черника (*Vaccinium myrtillus*) и водяника (*Empetrum hermaphroditum*). В напочвенном покрове (ОПП 90 %) преобладают зеленые мхи, отмечены латки *Polytrichum commune*.

Под описанными выше лесными сообществами с хорошо развитым древесным ярусом и зеленомошным напочвенным покровом характерно формирование иллювиально-железистых подзолов (P-10; рисунок), которые отчетливо дифференцированы на генетические горизонты. Строение профиля: O–E–BF–BC. От расположенных выше по склону подзолы подгольцового пояса отличаются мощным подзолистым горизонтом (20–25 см). Благодаря хорошей дренированности застоя влаги не происходит, поэтому морфологически выраженных признаков оглеения не наблюдается. С глубины 40–50 см резко возрастает содержание обломков коренных горных пород, представленных порфировыми риолитами, кварц-мусковитовыми сланцами.

Физико-химические свойства и валовой химический состав сравниваемых подзолов подгольцового и горно-лесного поясов отражают характерные черты сходства. Почвы имеют сильноокислую реакцию среды, очень низкую степень насыщенности основаниями (табл. 1). Обогащенность органического вещества азотом – низкая, в органомных горизонтах отношение C:N составляет 28–34, в минеральных горизонтах 11–18, распределение органического азота по профилю резко убывающее. Характерно элювиально-иллювиальное распределение оксалато- и дитионитрастворимых форм соединений железа, мелкозем нижних горизонтов почв,

сформированных на переотложенных продуктах выветривания риолитов; серицито-кварцитовые сланцы отличаются относительно «бедным» химическим составом (Fe_2O_3 – 4–6%; Al_2O_3 – 10–15%; CaO – 0.2–0.3 %; MgO – 0.6–0.9%) и высоким содержанием SiO_2 – до 78–80% (табл. 2). В гранулометрическом составе преобладают крупно- и мелкопесчаные фракции, типично равномерное (P-9) или аккумулятивное (P-10) распределение илистой фракции (табл. 3), что хорошо коррелирует с профильным распределением валового содержания Al_2O_3 . Таким образом, на границе горно-лесного и подгольцового поясов хребта Малды-нырд рассматриваемые подзолы формируют достаточно однородный почвенный покров с характерными морфологическими и физико-химическими свойствами, типичными для иллювиально-железистых подзолов.

Более характерными для средней пологой (3–5°) части склона хребта Малды-нырд являются зеленомошные лиственничники, принадлежащие ассоциации лиственничник чернично-зеленомошный. Такие сообщества описаны на высотах 510–520 м. Общая сомкнутость древесного яруса 0.6–0.7, высота 16–18 м. Состав верхнего полога 9Л1Б, второго – 8Б2Е. Часто выражен третий полог высотой 6–8 м, который сложен елью и березой. В подросте возобновляются ель, береза, лиственница. В кустарниковом ярусе встречаются рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), можжевельник сибирский (*Juniperus sibirica*). Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 60–70%, доминирует черника. Напочвенный покров представляет собой сплошную (ОПП – 90%) ковер из *Pleurozium schreberi* с включениями *Hylocomium splendens*.

Почвы формируются в автоморфных условиях на относительно однородных легко-среднесуглинистых отложениях и отчетливо дифференцированы на горизонты (P-22; рис. 1). В верхней части профиля характерен очес из зеленых мхов, под слабо- и среднеразложившейся торфянистой подстилкой Oao (3–5 см) формируется подзолистый горизонт Eh (6–8 см) – серовато-белесый средний суглинок, который переходит в иллювиально-железистый горизонт BF – ярко-ржавый, местами коричневато-бурый легкий суглинок. Из всего разнообразия морфологических свойств исследуемой почвы наиболее важным диагностическим признаком представляется наличие и степень выраженности специфического криогенноструктурного горизонта с рассыпчатой комковато-ореховатой или угловато-крупитчатой структурой. В «Классификации и диагностике почв России» [15] этот горизонт выделен как криометаморфический (CRM). Размеры структурных отдельностей колеблются от 3–4 до 7–10 мм, возрастают с глубиной. Прослеживается горизонтальная делимость почвенной массы, однако плитки непрочные, рассыпаются на мелкие отдельности. Морфохромохимические признаки оглеения отсутствуют. С глубины 55 см встречаются обломки различных пород (риолитов, сланцев, песчаников). Согласно [15], почвы с таким строением профиля относятся к **светлоземам иллювиаль-**

но-железистым в отделе криометаморфических почв (Oao–Eh–BF–CRM–BC). Для исследуемого региона эти почвы описаны нами впервые.

Согласно классификации, предложенной В.Н.Димо [19], подзолистые почвы северной и крайнесеверной тайги по температурному режиму относятся к очень холодному подтипу длительно сезонно-промерзающего типа и характеризуются коротким периодом активных температур. Продолжительность периода с отрицательными температурами почвы в северной тайге более 230 дней [20]. Поэтому формирование диагностического криометаморфического горизонта CRM с рассыпчатой комковато-ореховатой (угловатой) структурой связывается нами с процессами многократного промерзания и оттаивания минеральной массы. Специфическая структурная организация криометаморфических горизонтов не сопровождается особенностями химических и физико-химических свойств. По этим показателям CRM горизонты, как правило, не отличаются от смежных горизонтов [21]. В то же время следует отметить, что они чаще всего характеризуются легко-среднесуглинистым гранулометрическим составом (табл. 3) и отсутствием (или невысоким содержанием) обломков горных пород, что хорошо согласуется с результатами исследований покровных суглинков Большеземельской тундры ряда других авторов [21, 22]. Широкое распространение среди исследователей получила гипотеза элювиально-мерзлотного происхождения данных пород [23, 24]. Это позволило сделать вывод о том, что покровные пылеватые суглинки Большеземельской тундры являются продуктом криоэлювиогенеза [25].

Исследованные светлоземы отличаются сильноокислой реакцией и ненасыщенностью основаниями. Наиболее низкие значения pH характерны для подзолистого горизонта Eh, что свидетельствует об интенсивном промывании и слабой нейтрализации кислого органического вещества. Содержание углерода в минеральных горизонтах имеет равномерно-аккумулятивное распределение с максимумом в подзолистом горизонте (табл. 1). Профиль рассматриваемых почв не дифференцирован или очень слабо дифференцирован по илу (табл. 3) и валовому содержанию оксида алюминия (табл. 2). Это отмечают и другие исследователи для светлоземов, формирующихся в условиях северной и крайнесеверной подзоны тайги европейского Северо-Востока России [21, 22]. Распределение оксалатнорастворимых форм соединений Fe_2O_3 и Al_2O_3 , а также валового содержания оксидов железа заключается в их внутрпочвенной элювиально-иллювиальной дифференциации по горизонтам профиля (табл. 2).

В нижней части профиля в условиях пологих и слабопокатых склонов предгорных равнин описаны безлесные участки тундровых сообществ, которые окружены лиственничными лесами. Подобное существование «островов» безлесной тундры, по видимому, связано с наличием многолетнемерзлых (льдистых) пород в почве, которые ограничивают развитие древесной растительности. При отсутст-

вующем древесном ярусе сомкнутость кустарников (*Betula nana*) варьирует от 0.2 до 0.4. Травяно-кустарничковый ярус (ОПП 40 %) не богат видами. В конкретных сообществах отмечается не более шести-восьми представителей сосудистых растений, из которых доминируют осока арктико-сибирская (*Carex arctisibirica*), осока беденькая (*Carex irrigua*), морозка (*Rubus chamaemorus*). На более сухих участках мелкобугорковатого микрорельефа регулярно встречаются кустарнички – водяника (*Empetrum hermaphroditum*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*). Мохово-лишайниковый ярус – это сплошной напочвенный ковер (до 98%), который в микропонижениях представлен влаголюбивыми сфагновыми мхами, а повышенные участки микрорельефа покрыты подушками из лишайников (р. *Cladonia*) и зеленых мхов (р. *Dicranum*). При этом на лишайники приходится наибольшая доля проективного покрытия яруса. Бедность описанных растительных сообществ, а также состав доминирующих видов травяно-кустарничкового яруса свидетельствуют о повышенном уровне увлажнения данных фитоценозов и формирующихся под ними почв.

Под маломощной слабообразованной оторфованной подстилкой (5–8 см) представлена серия минеральных глеевых горизонтов различной интенсивности и окраски. Строение профиля: O–BG–BCg–Cg₁. Как правило, в верхней части профиля глеевый горизонт BG имеет яркую голубую (часто сизовато-коричневую) окраску с буровато-охристой тонкой каймой. Срединные глееватые горизонты BCg–Cg с сизовато-коричневой окраской с ржавыми пятнами до 1–2 см и небольшими линзами чистого льда. В почвенном профиле в течение всего года сохраняется многолетняя мерзлота, верхняя граница которой залегает на глубине 40–45 см и служит водоупором, поэтому весь профиль сильно увлажнен и является тиксотропным. Мощность слоя сезонного промерзания – протаивания составляет от 35 до 50 см и во многом зависит от мощности органогенных горизонтов, представленных торфянистой или торфяной подстилкой. Почвы диагностируются как **глееземы мерзлотные** в отделе глеевых почв.

Глееземы имеют кислую реакцию по всему профилю. Наибольшая кислотность характерна для органогенных горизонтов (рН сол.2.6–2.9). Почвы слабо насыщены основаниями, с высоким содержанием органического углерода в органогенных горизонтах с широким молекулярным отношением C: N (табл. 1). Валовой химический состав отражает слабую дифференциацию полуторфяных оксидов по профилю. Связанная с криогенным ожелезнением дифференциация оксалат- и дитионитрастворимых форм соединений железа фиксируется в надмерзлотных и верхних мерзлотных горизонтах почв (табл. 2).

Заключение

Таким образом, общие закономерности почвообразования в пределах исследуемого профиля обусловлены влиянием вертикальной поясности,

которая выражается в смене растительного покрова от подножия до вершины горного хребта, а также литолого-геоморфологическими условиями, определяющими развитие почв на обильно-щелочистых элювиально-делювиальных отложениях различной мощности. Специфичность процессов почвообразования в значительной степени определяется криогенными условиями. Формы и интенсивность их проявления в почвенном профиле разнообразны.

В суровых климатических условиях горных тундр и верхней части подгольцового пояса наиболее существенное влияние на генетические особенности почв оказывает степень дренированности, развитие склоновых (солифлюкционных) и криогенных процессов. В условиях относительно затрудненного внутрипочвенного дренажа под злаково-осоковыми горно-тундровыми сообществами на границе пояса холодных гольцовых пустынь формируются глееземы грубогумусированные, которые под листовенными редколесьями сменяются литоземами грубогумусированными ожелезненными.

В нижней части подгольцового растительного пояса и на верхней границе горно-лесного пояса представлены сообщества листовенных редколесий воронично- и чернично-зеленомошной ассоциаций. Формирующиеся здесь почвы имеют характерные морфологические и физико-химические свойства и относятся к подзолам иллювиально-железистым. В средней более пологой части горно-лесного пояса в условиях «относительно более мощных» суглинистых отложений, подстилаемых с глубины 55–60 см коренными горными породами, впервые для Приполярного Урала описаны почвы со специфическим криогенноструктурным горизонтом. Эти почвы диагностируются как светлосветлые иллювиально-железистые грубогумусированные. В нижней части исследуемого эколого-топологического профиля в условиях пологих склонов предгорных равнин формируются глееземы мерзлотные.

Авторы выражают благодарность доценту, к.г.-м.н. И.И. Голубевой за помощь в определении горных пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-04-00885-а и Программы Президиума РАН № 12-П-4-1032.

Литература

1. *Беляев С.В., Забоева И.В., Попов В.А., Рубцов Д.М.* Почвы Печорского промышленного района. М.-Л.: Наука, 1965. 110 с.
2. *Симонов Г.А.* Почвы // Влияние разработки россыпных месторождений Приполярного Урала на природную среду / Коми научный центр УрО РАН. Сыктывкар, 1994. С. 11–29.
3. *Русанова Г.В., Кюхри П.* Почвы – граница леса и горной тундры Приполярного Урала // Почвоведение. 2001. №4. С.409–417.
4. *Производительные силы* Коми АССР. Т.3. Ч.1. Растительный мир. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 376 с.

5. *Горчаковский П.Л.* Флора и растительность высокогорий Урала. Свердловск: УФАН СССР, 1966. 270 с.
6. *Лащенко А.Н.* Растительность // Природный парк Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1977. С. 45–57.
7. *Непомилуева Н.И., Пахучий В.В., Симонов Г.А.* Древесная растительность горных долин Приполярного Урала // География и природные ресурсы. 1986. С. 744–751.
8. *Мартыненко В.А.* Естественное зарастание техногенных участков на Приполярном Урале // Бот. журн. 1986. Т. 71. № 12. С. 1663–1668.
9. *Влияние разработки* россыпных месторождений Приполярного Урала на природную среду / Под ред. С.В. Дёгтевой. Сыктывкар, 1994. 171 с.
10. *Дёгтева С.В., Мартыненко В.А.* Растительность и флора природного парка "Югыд ва" (Республика Коми) // Бот. журн. 2000. Т. 85. № 11. С. 76–86.
11. *Биоразнообразие водных* и наземных экосистем бассейна реки Кожым (северная часть национального парка "Югыд ва") / Под ред. Е.Н. Патовой Сыктывкар, 2010. 192 с.
12. *Кадастр охраняемых* природных территорий Республики Коми. Сыктывкар, 1993. 190 с.
13. *Национальный парк "Югыд ва"* / Под ред. В.И. Пономарева. М., 2001. 208 с.
14. *Теория и практика* химического анализа почв / Под ред. Л.А. Воробьевой М., 2006. 400 с.
15. *Классификация и диагностика* почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
16. *Ипатов В.С.* Описание фитоценоза. Методические рекомендации. СПб., 1998. 93 с.
17. *Атлас Республики Коми* по климату и гидрологии / Под ред. А.И. Таскаева. М.: ДиК, Дрофа, 1997. 116 с.
18. *Дубровский Ю.А.* Лиственный лес и редколесья Северного и Приполярного Урала // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XVIII Всерос. молодеж. науч. конференции. Сыктывкар, 2011. С. 10–13.
19. *Димо В.Н.* Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с.
20. *Конonenko A.B.* Гидротермический режим таежных и тундровых почв Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1986. 144 с.
21. *Тонконогов В.Д.* Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
22. *Тонконогов В.Д., Пастухов А.В., Забова И.В.* Генезис и классификационное положение автоморфных почв на покровных суглинках северной тайги Европы // Почвоведение. 2006. № 1. С. 29–36.
23. *Конищев В.Н.* Покровные лессовидные образования юго-восточной части Большеземельской тундры // Проблемы палеогеографии и морфогенеза в полярных странах и высокогорье. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. С. 27–48.
24. *Попов А.И.* Покровные суглинки и полигональный рельеф Большеземельской тундры // Вопросы географии мерзлых и перигляциальных областей. М.: Изд-во МГУ, 1967. С. 45–89.
25. *Конищев В.Н., Рогов В.В.* Влияние криогенеза на глинистые минералы // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 51–58.

Статья поступила в редакцию 5.03.2012.

УДК 616.61

СОСУДИСТЫЙ КОНТИНУУМ У БОЛЬНЫХ С ТЕРМИНАЛЬНОЙ ПОЧЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

О.Н. КУРОЧКИНА*, В.П. НУЖНЫЙ**

*Коми филиал Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кировская государственная медицинская академия», г. Сыктывкар

**Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
olga_kgma@mail.ru

Изучены структура, причины терминальной почечной недостаточности (ТПН) в додиализный период в Республике Коми в 2000 – 2009 гг. Выявлен рост числа пациентов, нуждающихся в проведении заместительной почечной терапии. Установлены два пика в распределении количества больных по возрастным периодам в интервалах до 30 и 40–59 лет. Выявлено поражение сердечно-сосудистой системы у 87,9% больных, а у пациентов старше 30 лет – сердечно-сосудистый континуум отмечен в 100% случаев, в том числе артериальная гипертензия встречалась у 81,8% больных, поражение сердца – у 32,4%.

Ключевые слова: хроническая болезнь почек, терминальная почечная недостаточность, ренокардиальный континуум

O.N. KUROCHKINA, V.P. NUZHNY. VASCULAR CONTINUUM IN PATIENTS WITH TERMINAL RENAL FAILURE IN THE NORTH

The structure and causes of end-stage renal failure (ESRF) in the predialysis period were studied in patients of the Komi Republic during 2000-2009. A growing number of patients requiring renal replacement therapy was revealed. There are two peaks in the distribution of patients by age periods in the intervals of up to 30 and 40-59 years. Lesions of the cardiovascular system were observed in 87.9% of patients younger than 30 but in all of patients older than 30. Arterial hypertension occurred in 81.8% of patients and heart diseases in 32.4%.

Key words: chronic kidney disease, end-stage renal failure, renocardial continuum

Адаптация человека на Севере обеспечивается перестройкой всех систем за счет перехода организма на новый регуляторно-гомеостатический уровень функционирования [1]. Функциональное состояние системы кровообращения зависит от фазы ежегодных циклов естественной сезонной акклиматизации и температурных условий окружающей среды [2]. Хроническая болезнь почек (ХБП) является важным фактором риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [3, 4], поэтому у лиц с ХБП наблюдается высокая заболеваемость сердечно-сосудистой патологией [5–8].

В Российской Федерации общая заболеваемость болезнями системы кровообращения составляет 25282,2/100 тыс. населения, ишемической болезни сердца (ИБС) – 6158,8/100 тыс. [9]. Распространенность артериальной гипертензии (АГ) в Российской популяции среди взрослых – 39,5%, в Северо-Западном федеральном округе – 41,2 [10]. Сердечно-сосудистые осложнения служат наиболее частыми причинами смерти больных с хронической почечной недостаточностью (ХПН), поэтому

изучение структуры сердечно-сосудистой патологии у больных ТПН в додиализный период представляется особенно актуальным.

Цель работы

Изучить распространенность и структуру поражения сердечно-сосудистой системы у больных с заболеваниями почек и мочевыводящих путей в стадии терминальной почечной недостаточности в Республике Коми и сопоставить их с распространенностью данных заболеваний в общей популяции населения Российской Федерации.

Материалы и методы

Изучены истории болезни 192 пациентов (92 женщины и 100 мужчин) с первичными заболеваниями почек в стадии ТПН, пролеченных в отделении нефрологии ГУ РК «Коми республиканская больница» в 2000 – 2009 гг. Из исследования исключены лица, у которых основной причиной развития ТПН явились артериальная гипертензия и сахарный диабет. Средний возраст больных 44,6±15,6 лет. Средний воз-

раст мужчин – 43,1±14,5 лет, женщин – 46,2±14,7 (p=0,05). Статистическая обработка проводилась с использованием программы BIostat.

Результаты и обсуждение

Наиболее частой причиной терминальной почечной недостаточности среди первичных заболеваний почек является гломерулонефрит; существенный вклад в структуру ТПН вносят поликистоз почек, пиелонефрит и тубулоинтерстициальные нефропатии (ТИН), врожденные аномалии развития почек и мочевыводящих путей (МВП) (рис. 1).

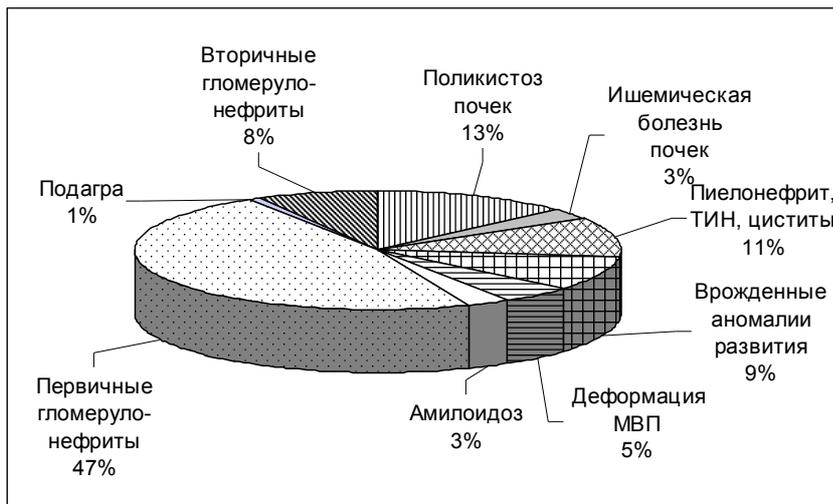


Рис. 1. Структура причин терминальной почечной недостаточности.

Количество пациентов с терминальной почечной недостаточностью представлено в табл. 1.

Таблица 1

Количество больных с заболеваниями почек в стадии ТПН в 2000–2009 гг.

Год	Число больных, n	Средний возраст, лет (M±m)
2000	16	45,0±15,6
2001	17	44,7±14,2
2002	22	45,9±12,1
2003	16	45,3±14,4
2004	16	43,0±14,8
2005	30	43,7±12,6
2006	24	43,2±15,1
2007	14	42,3±14,7
2008	16	48,3±12,9
2009	23	44,8±13,5

В течение 10 лет выявлена тенденция к увеличению числа пациентов с терминальной ХПН. Так, за 2000–2004 гг.: 87 случаев (в среднем 17,4 в год), в то время как в 2005–2009 гг. – 107 (в среднем 21,4 в год); прирост новых случаев ТПН за 5-летний период составил 22,9% (p<0,01).

Наблюдается неоднородное распределение количества больных по возрастным группам с ми-

нимальным числом в возрасте 30–39 лет и двумя пиками – в интервалах до 30 и 40–59 лет (рис. 2).

Выявленные два пика развития ТПН (30 и 60 лет) соотносятся с пиками максимальных адаптационных возрастных физиологических изменений в организме жителей Севера, у которых первый период, «период восходящего» или энергетического уровня развития, заканчивается к 30-ти годам. Переходный период в возрасте 30–35 лет характеризуется оптимальными функциональными связями, обеспечивающими максимальную интегративность взаимодействия физиологических систем организма посредством нейрогуморальной активации. С четвертого десятилетия жизни контроль и управление физиологическими системами инвертируется на преимущественно гуморальный тип. В этот период жизни время и скорость физиологических реакций замедляется. Корреляционные связи между функциональными системами опосредуются ренин-ангиотензиновой системой, активация которой вызывает морфофункциональное ремоделирование органов и систем, формирует иммуно-воспалительный дистресс-синдром, способствует функциональной изоляции органов и систем, тем самым усугубляет течение ХБП, приводит к увеличению в старших возрастных группах чис-

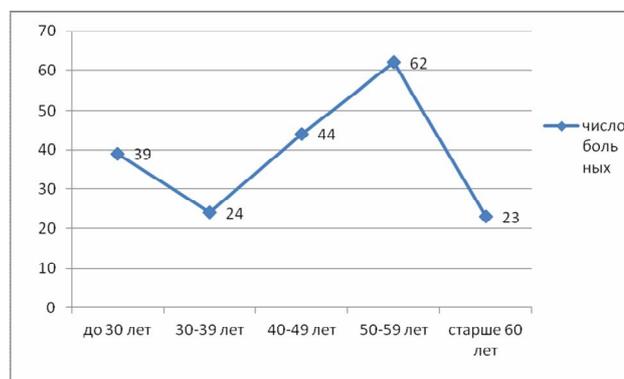


Рис. 2. Распределение больных заболеваниями почек в стадии ТПН по возрастным периодам.

ла пациентов с терминальной ХПН и количественному нарастанию сосудистого континуума.

Структура пациентов по гендерному признаку с увеличением возраста имеет отчетливую тенденцию к уменьшению доли мужчин: в возрасте до 30 лет преобладают мужчины – 57,5%; в возрасте от 30 до 49 – доля мужчин уменьшается до 53,5%, в возрасте 50–59 лет – 52,3% мужчин; в структуре пациентов старше 60 лет преобладают женщины, где доля мужчин уменьшается до 37,8% (r1=0,920, r2=0,904; p=0,028), а доля женщин увеличивается до 62,2% (рис. 3).

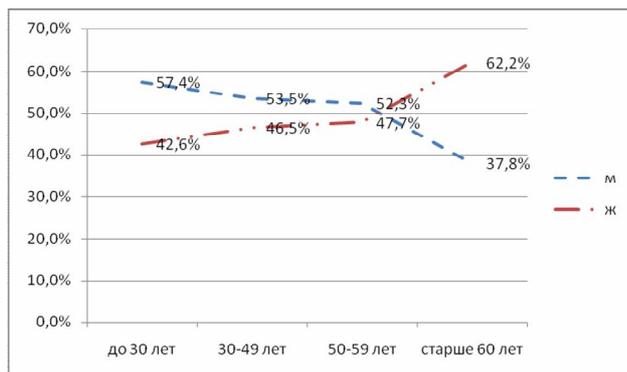


Рис. 3. Доля мужчин и женщин больных ТПН в различные возрастные периоды.

Сопутствующие заболевания и осложнения наблюдались у 97,5% пациентов, у 2,5% от общего числа больных ТПН (пять больных, средний возраст которых составил $22,2 \pm 6,2$ года) осложнений не выявлено. В структуре сопутствующих заболеваний и осложнений сердечно-сосудистый континуум зарегистрирован у 87,9% больных; средний возраст этой категории больных – $46,8 \pm 16,5$ лет, в то время как средний возраст больных без сердечно-сосудистых заболеваний – $22,6 \pm 6,5$ лет ($p < 0,001$). Структура осложнений и сопутствующих заболеваний представлена в табл. 2.

Таблица 2

Структура осложнений и сопутствующих заболеваний больных мочевого выводящей системы в стадии ТПН (N=198)

Наименование	Всего, n(%)
Артериальная гипертензия	162(81,8)
Анемия	84 (42,4)
Язвенная болезнь	9 (4,5)
Нарушения водно-электролитного баланса и кислотно-щелочного состояния	46 (23,2)
Ишемическая болезнь сердца	11 (5,6)
Общий атеросклероз	15 (7,6)
Миокардиодистрофия	29 (14,6)
Гипертоническое сердце	11 (5,6)
Постинфарктный кардиосклероз	1 (0,5)
Нарушения ритма сердца	4 (2,0)
Сердечная астма	3 (1,5)
Хроническая сердечная недостаточность	4 (2,0)
Последствия острого нарушения мозгового кровообращения	5 (2,5)
Кардиомиопатия	5 (2,5)
Цереброваскулярные заболевания	9 (4,5)
Аневризма аорты	1 (0,5)
Дислипидемия	4 (2,0)

В структуре сердечно-сосудистого континуума артериальная гипертензия занимает первое место. Поражение сердца (ИБС, гипертоническое сердце, кардиомиопатия, миокардиодистрофия и прочие) выявлено у 32,4% пациентов, что значительно превышает распространенность этих забо-

леваний в общей популяции населения России. АГ является на Севере не просто широтным феноменом, она образуется на фоне исходно высокого уровня активности ренин-ангио-тензиновой системы и затрагивает морфофункциональные изменения во всех органах и системах. По мере увеличения возраста и «северного» стажа наблюдается усиление дизадаптивных реакций со стороны организма, а перестройка морфофункциональной организации сердечно-сосудистой системы неуклонно прогрессирует [11]. Что служит отягощающим фактором возникновения и скорости развития сосудистого континуума, который становится фактором, лимитирующим адаптационные процессы.

Проанализирована частота осложнений и сопутствующих заболеваний у пациентов различных возрастов. В возрасте до 30 лет только половина больных имели сердечно-сосудистые заболевания, в то время как у исследуемых лиц старше 30 поражение сердечно-сосудистой системы выявлено у всех обследованных: на одного пациента приходилось от одного до четырех сердечно-сосудистых заболеваний одновременно. Число сердечно-сосудистых заболеваний у больных ТПН в различные возрастные периоды представлено в табл. 3.

Таким образом, выявлена высокая распространенность и полиморбидность сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов заболеваниями по-

Таблица 3

Число осложнений ТПН в различные возрастные периоды

Возрастной период	Число больных, n	Распространенность ССЗ, %	Число ССЗ на одного больного, M±m
До 30 лет	38	55,3	0,8±0,4
30-39 лет	20	100	1,7±0,6
40-49 лет	36	100	1,7±0,7
50-59 лет	44	100	1,6±0,7
60 лет и старше	23	100	1,7±0,6

чек в терминальной стадии почечной недостаточности, начиная уже с 30-летнего возраста. Полученные нами результаты подтверждают проведенные ранее исследования, показавшие, что формированию сердечно-сосудистого континуума у больных с терминальной стадией хронических заболеваний почек способствует ускоренный атерогенез, обусловленный накоплением уремиических токсинов [12–16]. За счет этого у пациентов с ХПН кальцификация сосудов и другие сердечно-сосудистые заболевания начинаются на 10–20 лет раньше, чем в общей популяции [17].

Гетерогенность функционирования сердечно-сосудистой системы, ее чувствительность к изменениям внешних природных условий определяются функциональными связями между органами и системами организма, которые находятся в состоянии

напряжения регуляторных систем, основную роль среди которых играют почки. В результате чего «цена» функционирования сердечно-сосудистой системы выше, чем в средней полосе. Следствием экстремальных неблагоприятных условий на Севере будет являться быстрое и более интенсивное по степени поражения формирование кардиоренального континуума [18, 19].

Таким образом, терминальная стадия почечной недостаточности в условиях Севера – это серьезная проблема, поскольку наблюдается постоянный рост числа больных, требующих проведения дорогостоящих методов заместительной почечной терапии. Пациенты с ТПН, начиная с молодого возраста, подвержены высокому риску развития сердечно-сосудистых заболеваний, встречающихся у данной категории больных в три-четыре и более раз чаще, чем в общей популяции населения. Ускоренное развитие сердечно-сосудистого континуума при заболеваниях почек в условиях Севера остается на современном этапе одной из актуальных междисциплинарных проблем медицинской науки, так как объединяет, по крайней мере, интересы ведущих областей медицины — нефрологии и кардиологии. В связи с этим использование современных методов ранней диагностики и лечения почечной патологии позволит предотвратить или отсрочить развитие ренокардиального континуума.

Выводы

1. Проживание в условиях Севера больных с заболеваниями почек в стадии ТПН обуславливает высокий риск развития ренокардиального континуума. В Республике Коми в структуре сопутствующих заболеваний и осложнений преобладает поражение сердечно - сосудистой системы в 87,9% случаев, что превышает показатели распространенности болезней системы кровообращения в общей популяции населения Российской Федерации.

2. У пациентов старше 30 лет ренокардиальный континуум выявлен в 100% случаев и представлен несколькими заболеваниями. Наиболее частым кардиологическим осложнением является артериальная гипертензия, диагностированная у 81,8% больных, что значительно превышает распространенность АГ в общей Российской популяции.

3. Целесообразно проведение ранней диагностики, своевременного и адекватного лечения и активной профилактики хронических заболеваний почек, а также устранения факторов прогрессирования почечной недостаточности, в том числе артериальной гипертензии.

Литература

1. *Нечаева Э.В.* Актуальные проблемы реформирования здравоохранения Республики Коми. М., 2002. С. 44–67.
2. *Варламова Н.Г., Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Бойко Е.Р.* Динамические характеристики функции внешнего дыхания у молодых мужчин севера в годовом цикле // *Физиология человека.* 2010. Т.36. №3. С.123–129.
3. *Швецов М.Ю., Фомин В.В.* Хроническая почечная недостаточность – пандемия, которую можно остановить. Принципы современной нефропротективной стратегии // *Медицина. Качество жизни.* 2006. № 4 (15). С. 96–107.
4. *Brooks M.M., Jones R.H., Bach R.G. et al.* Predictors of mortality and mortality from cardiac causes in the Bypass Angioplasty Revascularization Investigation (BARI) randomized trial and registry // *Circulation,* 2000. No. 101. P. 2682–2689.
5. *Ступаков И.Н.* Смертность от ишемической болезни сердца в Российской Федерации // *Здравоохранение.* 2008. №7.
6. *Шальнова С.А., Баланова Ю.А., Константинов В.В. и др.* Артериальная гипертензия: распространенность, осведомленность, прием антигипертензивных препаратов и эффективность лечения среди населения Российской Федерации // *Российский кардиологический журнал.* 2006. №4. С. 45–50.
7. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П.* Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 166 с.
8. *Варламова Н.Г.* Состояние сердечно-сосудистой системы жителей Европейского Севера // *Вестник Коми научного центра УрО РАН.* Сыктывкар, 2000. Вып. 16. С. 28–41.
9. *Foley R.N., Parfrey P.S., Sarnak M.J.* Clinical epidemiology of cardiovascular disease in chronic renal disease // *Am. J. Kidney Dis.,* 1998. No. 32. P.112–119.
10. *Joki N., Hase H., Nakamura R., Yamaguchi T.* Onset of coronary artery disease prior to initiation of haemodialysis in patients with end-stage renal disease // *Nephrol Dial Transplant,* 1997. No. 12. P. 718–723.
11. *van Domburg R.T., Hoeks S.E., Welten G.M., Chonchol M. et al.* Renal insufficiency and mortality in patients with known or suspected coronary artery disease // *J. Am. Soc. Nephrol.,* 2008. No. 19. P. 158–163.
12. *Levey A.S., Beto J.A., Coronado B.E., Eknoyan G. et al.* Controlling the epidemic of cardiovascular disease in chronic renal disease. National Kidney Foundation Task Force on Cardiovascular Disease // *Am. J. Kidney Dis.,* 1998. No. 32. P. 853–906.
13. *Go A.S., Chertow G.M., Fan D. et al.* Chronic kidney disease and the risks of death, cardiovascular events, and hospitalization // *N. Engl. J. Med.* 2004. No. 351. P. 1296–1305.
14. *Vanholder R., Glorieux G., De Smet R., Lameire N.* New insights in uremic toxins // *Kidney Int.* 2003. No. 63 (suppl. 84). P. 6–10.
15. *Raj D. S.* Advanced glycation end products: A nephrologists perspective // *Am. J. Kidney Dis.* 2000. No. 35. P. 365–380.
16. *Zoccali C.* Cardiorenal risk as a new frontier of nephrology: research needs and areas for intervention // *Nephrol. Dial. Transplant.* 2002. No. 17 (suppl. II). P. 50–54.
17. *London G.M., Guerin A. P., Marchais S.J. et al.* Cardiac and arterial interactions in end-stage

- renal disease // *Kidney Int.* 1996. No. 50. P. 600–608
18. *Foley R.N., Parfrey P.S., Sarnak M.J.* Epidemiology of cardiovascular disease in chronic renal disease // *Am. J. Soc. Nephrol.* 1998. No. 9 (suppl.). P. 16–23.
19. *Kawagishi T., Nishizawa Y., Konishi T. et al.* High-resolution B-mode ultrasonography in evaluation of atherosclerosis in uremia // *Kidney Int.* 1995. No. 48. P. 820–826.

Статья поступила в редакцию 28.02.2012.

УДК: 612.84:612.85:612.87:612.82:612.014.423-092.9

МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ПЕРВИЧНЫХ КОРКОВЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВАХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ГОЛОВНОГО МОЗГА

К.С. ПУГАЧЕВ, А.А. КРЕБС, И.В. ФИЛИПPOB

*Ярославская государственная медицинская академия, г. Ярославль
filippov@ytm.ac.ru*

Выявлены и проанализированы перестройки динамики сверхмедленных колебаний потенциалов в первичной зрительной коре, первичной слуховой коре и во вкусовой коре головного мозга при действии сенсорных стимулов различных типов разных модальностей у крыс в условиях хронического эксперимента. Установлено участие секундных (0,1–0,5 Гц) и многосекундных (0,0167–0,1 Гц) волн в мультисенсорных процессах переработки зрительной, слуховой и вкусовой информации на уровне первичной зрительной, слуховой и вкусовой коры. Секундные волны отражают динамическую настройку рецептивных полей полимодальных нейронов, а многосекундные волны связаны с уровнем полимодального сенсорного внимания.

Ключевые слова: нейрофизиология, первичная зрительная кора, слуховая, вкусовая кора, сверхмедленные колебания потенциалов головного мозга

K.S. PUGACHEV, A.A. KREBS, I.V. FILIPPOV. MULTISENSORY INFORMATION PROCESSING IN PRIMARY SENSORY CORTICAL AREAS OF BRAIN SENSORY SYSTEMS

The aim was to identify and analyze dynamical changes of infraslow fluctuations of brain potentials in primary visual, auditory, and gustatory cortices in rats during application of sensory stimuli of various types and modalities in chronic experiments. Participation of seconds (0.1-0.5 Hz) and multisecond waves in multisensory neural processing of visual, acoustic and taste information in the primary visual, auditory, and gustatory cortices is established. Seconds waves reflect neural receptive field dynamic reset, whereas multisecond waves are associated with the level of poly-modal sensory attention.

Key words: neurophysiology, primary visual, auditory, gustatory cortex, infraslow brain potentials

Одним из актуальных направлений современной нейрофизиологии является изучение ассоциативных процессов в различных отделах коры головного мозга. В частности, значительный интерес представляют исследования, направленные на выяснение роли различных видов биоэлектрической активности в мультисенсорных процессах анализа и переработки афферентной сенсорной информации на уровне высших корковых представительств зрительной, слуховой и вкусовой сенсорных систем. Анализ существующей литературы показал, что подобная проблематика остается недостаточно исследованной, а единичные публикации основаны исключительно на анализе быстрых форм биоэлектрической активности головного мозга с частотами от десятков до сотен Гц [1]. В то время как процессы мультисенсорной переработки информации с участием динамических перестроек сверхмедленных колебаний потенциалов (СМКП) с периодом более 2 с (с частотами менее 0,5 Гц) остаются неизвестными. В настоящий момент СМКП

классифицируются на различные диапазоны – секундные (период от 2 до 10 с), многосекундные (от 10 до 60 с) и минутные (более 1 мин) волны. Ранее нами было выявлено [2–4] не только присутствие, но и участие секундного и многосекундного диапазонов СМКП в переработке информации различных модальностей в соответствующих высших первичных корковых представительствах сенсорных систем.

Вместе с тем, в последнее время все большее количество публикаций указывает на присутствие в первичных корковых областях не только мономодальных, но и полимодальных нейронов, участвующих в ассоциативных процессах [5]. Основываясь на этих данных, существовавшая вплоть до недавнего времени точка зрения о том, что первичные сенсорные отделы коры специализируются на мономодальной переработке стимулов и вовлечены в переработку исключительно стимулов определенной модальности, рассматривается некоторыми исследователями как малосостоятельная, являясь,

по мнению ряда авторов [6], не более чем одним из догматов нейрофизиологии. Исходя из вышесказанного, нами выдвинуто предположение об участии СМКП в мультисенсорных процессах анализа и переработки информации зрительной, слуховой и вкусовой модальностей на уровне первичной зрительной коры (ПЗК), первичной слуховой коры (ПСК) и вкусовой коры (ВК). Учитывая неизученность данной проблематики и ее высокую актуальность, а также для проверки указанного предположения и было проведено настоящее исследование.

Цель работы – выявить и проанализировать перестройки динамики СМКП в первичной зрительной коре, первичной слуховой коре и во вкусовой коре головного мозга при действии сенсорных стимулов различных типов разных модальностей у крыс в условиях хронического эксперимента. В соответствии с целью были поставлены следующие основные задачи:

1. Выявить и провести сравнительный анализ перестроек динамики СМКП первичной зрительной коры головного мозга при действии различных зрительных, слуховых и вкусовых стимулов;
2. Установить, проанализировать и сопоставить перестройки СМКП первичной слуховой коры головного мозга при действии различных слуховых, зрительных и вкусовых стимулов;
3. Выявить, сравнить и провести анализ изменений СМКП вкусовой коры головного мозга при действии различных вкусовых, зрительных и слуховых стимулов.

Материал и методы

Работа проведена на 30 самцах взрослых нелинейных крыс альбиносов с массой тела 230–280 г ($n=720$ повторных экспериментальных наблюдений). Все опыты выполнены согласно основным положениям Европейской конвенции о гуманном обращении с животными при проведении биомедицинских исследований (директива совета Европейского Союза от 24.11.1986 г., 86/609/ЕЕС). Первоначально, руководствуясь атласом головного мозга крыс [7], осуществляли стереотаксическую имплантацию золотых долгосрочных интрацеребральных электродов (золото 98%, площадь активной поверхности $0,2 \text{ мм}^2$) в ПЗК, ПСК и ВК. Использование золотых электродов объясняется современными представлениями о том, что металлические электроды адекватны для изучения очень медленных форм биоэлектрической активности центральной нервной системы (ЦНС) в хроническом эксперименте [8]. Однако для исключения артефактов до имплантации каждая электродная пара была предварительно протестирована в физиологическом растворе, а для имплантации выбирали лишь те пары электродов, которые имели стабильный межэлектродный потенциал. После операции крысы помещались на 14 суток в стандартные условия вивария с целью завершения репаративных процессов в ЦНС.

Затем по истечении 14 суток с момента имплантации производилась многократная монополярная регистрация СМКП в ПЗК, ПСК и ВК при

последовательном предъявлении сенсорных стимулов различных модальностей (зрительных, слуховых и вкусовых) и разных типов (темноты и фотостимуляции; тишины и фоностимуляции; дистиллированной воды, растворов глюкозы и папаверина гидрохлорида). Животные во время проведения исследований находились под легким уретановым наркозом ($0,2\text{--}0,3 \text{ г/кг}$). Применение уретана объясняется тем, что он практически не влияет на нативную динамику СМКП головного мозга [9]. Экспериментальные животные при регистрации СМКП помещались в индивидуальный свето- и звукоизолированный контейнер. Для усиления, записи и анализа СМКП использовался компьютерный электрофизиологический комплекс, включавший многоканальный усилитель биопотенциалов (модель УУ-93, ЭПМ НИИЭМ РАМН), аналого-цифровой преобразователь (модель Е-154, Л-Кард) и персональный компьютер с набором программного обеспечения, управлявший работой фото- и фоностимуляторов.

Исследования проводились в трех различных условиях наблюдения: СМКП параллельно регистрировались в ПЗК, ПСК и ВК при последовательных предъявлениях зрительных, слуховых и вкусовых стимулов со следующими характеристиками: 1) зрительные – темнота и ритмическая фотостимуляция (стробоскопические вспышки с интенсивностью $0\text{--}2500 \text{ лк}$, частотой 4 Гц , длительностью вспышки менее 50 мкс); 2) слуховые – тишина и ритмическая фоностимуляция («щелчки», уровень интенсивности звука 80 дБ , частота основного звукового тона 2000 Гц , частота предъявления 8 Гц); 3) вкусовые – растворы, обладавшие различными вкусовыми свойствами: нейтральный вкусовой раздражитель (дистиллированная вода); раствор, имевший горький вкус – 2% -ный водный раствор папаверина гидрохлорида; раствор, имевший сладкий вкус – 10% -ный водный раствор глюкозы. Используемые растворы имели одинаковую температуру $25\text{--}27^\circ\text{C}$, жидкую консистенцию и поступали в ротовую полость испытуемых животных с постоянной скоростью и концентрацией при помощи специальной канюли и модифицированной капельной системы подачи.

Изучение динамики СМКП включало амплитудно-временной анализ различных диапазонов СМКП, основанный на применении алгоритма быстрого прямого преобразования Фурье полученных записей. Статистическую значимость отличий оценивали с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Отличия с $p < 0,05$ рассматривались как статистически значимые.

После завершения экспериментов осуществлялся забой крыс и производилась морфологическая верификация расположения электродов в исследуемых структурах головного мозга.

Результаты и обсуждение

Получены следующие ключевые данные.

Во-первых, в условиях темноты в ПЗК наблюдались регулярные квазипериодические секундные СМКП (с частотами $0,1\text{--}0,5 \text{ Гц}$). При ритмической фотостимуляции (рис. 1) происходило ста-

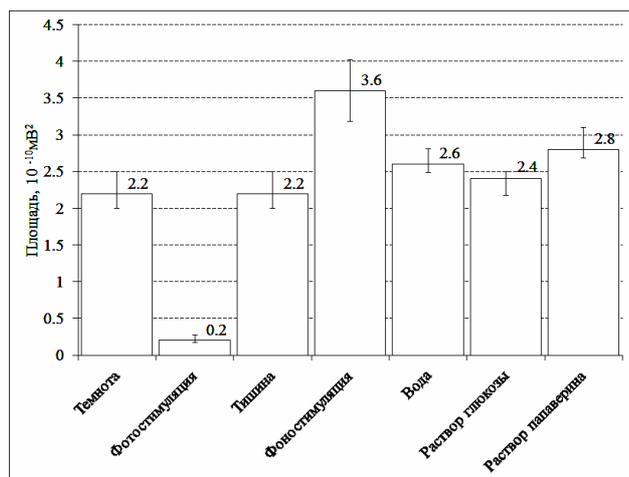


Рис. 1. Секундные сверхмедленные колебания потенциалов в первичной зрительной коре при действии различных сенсорных стимулов. Здесь и далее на рисунках приведены суммарные площади спектрограмм, соответствующих диапазонов в указанных условиях наблюдения (средние значения и доверительный интервал).

статистически значимое ($p < 0,05$) снижение спектральной мощности секундных волн по сравнению с их динамикой в условиях темноты. Важно подчеркнуть, что на динамику секундных волн в ПЗК влияли не только зрительные стимулы, но и другие сенсорные раздражители иной сенсорной модальности: например, предъявление ритмической фоностимуляции приводило к статистически значимому ($p < 0,05$) увеличению спектральной мощности секундных СМКП в ПЗК по сравнению с их динамикой в условиях тишины (рис. 1). При действии вкусовых стимулов (раствора папаверина гидрохлорида или раствора глюкозы) в ПЗК также наблюдались статистически значимые ($p < 0,05$) перестройки секундных СМКП (рис. 1). Сходная, но не аналогичная тенденция наблюдалась в ПЗК и в многосекундном диапазоне (рис. 2).

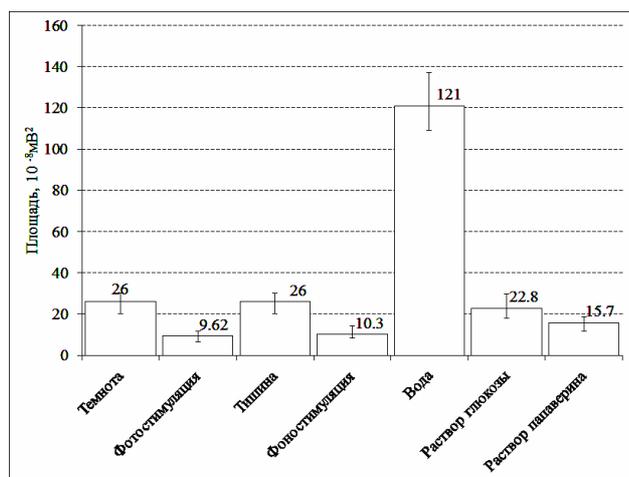


Рис. 2. Многосекундные сверхмедленные колебания потенциалов в первичной зрительной коре при действии различных сенсорных стимулов.

Фотостимуляция, фоностимуляция, а также орошение ротовой полости растворами глюкозы и папаверина гидрохлорида приводили к статистически значимому ($p < 0,05$) уменьшению спектральной мощности в диапазоне от 0,02 до 0,05 Гц в группах сравнения (парах) темнота – фотостимуляция, тишина – фоностимуляция, дистиллированная вода – раствор папаверина гидрохлорида и дистиллированная вода – раствор глюкозы. Также было обнаружено присутствие в ПЗК в различных условиях наблюдений нерегулярных минутных волн с частотами менее 0,005 Гц, динамика которых не претерпевала статистически значимых изменений при действии всех примененных сенсорных стимулов.

Во-вторых, установлено, что предъявление различных слуховых стимулов (тишина и фоностимуляция) приводило к статистически значимым изменениям динамики секундного диапазона СМКП в ПЗК (рис. 3), а мощность секундных СМКП статистически значимо ($p < 0,05$) увеличилась (по сравнению с условиями тишины). Выявлены изменения секундных СМКП в ПЗК в темноте и при ритмической фотостимуляции (рис. 3), имевшие статистически значимый характер ($p < 0,05$). Вкусовые сенсор-

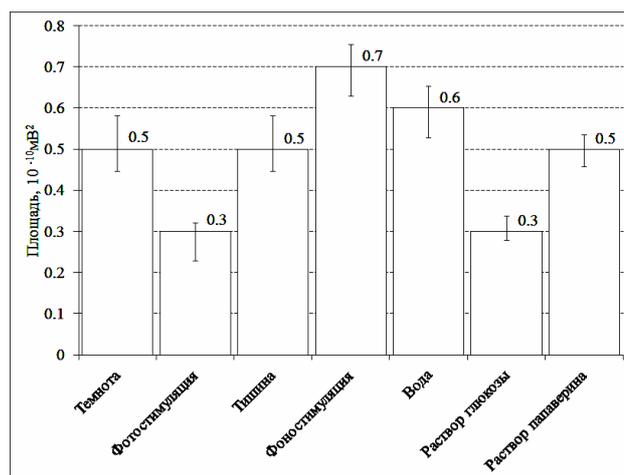


Рис. 3. Секундные сверхмедленные колебания потенциалов в первичной слуховой коре при действии различных сенсорных стимулов.

ные стимулы также приводили к статистически значимым перестройкам СМКП секундного диапазона в ПЗК. Например, при орошении ротовой полости крыс раствором глюкозы (рис. 3) спектральная мощность секундных колебаний ПЗК уменьшалась ($p < 0,05$) по сравнению с их динамикой в условиях действия дистиллированной воды. Сходная тенденция наблюдалась и при орошении полости рта дистиллированной водой по сравнению с применением раствора папаверина гидрохлорида (рис. 3). В диапазоне многосекундных СМКП при действии слуховых стимулов перестроек в ПЗК не наблюдалось (рис. 4), в то время как предъявление зрительных и вкусовых стимулов значительно влияло на динамику этих СМКП. Например, ритмическая фотостимуляция приводила к увеличению ($p < 0,05$)

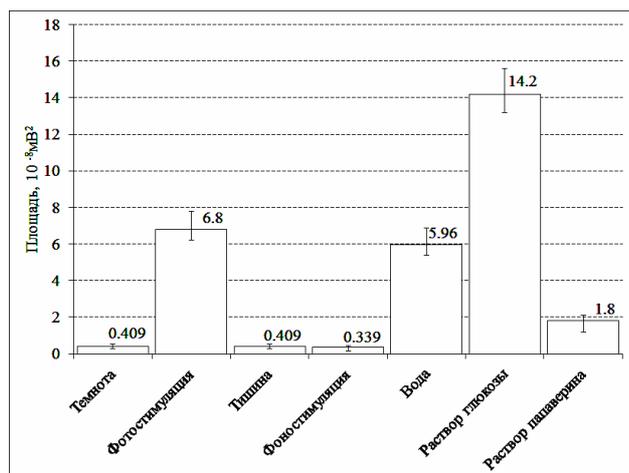


Рис. 4. Многосекундные сверхмедленные колебания потенциалов в первичной слуховой коре при действии различных сенсорных стимулов.

спектральной мощности многосекундных СМКП (рис. 4). Сходные изменения спектральной мощности были выявлены в условиях действия раствора глюкозы по сравнению с характером этих волн при аппликации дистиллированной воды ($p < 0,05$). При действии раствора папаверина гидрохлорида происходили обратные перестройки динамики многосекундных волн в ПСК: их спектральная мощность статистически значимо ($p < 0,05$) уменьшалась (рис. 4). В ПСК в различных условиях наблюдений были также выявлены одиночные минутные волны с частотами менее 0,005 Гц, остававшиеся неизменными при действии всех использованных сенсорных стимулов.

В-третьих, обнаружено, что предъявление не только различных вкусовых раздражителей, но также зрительных и слуховых стимулов приводило в ВК к статистически значимым перестройкам динамики различных диапазонов СМКП. При орошении ротовой полости крыс раствором глюкозы наблюдались статистически значимые ($p < 0,05$) перестройки динамики секундного диапазона СМКП в ВК (рис. 5) по сравнению аппликацией дистиллированной воды. При действии раствора глюкозы спектральная мощность секундных волн в ВК снижалась ($p < 0,05$), сходная тенденция статистически значимого ($p < 0,05$) снижения мощности наблюдалась в секундном диапазоне и при действии раствора папаверина гидрохлорида (рис. 5). Перестройки динамики секундных волн в ВК возникали не только при действии вкусовых стимулов, но и при предъявлении зрительных и слуховых стимулов. Ритмическая фотостимуляция приводила к статистически значимым ($p < 0,05$) перестройкам динамики секундных волн в ВК (рис. 5) по сравнению с условиями тишины. Ритмическая фоно-стимуляция приводила к статистически значимому ($p < 0,05$) увеличению спектральной мощности секундных СМКП в ВК по сравнению с их динамикой в этой структуре в условиях тишины (рис. 5). Сходная тенденция наблюдалась в ВК и в многосекундном диапазоне при действии различных сенсорных сти-

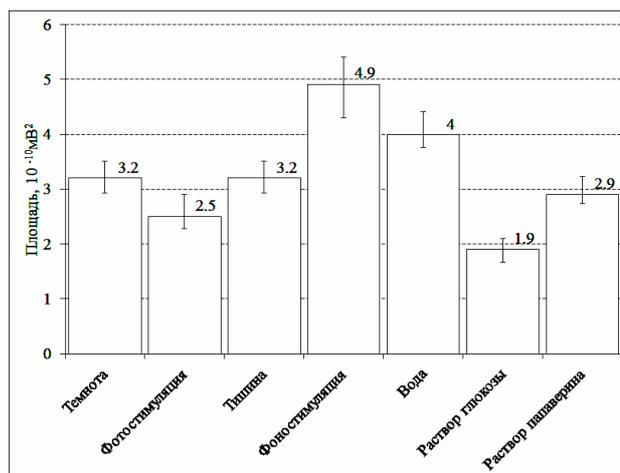


Рис. 5. Секундные сверхмедленные колебания потенциалов во вкусовой коре при действии различных сенсорных стимулов.

мулов. В случае действия вкусовых стимулов (раствор глюкозы и раствор папаверина гидрохлорида) перестройки были обнаружены в диапазоне многосекундных СМКП (0,0167–0,045 Гц) в ВК (рис. 6). При ритмической фотостимуляции происходило увеличение спектральной мощности ($p < 0,05$) многосекундных СМКП в ВК (рис. 6). В условиях ритми-

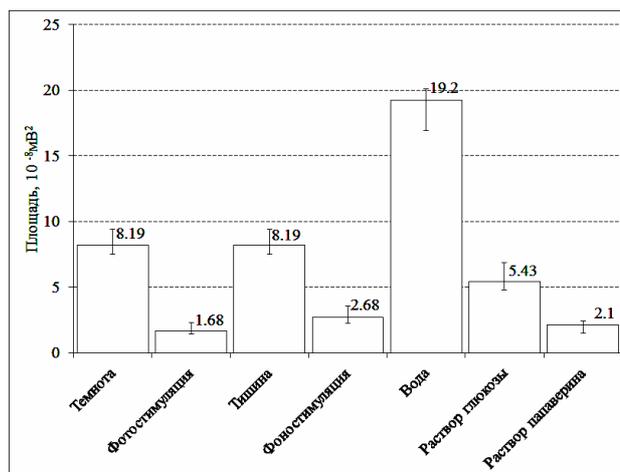


Рис. 6. Многосекундные сверхмедленные колебания потенциалов во вкусовой коре при действии различных сенсорных стимулов.

ческой фоно-стимуляции также прослеживалось увеличение спектральной мощности ($p < 0,05$) многосекундных волн в ВК. В различных условиях наблюдений в ВК были обнаружены и одиночные минутные волны с частотами менее 0,005 Гц, остававшиеся неизменными при действии различных типов сенсорных стимулов.

Для обсуждения можно выделить следующие наиболее важные результаты. Впервые установлена вовлеченность секундного и многосекундного диапазонов СМКП в мультисенсорную переработку не только зрительной, но и слуховой, и вкусовой информации на уровне ПЗК. Впервые выявлено участие секундных и многосекундных СМКП секундного в мультисенсорных процессах переработки не только слуховых, но и

зрительных, и вкусовых стимулов на уровне ПСК. Обнаружены корреляты участия секундных и многосекундных волн в мультисенсорной переработке как вкусовой, так и зрительной, и слуховой информации на уровне ВК.

В соответствии с полученными данными и их принципиальным сходством на уровне корковых отделов различных сенсорных систем можно предложить рабочую гипотезу о том, что секундный и многосекундный диапазоны СМКП принимают непосредственное участие в мультисенсорных процессах переработки сенсорной информации на уровне ПЗК, ПСК и ВК (или являются физиологическими эквивалентами подобных феноменов). В контексте данной гипотезы обоснованным представляется также предположение о том, что перестройки различных диапазонов СМКП отражают явления дифференцировки друг от друга не только стимулов различных модальностей – зрительных, слуховых, вкусовых, но и различных типов (или с различными свойствами) идентичной сенсорной модальности.

Развивая эту рабочую гипотезу, следует указать на функциональные различия тех диапазонов СМКП, которые принимают участие в подобных процессах. С одной стороны, это секундный диапазон, который может участвовать в подготовке корковых отделов различных сенсорных систем к более эффективной переработке афферентных стимулов за счет повышения уровня функциональной активности нейронных сетей. Это выражается в переходе от стационарного состояния системы к динамическому. В том числе роль секундного диапазона, вероятно, сопряжена и с кооперативными коммуникационными эффектами. Это проявляется в снижении энтропии взаимодействий рецептивных полей, в состав которых, помимо мономодальных нейронов, входят и полимодальные [10, 11]. Выдвинуты предположения и о связи секундных ритмов СМКП в первичных сенсорных корковых представительствах с процессами динамической настройки рецептивных полей мономодальных нейронов [2– 4], что позволяет говорить об экстраполяции этих результатов и на би- или полисенсорные нейроны указанных областей мозга. В этой связи правомерно предположение о том, что секундный диапазон СМКП на уровне первичных корковых представительствах ЦНС принимает участие не только в мономодальных, но и в би- и мультисенсорных процессах переработки афферентной сенсорной информации. Амплитудно-частотные свойства данного диапазона СМКП отражают кооперативные взаимодействия би- и полимодальных нейронов неокортекса, а также степень согласованности динамических характеристик и взаимоотношений их рецептивных полей, что и объясняет роль и значение секундных СМКП в мультисенсорной переработке сигналов в ПЗК, ПСК и ВК.

С другой стороны, в мультисенсорных процессах переработки информации принимает участие многосекундный диапазон, выполняющий другую роль и не дублирующий перестройки секундных волн. Многосекундные СМКП, по-видимому, связа-

ны с поддержанием необходимого уровня возбудимости (активации) нейронов различных отделов сенсорных систем (в том числе и высших корковых представительствах), а также с регуляцией уровня внимания при анализе и переработке сенсорных стимулов различных модальностей. Многосекундные волны СМКП также отражают модулирующие влияния стволовых ядер, нейромедиаторных центров [12] и структур лимбической системы [13] на первичные корковые представительства зрительной, слуховой и вкусовой сенсорных систем, а также процессы пластичности. В этой связи можно предположить связь динамики многосекундных волн СМКП в ПЗК, ПСК и ВК с характерными стимул-специфическими перестройками сенсорного внимания, моно-, би- и полисенсорного характера, что объясняет вовлеченность перестроек динамики многосекундных волн не только в мономодальные, но и в би- и мультисенсорные процессы переработки афферентной информации в ПЗК, ПСК и ВК.

Вместе с тем в ПЗК, ПСК и ВК при действии разных типов стимулов различной сенсорной модальности отсутствовали перестройки минутных волн, что объяснимо с позиций существующих представлений о связи минутных волн СМКП с процессами энергетического метаболизма (соотношением между уровнем дыхания и фосфорилирования) в ткани головного мозга [14]. Правомерно предположить, что динамика минутных волн отражает преимущественно процессы энергетического метаболизма и не связана с переработкой информации в сенсорных системах ЦНС.

В заключение следует упомянуть о необходимости дальнейших исследований СМКП в связи с их возможной диагностической значимостью в клинической практике. Например, для оценки течения компенсаторных процессов на уровне высших корковых представительствах сенсорных систем при нарушении или полной потере зрения, слуха или вкусового восприятия, что сопоставимо с мнением других авторов [15], рассматривающих необходимость расширения исследований частотных характеристик регистрируемой ЭЭГ. Поскольку отсутствие возможности регистрации при помощи стандартной методики ЭЭГ сверхмедленного диапазона частот головного мозга приводит к ситуации, когда физиологически значимые особенности активности головного мозга остаются без внимания [15].

Данная поисковая научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.».

Литература

1. Гусельников В.И., Изнак А.Ф. Ритмическая активность в сенсорных системах. М.: Изд-во МГУ, 1983. 214 с.
2. Филиппов И.В., Кребс А.А., Пугачев К.С. Сверхмедленная биоэлектрическая активность структур слуховой системы головного мозга // Сенсорные системы. 2006. Т. 20. №3. С. 238–244.

3. *Филиппов И.В.* Сверхмедленные колебания потенциалов латерального колленчатого тела и первичной зрительной коры как корреляты процессов переработки зрительной информации // Сенсорные системы. 2007. Т. 21. № 3. С. 165–173.
4. *Филиппов И.В., Кребс А.А., Пугачев К.С.* Сверхмедленные колебания потенциалов центральных представительств вкусовой системы головного мозга крыс при действии различных вкусовых стимулов // Сенсорные системы. 2008. Т. 22. №2. С. 162–174.
5. *Wallace M.T., Ramachandran R., Stein B.E.* A revised view of sensory cortical parcellation // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2004. Vol. 101. No. 7. P. 2167–2172.
6. *Collignon O., Voss P., Lassonde M., et al.* Cross-modal plasticity for the spatial processing of sounds in visually deprived subjects // Exp. Brain Res. 2009. Vol. 192. No. 3. P. 343–358.
7. *Swanson L.W.* Brain Maps: Structure of the Rat Brain // Second revised edition. Elsevier.: Amsterdam, 1998. 267 p.
8. *Ikeda A., Nagamine T., Yarita M., et al.* Reappraisal of the effect of electrode property on recording slow potentials // Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1998. Vol. 107. P. 59–63.
9. *Ebenezer I.S.* The generation of cortical slow potentials in the rat anaesthetized with urethane and their modification by nicotine // Neuropharmacol. 1986. Vol. 25. No.6. P. 639–643.
10. *Bullock T.H., McClune M.C., Achimowicz J.Z., et al.* Temporal fluctuations in coherence of brain waves // Procl. Natl. Acad. Sci. USA. 1995. Vol. 92. P. 11568-11572.
11. *Fadel P.J., Orer H.S., Barman S.M. et al.* Fractal properties of human muscle sympathetic nerve activity // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2004. Vol. 286. P. H1076-H1087.
12. *Кребс А.А., Пугачев К.С., Филиппов И.В. и др.* Нейромедиаторные центры в регуляции сверхмедленной биоэлектрической активности первичных корковых сенсорных представительств мозга // Ученые записки Санкт-Петербургского государственного медицинского университета. 2011. Т. 17. №2. С. 153–154.
13. *Пугачев К.С., Кребс А.А., Филиппов И.В. и др.* Миндалина модулирует сверхмедленную биоэлектрическую активность первичных корковых сенсорных представительств ЦНС // Ученые записки Санкт-Петербургского государственного медицинского университета. 2011. Т. 18. №2. С. 125–126.
14. *Бородкин Ю.С., Лапина И.А., Гоголицин Ю.М. и др.* Зависимость минутных сверхмедленных колебаний от уровня энергетического обмена в ткани головного мозга // Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова. 1979. Т. 65. № 3. С. 336–343.
15. *Vanhatalo S., Voipio J., Kaila K.* Full-band EEG (FbEEG): an emerging standard in electroencephalography // Clin. Neurophysiol. 2005. Vol. 116. P. 1–8.

Статья поступила в редакцию 24.06.2012.

УДК 550.93:552.321 (234.851)

U–Pb ВОЗРАСТ ПЛАГИОГРАНИТОВ МАЛЫКО (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

В.Л. АНДРЕИЧЕВ*, К.В. КУЛИКОВА*, А.Н. ЛАРИОНОВ**

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

***Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург*

andreichev@geo.komisc.ru, kulikova@geo.komisc.ru, Alexander_Larionov@vsegei.ru

Приводятся первые данные о возрасте плагиогранитов, распространенных в зоне развития метаморфизованных габброноритов мальковского комплекса. Он расположен в восточной части Хадатинского офиолитового массива на Полярном Урале. Конкордантный U–Pb возраст по пяти кристаллам циркона составляет 451 ± 14 млн. лет и фиксирует начало гранитообразования в Щучинской зоне. Эквивалентность U–Pb возраста плагиогранитов K–Ar возрасту амфиболитов (458 ± 24 млн. лет) подтверждает геологические данные об их одновременном образовании при амфиболитовом метаморфизме габброноритов.

Ключевые слова: цирконы, плагиограниты, SHRIMP, мальковский комплекс, Полярный Урал

V.L. ANDREICHEV, K.V. KULIKOVA, A.N. LARIONOV. U–PB AGE OF THE MALYSKY PLAGIOGRANITES (POLAR URALS)

First data on the age of plagiogranites spread in the zone of metamorphosed gabbro-norites of the Malysky Complex are given. It is located in the eastern part of the Hadatinsky Ophiolite Massif in the Polar Urals. The concordant U–Pb age of five zircon crystals is 451 ± 14 Ma and fixes the beginning of granite forming of the Schuchinskaya Zone. Equivalence of U–Pb age of the plagiogranites to K–Ar age of amphibolites (458 ± 24 Ma) confirms the geological data of their simultaneous generation due to amphibolite metamorphism of gabbro-norites.

Key words: zircons, plagiogranites, SHRIMP, Malysky Complex, Polar Urals

Щучинская структурно-формационная зона представляет собой самый северный фрагмент палеоокеанических и палеоостроводужных систем восточного склона Урала. В ее строении принимают участие породы офиолитовой ассоциации, слагающие массивы Харчерузь, Сыумкеу, Пусьерка и Няропэ, нередко объединяемые в Хадатинский массив, и расположенного к востоку от него вулканоплутонического пояса (рис. 1). Согласно геологическим данным, рассмотренным в работах [1–8] и многих других исследователей, общая схема распространения магматических образований с запада на восток выглядит следующим образом. Лерцолит-гарцбургитовый и дунит-гарцбургитовый комплексы маркируют зону Главного Уральского глубинного надвига. Восточная краевая часть массива представлена полосчатым дунит-верлит-клинопироксенитовым комплексом, контактирующим с габброидным комплексом, известным под названием мальковский [2]. Далее следуют среднепалеозойские вулканогенно-осадочные и интрузивные островодужные образования. На севере выделяется янганапэйский тоналит-гранодиоритовый комплекс, а в

южной части – юрмэнецкий габбро-гранитный. Эта латеральная последовательность с небольшими вариациями поддерживается практически всеми исследователями региона.

Существуют иные интерпретации Щучинской зоны, особенно для территории, занимаемой малькским комплексом. Так, В.Н. Охотников [9] выделяет здесь выступ кристаллического фундамента дорифейского возраста – Лаборовскую погребенную глыбу, структуры которой имеют не типичную по отношению к Уралу субширотную ориентировку, что впервые было отмечено В.А. Дедеевым [10]. Аналогичной точки зрения придерживаются В.А. Душин и А.В. Чурсин [11], рассматривая Щучинскую зону в качестве субкольцевого приподнятого блока дорифейского фундамента, осложненного внутренним прогибом.

Несмотря на длительную историю изучения базит-гипербазитовых комплексов Щучинской зоны их возраст до сих пор остается предметом дискуссий. Наиболее проблемным является малькский гнейсо-габброноритовый комплекс, рассматриваемый также как гранулит-метабазитовый [12] или габ-

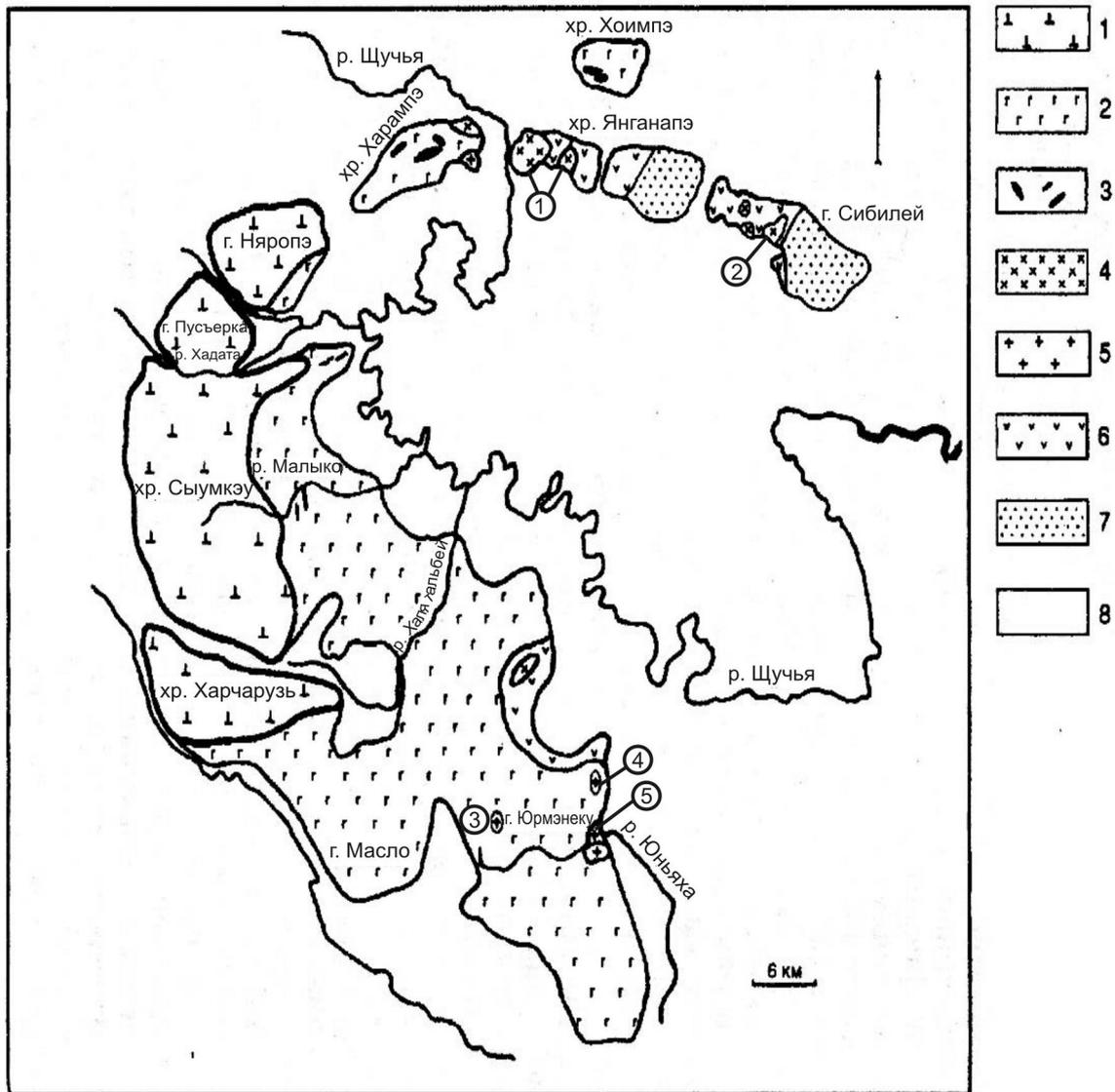


Рис. 1. Схема распространения магматических, метаморфических и осадочных пород Щучьинской зоны (по: [1] с дополнениями).

1 – гипербазиты; 2 – габбро, габбро-амфиболиты; 3 – плагиограниты Малько и Харампэ (вне масштаба); 4 – гранитоиды янганапэского комплекса; 5 – гранитоиды юрмэнекского комплекса; 6 – осадочно-вулканогенные отложения S_2-D_1 ; 7 – осадочные отложения D_2-C_1 ; 8 – четвертичные отложения. Цифры в кружках – гранитоидные массивы: 1 – Янганапэский, 2 – Сибилейский, 3 – Юрмэнекский, 4 – Харасавейский, 5 – Каньонный.

бро-амфиболитовый [13]. В его строении участвуют первично-магматические габбронориты, нориты, оливиновые, амфиболовые и гранатовые габбро, гнейсовидные и полосчатые апогаббровые гранатовые и цоизитовые амфиболиты. Всеми исследователями отмечается, что начальные метаморфические преобразования разгнейсованных двупироксеновых габброноритов соответствуют гранулитовой фации.

Суть проблемы состоит в том, что на возраст малькских габброидов и метаморфитов по ним имеются различные точки зрения. Существуют представления об их принадлежности к палеозойским [1 и др.] и рифейским [2] офиолитам, а также к кристаллическому фундаменту дорифейского воз-

раста [5, 14 и др.]. В отличие от амфиболитов, имеющих субмеридиональное (уральское) простирание, блоки габброноритов характеризуются субширотными ориентировками первичных структур, т.е. породы имеют разный возраст, на что впервые обратили внимание Н.П. Херасков и А.С. Перфильев [15]. Впоследствии это предположение подтвердилось при K-Ar датировании по породе в целом трех образцов в различной степени измененных габброноритов и амфиболита, отобранных на р. Малько (табл. 1). Возраст метаморфизованных габброноритов составил 1327–927 млн. лет, а гранатового амфиболита – 458 млн. лет.

По-видимому, эти данные в определенной мере послужили основанием считать малькские

Таблица 1

**Результаты K–Ar датирования пород
малыкского комплекса (по: [2])**

Образец	Порода	K, мас. %	⁴⁰ Ar _{град.} , нг/г	Возраст, млн.лет(±2σ)
133/73	Амфиболит гранатовый	0.10	3.61	458 (468±24)
256/73	Габбронорит амфиболитизированный	0.82	68.8	927 (951±27)
257/73	Габбронорит цоизитизированный	0.82	76.7	1007 (1035±80)
259/73	Габбронорит измененный	0.01	1.36	1328 (1350)

Примечание. Возрастные значения приведены в соответствие с международными константами распада и изотопной распространенностью калия: $\lambda_K = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$, $\lambda_B = 4.962 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$; $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167 \text{ атом. \%}$ [16]; в скобках указан возраст по цитируемому источнику.

габбронориты докембрийскими. Однако те исследователи, которые относят габброиды к мафитовой составляющей палеозойского(?) хадатинского офиолитового разреза, подвергают сомнению миллиардные датировки. Вероятная причина их нереальности связывается, например, с низким содержанием калия в породах [1]. Действительно, в одном образце габбронорита и амфиболите оно достигает лишь 0.1 мас. %, но в двух образцах габброноритов калий составляет 0.8 мас. % (табл. 1), и это содержание вряд ли можно считать низким, поэтому возрастные данные по ним могут быть вполне реальны. Не исключено, что удревнение обусловлено избыточным аргоном, присутствие которого в породах базит-ультрабазитового состава отмечалось неоднократно [17–22 и др.]. Но это предположения, поэтому достоверность K–Ar возрастов остается под вопросом.

В поле развития пород малыкского комплекса локализованы жилы и линзовидные тела практически всегда разгнейсованных и окварцованных гипостеновых, роговообманковых и биотитовых пла-

гиогранитов, представляющих собой наиболее ранние гранитные проявления в Щучьинской зоне. В большинстве случаев плагиограниты контактируют с цоизитовыми, иногда гранат-цоизитовыми амфиболитами. Простираение тел, гнейсовидность плагиогранитов согласуются с метаморфическими структурами вмещающих пород. По географическому принципу, вещественному составу и условиям образования они подразделяются на метаморфогенные плагиограниты р. Малыко и анатектические плагиограниты хр. Харампэ [1]. Их образование связывается с частичным плавлением габброидов при амфиболитовом метаморфизме, т.е. формирование амфиболитов и плагиогранитов происходило одновременно, по одному и тому же субстрату и не связано с офиолитами [23]. На основании K–Ar возраста амфиболита можно считать, что эти процессы происходили в позднем ордовике, но для более убедительной аргументации необходимы надежные изотопные данные. С этой целью были исследованы роговообманковые плагиограниты, залегающие среди гранат-цоизитовых амфиболитов на правом берегу среднего течения р. Малыко.

Породы имеют бежево-сероватый цвет, гнейсовидную текстуру, мелко-среднезернистую структуру. Состоят из плагиоклаза и кварца в переменных количествах, темноцветные минералы (6 об. %) представлены роговой обманкой, эпидотом, клиноцоизитом, титаномагнетитом, титанитом, актинолитом, хлоритом. Под микроскопом прослеживается микрополосчатость за счет развития тонких зон мелкозернистого гранулированного кварца (рис. 2). Полосы пронизывают неравномернозернистый аллотриоморфный плагиоклазовый матрикс. Плагиоклаз по углу взаимного погасания двойников соответствует олигоклазу и формирует зерна таблитчатой формы. Размер табличек варьирует от мелких 0.3–0.4 мм до более крупных 1.2–1.5 мм, преобладает размерность 0.6–0.8 мм. Роговая обманка, эпидот и клиноцоизит формируют гипидиоморфнозернистые призматически-удлиненные кристаллы до 0.2–0.5 мм, часто наблюдаются ромбовидные

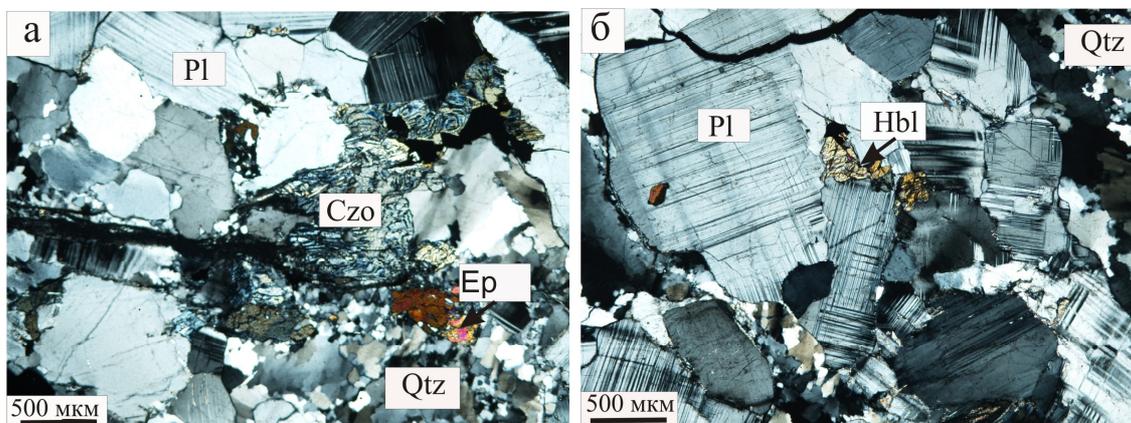


Рис. 2. Мелко-среднезернистая структура плагиогранитов Малыко. а) гранулированный кварц (Qtz) в аллотриоморфном агрегате плагиоклаза (Pl) с редкими гипидиоморфными зернами клиноцоизита (Czo) и эпидота (Ep); б) мелкие гипидиоморфные кристаллы роговой обманки (Hbl) в лейкократовом кварц-плагиоклазовом матриксе. Микрофото с поляризатором.

сечения кристаллов. Характерен четкий плеохроизм от темно-зеленого до зелено-желтого. Роговая обманка частично хлоритизирована.

Породы являются умеренно натровыми и низкоглиноземистыми разновидностями (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав (мас. %), концентрации и изотопный состав Rb и Sr в плагиогранитах Малыко

Компоненты	Образец			
	325/1	325/3	327/3	327/5
SiO ₂	72.54	74.10	71.08	74.48
TiO ₂	0.26	0.29	0.38	0.28
Al ₂ O ₃	14.43	13.68	13.55	13.09
Fe ₂ O ₃	1.42	1.42	2.85	1.67
FeO	1.57	1.31	0.87	1.02
MnO	0.08	0.08	0.05	0.06
MgO	0.99	0.77	0.88	0.88
CaO	4.95	4.43	4.69	4.49
Na ₂ O	2.48	3.29	3.32	2.81
K ₂ O	0.05	0.03	0.09	0.04
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.07	0.05
П.п.п.	0.86	0.65	1.78	1.02
Сумма	99.68	100.11	99.61	99.89
Rb, мкг/г	0.64	0.31	0.25	0.19
Sr, мкг/г	293.8	272.3	256.5	264.8
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	0.0063	0.0033	0.0028	0.0020
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr±2σ	0.70432±10	0.70388±10	0.70410±16	0.70398±6

Примечания. 1. Определение содержаний петрогенных оксидов выполнено силикатным анализом (аналитик Р.Г. Малыхина). 2. Определение содержаний Rb и Sr производилось из одной навески методом изотопного разбавления с использованием трассеров ⁸⁷Rb и ⁸⁴Sr. После полного разложения проб при температуре ~120 °С смесью плавиковой и хлорной кислот в специальных тефлоновых бюксах выделение концентратов Rb и Sr осуществлялось методом элюентной хроматографии на колонках с внутренним диаметром 7 мм, заполненных 5 см³ смолы DOWEX 50 × 8 крупностью 200–400 меш. В качестве элюента использовалась 2N HCl. Уровень лабораторного фона по Rb и Sr не превышал 2.0 и 0.5 нг соответственно. Измерения изотопного состава Rb и Sr выполнялись на масс-спектрометре МИ-1201Т однолучевым методом в двухленточном режиме ионизации с использованием предварительно отожженных от мешающих примесей ренийевых лент. Измеренные изотопные отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr нормировались к величине ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr = 0.1194. Коррекция на фракционирование не производилась, на период измерений величина ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в изотопном стандарте стронция SRM-987 составила по 12 анализам 0.71023 ± 6 (2σ). Погрешность изотопных отношений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr приводится в последних знаках. Аналитики: А.Г. Сажина и А.Ф. Литвиненко.

На диагностической диаграмме О`Коннора для гранитоидов точки составов пород попадают в поле тоналитов.

Определение возраста плагиогранитов на основании Rb–Sr изотопной систематики практически невозможно. Низкие содержания Rb, составляющие десятые доли мкг/г, и, как следствие, чрезвычайно узкий диапазон изотопных отношений (табл. 2), не позволяют провести их графическую (изохронную) интерпретацию, т.е. установить возраст. Из-за содержания Rb изотопный состав Sr характеризуется

незначительной радиогенной составляющей, поэтому измеренные изотопные отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (0.70388–0.70432) можно рассматривать в качестве изотопных меток субстрата, которые указывают на его мантийное происхождение.

U–Pb изотопные исследования производились по единичным зернам циркона. Предварительная подготовка пробы заключалась в ее дроблении вручную в стальной ступе до размера –0.25 мм, промывке в проточной воде до серого шлиха, из которого выделялась тяжелая фракция, а из нее при помощи оптического микроскопа производился отбор цирконов. Кристаллы помещались в эпоксидную матрицу совместно со стандартными цирконами 91500 и TEMORA, шлифовались примерно до половины толщины и полировались. Внутренняя структура изучалась на сканирующем электронном микроскопе CamScan MX2500 с катодолюминесцентной системой CLI/QUA2, Bentham с целью выбора участка для локального изотопного анализа.

Цирконы имеют субидiomорфный облик, грани призм плоские, изредка слегка неровные, пирамидальные окончания зерен округлые. Кристаллы прозрачные, бледно-розовые. Редкие включения отмечаются лишь в единичных цирконах, где они, вероятно, трассируют поверхность границы ядра или другой неоднородности. Минеральных включений оптическая микроскопия не обнаруживает. Катодолюминесценция цирконов (рис. 3) показывает наличие в кристаллах концентрической и секториальной зональности роста, причем границы секторов зигзагообразные.

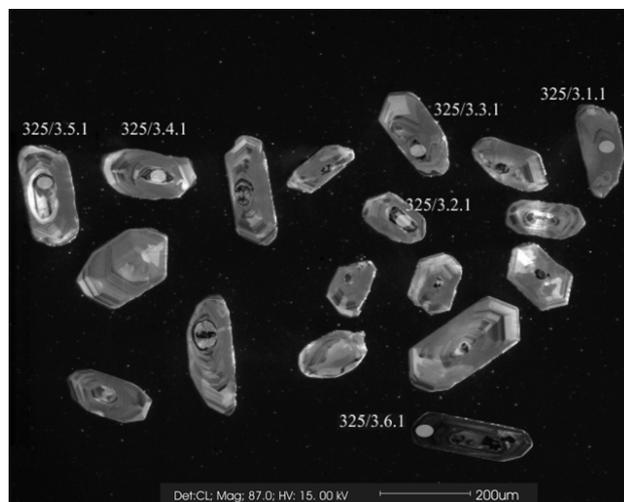


Рис. 3. Катодолюминесцентное изображение цирконов с номерами датированных зерен. Светлые эллипсы показывают расположение аналитических точек.

Измерение изотопных отношений производилось на вторично-ионном масс-спектрометре SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) согласно процедуре, рассмотренной в работах [24, 25]. Полученные аналитические данные обрабатывались с использованием программы SQUID [26]. Pb/U (²⁰⁶Pb/²³⁸U и ²⁰⁷Pb/²³⁵U) изотопные отношения нормализовались

относительно величины $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 0.0668$ в стандартном цирконе TEMORA, эквивалентной возрасту 416.75 млн лет [27], а также по циркону 91500, используемому как стандарт концентрации $\text{U} = 81.2$ мкг/г и имеющему $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст, равный 1062 млн. лет [28]. Построение диаграммы Аренса-Везерилла в координатах $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ производилось по программе ISOPLOT/Ex [29].

Проанализировано шесть зерен циркона (табл. 3). Во всех зернах по Pb/U изотопным отношениям зафиксированы сопоставимые значения

ям, а возрасты по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ можно не принимать во внимание. Это связано с более крутым наклоном конкордии в области палеозойских, а также неопротерозойских (позднерифейских) возрастов, где незначительное отклонение координат фигуративной точки от конкордии вызывает существенное увеличение или уменьшение возраста по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, тогда как возрасты по Pb/U изотопным отношениям характеризуются дискордантностью в разумных пределах (D^{**} в табл. 3). Кроме того, для палеозойских объектов отмечается

Таблица 3

Результаты U–Pb изотопных исследований цирконов из плагиогранита (обр. 325/3)

Зерно, кратер	$^{206}\text{Pb}_c$, %	Содержание, мкг/г			$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	Возраст, млн лет ($\pm 1\sigma$)			D^* , %	D^{**} , %
		$^{206}\text{Pb}^*$	U	Th		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		
325/3.1.1	0.49	3.05	50	11	0.23	438±14	450±33	512±190	17	3
325/3.2.1	0.35	10.6	169	42	0.26	453±9	430±17	311±94	-31	-5
325/3.3.1	0.47	11.2	181	55	0.32	448±9	418±17	256±100	-43	-7
325/3.4.1	–	4.75	77	46	0.62	452±10	490±17	674±80	49	8
325/3.5.1	–	3.92	61	36	0.60	463±11	463±20	462±100	0	0
325/3.6.1	0.53	37.1	762	788	1.07	354±7	349±10	316±62	-11	-1
Зерно, кратер	Изотопные отношения $\pm\%$ (1σ)						Rho			
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$							
325/3.1.1	0.0575±8.5	0.0703±3.3	0.558±9.1				0.36			
325/3.2.1	0.0526±4.1	0.0728±2.1	0.528±4.6				0.45			
325/3.3.1	0.0513±4.4	0.0719±2.1	0.509±4.9				0.43			
325/3.4.1	0.0620±3.7	0.0726±2.3	0.620±4.4				0.52			
325/3.5.1	0.0562±4.7	0.0745±2.4	0.578±5.3				0.45			
325/3.6.1	0.0527±2.7	0.0564±1.9	0.410±3.3				0.58			

Примечания. 1. Ошибка в калибровке стандарта составляет 0.67. 2. $^{206}\text{Pb}_c$ и $^{206}\text{Pb}^*$ указывают содержания обыкновенного и радиогенного свинца, соответственно. $^{206}\text{Pb}_c$ исправлен на измеренный ^{204}Pb . 3. Не обнаружено. 4. D – дискордантность: $D^* = 100 \times \{[\text{возраст} (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{U})] / [\text{возраст} (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})] - 1\}$; $D^{**} = 100 \times \{[\text{возраст} (^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})] / [\text{возраст} (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})] - 1\}$. 4. Rho – коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$.

возраста, в большинстве случаев существенно отличающиеся от возрастов по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Об этом достаточно отчетливо свидетельствует параметр дискордантности, показывающий степень расхождения возрастов по различным изотопным отношениям, т.е. отклонение координат фигуративных точек (центров эллипсов погрешностей) от конкордии на диаграмме Аренса-Везерилла. Как правило, расчет дискордантности производится между возрастными по изотопным отношениям $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (D^* в табл. 3). Положительная величина говорит о более древнем $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрасте, следовательно, фигуративная точка находится ниже конкордии и наоборот.

Таким образом, на основании этого параметра возрастные значения являются конкордантными только по одному зерну. В других зернах дискордантность достигает значительных величин, что дает повод усомниться в достоверности полученных результатов. Однако расчет дискордантности по изотопным отношениям $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ в большей степени применим к докембрийским возрастам, а для объективной оценки палеозойских возрастов следует ориентироваться на дискордантность возрастов по Pb/U изотопным отноше-

ниям более высокая надежность возраста по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ [30], так как преобладающим изотопом урана является ^{238}U (99.2743 атом. % [33]), и небольшие потери ^{206}Pb не приводят к значительным изменениям возраста.

Изотопные отношения в центральных частях пяти зерен циркона, в которых содержание U составляет 50–181 мкг/г, Th – 11–55 мкг/г, а Th/U отношение изменяется от 0.23 до 0.6, образуют кластер с возрастом 451±14 млн. лет (рис. 4), практически совпадающим с K–Ar возрастом амфиболита. В зерне 325/3.6.1 анализировалась краевая часть, и в результате по всем изотопным отношениям получены более молодые значения возраста в интервале 354–316 млн. лет. По-видимому, они отражают самые поздние изменения пород, возможно окварцевание. Характерно, что в этом зерне наблюдается резкое увеличение содержания U (762 мкг/г) и Th (788 мкг/г), а Th/U отношение повышается до 1.07.

Результаты U–Pb локального датирования цирконов подтвердили правомочность K–Ar возраста амфиболита с низким содержанием калия, что дает основание принимать во внимание и миллиардные возрасты по габброноритам с «высоким» содержанием калия, которые соответствуют, скорее всего, не возрасту пород, а времени их метамор-

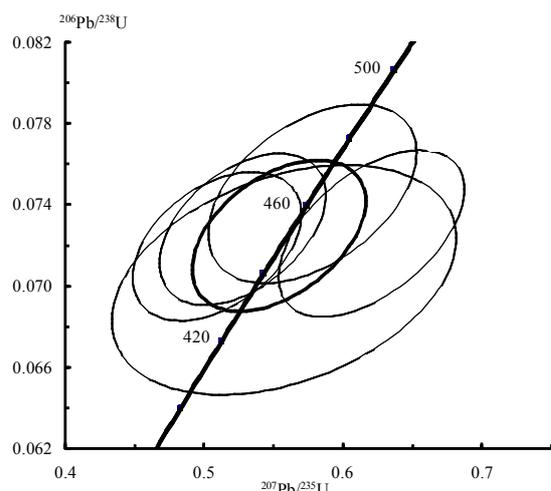


Рис. 4. U–Pb диаграмма с конкордией для цирконов из плагиогранита. Координаты точек – центры эллипсов погрешностей (2σ). Жирным выделен эллипс, по которому рассчитан конкордантный возраст 451 ± 14 млн. лет (2σ). СКВО конкордантности = 0.21. Вероятность конкордантности = 0.65.

фических преобразований. Но тогда образование габброидов происходило в донеопротерозойское время. Ориентиром может служить U–Pb (SHRIMP-II) возраст цирконов из кварцсодержащих габброамфиболитов [31]. При графической интерпретации изотопных отношений по 18-ти локальным зонам по верхнему пересечению дискордии с конкордией был получен возраст 2736 ± 42 млн. лет, интерпретируемый как возраст эдукта, а преобладающее количество $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ датировок в диапазоне 525–800 млн. лет связывается с более поздними процессами в эволюции габброидов. Древний возраст цирконов не всегда соответствует возрасту вмещающей породы, но в данном случае он подтверждается Sm–Nd модельной датировкой 2694 млн. лет, установленной по валовому составу пробы, из которой датировались цирконы.

Наличие этих данных ставит под сомнение включение малькских габброидов в состав хадатинской офиолитовой ассоциации, поскольку Sm–Nd изохронный возраст пород и минералов Сыумкеуского гипербазитового массива составляет 604 ± 39 млн. лет [8] и подтверждает мнение исследователей [2, 5] о том, что гипербазиты Сыумкеу надвинуты на габброиды малькского комплекса.

Таким образом, в результате U–Pb датирования цирконов из плагиогранитов, секущих метаморфизованные габброиды малькского комплекса, установлено время начала гранитообразования в Щучьинской зоне. Возраст цирконов составляет 451 ± 14 млн. лет, что отвечает позднему ордовики. Островодужный гранитоидный магматизм проявился позднее и дискретно. U–Pb (SHRIMP-II) возраст цирконов из гранитов Янганапэйского массива составляет 435 ± 5 млн. лет, Юрмэнекского массива – 387 ± 3 млн. лет и Каньонного массива – 372 ± 3 млн. лет [32]. Возраст малькских плагиогранитов экви-

валентен K–Ar возрасту вмещающих их амфиболитов и подтверждает представления о синхронном формировании пород в ходе амфиболитового метаморфизма габброноритов. Совокупность имеющихся изотопных данных по метаморфизованным габброидам с определенной долей условности может служить указанием на донеопротерозойский(?) возраст малькского комплекса. Локализация в палеоокеаническом секторе позволяет рассматривать его как фрагмент литосферной плиты восточного обрамления Уральской складчато-надвиговой системы, включенный в нее в результате аккреционно-коллизийных процессов.

Исследования выполнены в рамках интеграционного проекта РАН № 12-С-5-1024 «Субсинхронное формирование разнотипных гранитоидов: петрогенез, природа источников магм, геодинамика».

Литература

1. Костюхин М.Н., Ремизов Д.Н. Петрология офиолитов Хадатинского габбро-гипербазитового массива (Полярный Урал). СПб.: Наука, 1995. 118 с.
2. Добрецов Н.Л., Молдаванцев Ю.Е., Казак А.П. и др. Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). Новосибирск: Наука, 1977. 222 с.
3. Кашинцев Г.Л., Кузнецов И.Е., Рудник Г.Б. Основные закономерности формирования ряда ультраосновных массивов Урала // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1977. Т. 52. Вып. 4. С. 9–19.
4. Макеев А.Б., Перевозчиков Б.В., Афанасьев А.К. Хромитоносность Полярного Урала. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1985. 152 с.
5. Шмелев В.Р. Гипербазиты массива Сыум-Кеу (Полярный Урал): Структура, петрология, динамометаморфизм. Препринт. Екатеринбург: УрО АН СССР, 1991. 79 с.
6. Ефимов А.А., Потапова Т.А. Малькская габбро-норит-эндербитовая серия в габбровом фундаменте Щучьинского синклиория (Полярный Урал) // Ежегодник–1995. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1996. С. 82–85.
7. Куренков С.А., Диденко А.Н., Симонов В.А. Геодинамика палеоспрединга. М.: ГЕОС, 2002. 294 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 490).
8. Гурская Л.И., Смелова Л.В. Платинометальное минералообразование и строение массива Сыум-Кеу (Полярный Урал) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 4. С. 353–371.
9. Охотников В.Н. Гранитоиды и рудообразование (Полярный Урал). Л.: Наука, 1985. 184 с.
10. Дедеев В.А. Взаимоотношения Полярного Урала с соседними складчатými областями // Геологический сборник 3. Л., 1958. С. 371–399. (Тр. ВНИГРИ. Вып. 126).
11. Душин В.А., Чурсин А.В. Магматизм и глубинное строение Полярного Урала // Петрография на рубеже XXI века: итоги и пер-

- спективы: Материалы Второго Всероссийского петрографического совещания. Т. IV. Сыктывкар, 2000. С. 54–55.
12. *Запорожцева И.В., Пыстин А.М.* Строеие дофанерозойской литосферы европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
 13. *Душин В.А.* Магматизм и геодинамика палеоконтинентального сектора севера Урала. М.: Недра, 1997. 213 с.
 14. *Молдаваницев Ю.Е.* Ассоциации плутонитов и метаморфитов зоны Главного Уральского глубинного разлома в связи с проблемой формирования земной коры // Проблемы петрологии Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. С. 3–18.
 15. *Херасков Н.П., Перфильев А.С.* Основные особенности геосинклинальных структур Урала // Проблемы региональной тектоники СССР. М.: Наука, 1963. С. 35–63.
 16. *Steiger R.H., Jäger E.* Subcomission on geochronology: convention on the use decay constants in geo- and cosmochronology // Earth and Planet. Sci. Lett. 1977. Vol. 36. P. 359–362.
 17. *Андреичев В.Л.* Изотопная геохронология доуралид Приполярного Урала. Сыктывкар, 1999. 48 с. (Сер. сообщ. «Научные доклады» Коми НЦ УрО РАН. Вып. 413).
 18. *Герлинг Э.К., Шуколюков Ю.А., Кольцова Т.В., Матвеева И.И.* Определение возраста основных пород по К–Ar методу // Геохимия. 1962. № 11. С. 931–937.
 19. *Морозова И.М., Спрингсон В.Д., Шуркина Л.К.* О распределении избыточного аргона в минералах основных и ультраосновных пород (Мончегорский плутон и массив габбро-норитов-лабрадоритов Монче-Чуна-Волчьих тундр) // Развитие и применение методов ядерной геохронологии. Л.: Наука, 1976. С. 122–152.
 20. *Dooley R.E., Wampler J.M.* Potassium-argon relations in diabase dices of Georgia – the influence of excess ⁴⁰Ar on the geochronology of early mesozoic and tectonic events // Geol. Surv. Profess. Pap. 1983. № 1313. P. 1–24.
 21. *Hebeda E.H., Boelrijk N.A.J.M., Priem H.N.A. et al.* Excess radiogenic argon in the precambrian avanavero dolerite in Western Suriname (South America) // Earth and Planet. Sci. Lett. 1973. V. 20. P. 189–200.
 22. *Kaneoka I.* Investigation of excess argon in ultramafic rocks from the Kola Peninsula by the ⁴⁰Ar/³⁹Ar method // Earth and Planet. Sci. Lett. 1974. Vol. 22. P. 145–156.
 23. *Ремизов Д.Н.* Гранитоидный магматизм Щучьинского района Полярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 111 с.
 24. *Ireland T.R.* Ion microprobe mass-spectrometry: Techniques and applications in cosmochemistry, and geochronology // Advances in analytical geochemistry. 1995. Vol. 2. P. 1–118.
 25. *Larionov A.N., Andreichev V.L., Gee D.G.* The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U–Pb zircon ages of gabbros and syenite // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / D.G. Gee, V. Pease (eds). Geol. Soc. Memoir. No. 30. London, 2004. P. 69–74.
 26. *Ludwig K.R.* SQUID 1.02 – A User's manual // Berkeley Geochronology Center, Special Publication. No. 4. 2001. 19 p.
 27. *Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M. et al.* TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology // Chem. Geol. 2003. Vol. 200. P. 155–170.
 28. *Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F. et al.* Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trase element and REE analyses // Geostandards Newsletter. 1995. Vol. 19. P. 1–23.
 29. *Ludwig K.R.* User's Manual for Isoplot 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center, Special Publication. No. 4. 2003. 74 p.
 30. *Борисова Е.Ю., Бибикова Е.В., Доброженецкая Л.Ф., Макаров В.А.* Геохронологическое изучение циркона гранито-гнейсов Кокчетавского алмазоносного района // Докл. РАН. 1995. Т. 343. № 6. С. 801–805.
 31. *Душин В.А., Бурмако П.Л., Ронкин Ю.Л., Шишкин М.А.* Состав и новые возрастные датировки метагабброидов малыкского комплекса на Полярном Урале // Структурно-вещественные комплексы и проблемы геодинамики докембрия фанерозойских орогенов. Материалы Международной научной конференции (III Чтения памяти С.Н. Иванова). Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2008. С. 27–29.
 32. *Андреичев В.Л., Ларионов А.Н.* Rb–Sr и U–Pb данные о возрасте гранитоидного магматизма Щучьинской островодужной системы Полярного Урала // Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности: Материалы Всероссийской научной конференции. Тюмень; Новосибирск, 2008. С. 7–8.

Статья поступила в редакцию 17.09.2012.

УДК 552.333.4: [551.734 + 551.736] (234.82)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ПОРОД ГАББРО-ДОЛЕРИТОВОГО КОМПЛЕКСА ПАЙХОЙСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ (РОССИЯ, НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

Р.И. ШАЙБЕКОВ

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

Циркон является хорошо известным и широко используемым геохронометром, в частности, благодаря своей устойчивости и способности удерживать радиогенный свинец при высокотемпературном метаморфизме. В 70–80-х гг. XX в. главными определяющими признаками в установлении возрастной принадлежности центральнопайхойского комплекса были приняты структурные взаимоотношения пород и некоторые цифры калий-аргоновых датировок (радиологический возраст (K-Ar) от 249 ± 11 до 455 ± 25 млн. лет [1, 2], от 268 ± 24 до 382 ± 20 млн. лет [3]), взаимоотношения магматических образований друг с другом, а также с вмещающими, нередко палеонтологически охарактеризованными толщами. Новые данные, полученные в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, позволили выяснить наиболее вероятный возрастной интервал центральнопайхойского долеритового комплекса.

Ключевые слова: габбро-долериты, Пай-Хой, возраст, цирконы, U-Pb датирование

R.I. SHAYBEKOV. NEW DATA ON THE AGE OF ROCKS OF THE GABBRO-DOLERITE COMPLEX IN THE PAI-KHOI ANTICLINORIUM (NENETS AUTONOMOUS DISTRICT, NENETS AUTONOMOUS DISTRICT)

Zircon is a well-known and widely used geochronometer, in particular, owing to its stability and ability to keep radiogenic lead during high-temperature metamorphism. In the 1970–80s of the 20th century, structural relationship between rocks and some figures of potassium-argon datings (radiological age (K-Ar) from 249 ± 11 up to 455 ± 25 million years [1, 2], and from 268 ± 24 up to 382 ± 20 million years [3]), relationship of magmatic formations with each other, and also with containing, frequently paleontologically characterized rock masses were considered to be the main attributes in defining the complex age. New data obtained in the Center of Isotopic Research VSEGEI allowed to find out the most probable age interval of the central Pai-Khoi dolerite complex equal to 369.8 ± 2.27 million years.

Key words: gabbro-dolerites, Pai-Khoi, age, zircons, U-Pb dating

Введение

Изучение возраста базальтоидов представляет интерес не только в связи с тем, что полученные геохронологические датировки помогут уточнить возраст формирования Пайхойского антиклинория, но и установить время формирования связанной с ними благороднометалльной сульфидно-медно-никелевой минерализации, которая имеет не только минералогическое, но и промышленное значение.

Исследования по изотопному датированию, отраженные в данной статье, были получены в 2005 г. и по существу являлись первой попыткой определения возраста габбро-долеритов Пайхойского антиклинория по цирконам с использованием U-Pb метода (SHRIMP II) [4].

Геолого-петрографическая характеристика района

Центральная часть Пайхойского антиклинория отличается широким развитием магматических пород основного состава, с которыми пространственно и генетически связаны многочисленные медно-никелевые рудопроявления. Базальтоиды характеризуются близкими геологическими, петрохимическими и металлогеническими особенностями и поэтому объединяются в единый комплекс, называемый хенгурским [1, 2, 5, 6].

Тела хенгурского долеритового комплекса тянутся вдоль осевой зоны Пайхойского антиклинория от р. Силова-Яха на востоке до Югорского Шара на западе. Протяженность области развития до-

леритов более 200 км, ширина 20–35 км. Всего установлено около 400 тел долеритов. Выходы их группируются на юго-западном крыле антиклинория. Фундамент пояса имеет неоднородное строение и характеризуется серией гравитационных ступеней.

Форма долеритовых тел в большинстве случаев пластовая (силлы), они, как правило, интенсивно дислоцированы вместе с вмещающими породами и участвуют в строении крупных брахискладок (центральная зона) или образуют со вмещающими породами запрокинутые, в основном на северо-восток, изоклиналильные складки на крыльях антиклинория. Широко проявляется дизъюнктивная нарушенность тел, которые, как правило, разбиты на блоки крупными субширотными и субмеридиональными разломами и рассечены многочисленными трещинами скола. Только в некоторых телах отмечаются элементы несогласия (полого секущие контакты, хонолитобразная форма). Размеры тел различные: их мощность колеблется от 1–1.5 до 150–200 м, протяженность от 100 м до 15–17 км.

Хенгурский комплекс является доскладчатым, так как антиклинорий сформировался в период герцинского орогенеза [7, 8], т.е. интрузивные тела габбро-долеритов были смяты в складки вместе с вмещающими палеозойскими толщами. Вмещающие породы – от нижнего ордовика (хенгурская серия) до среднего девона (падейская свита). Наибольшее количество тел приурочено к отложениям ордовика.

Интрузивные породы габбро-долеритового комплекса по степени дифференцированности разделяются на три типа: недифференцированные, дифференцированные и полндифференцированные. Макроскопически габбро-долериты представляют собой разности (от тонко- до крупнокристаллических и пегматоидных) массивных пород от темно-зеленого до темно-серого цвета. Они сложены преимущественно плагиоклазом и моноклинным пироксеном с участием незначительного количества кварца, биотита и роговой обманки. Вторичными минералами являются хлорит, серицит, альбит, серпентин, эпидот, актинолит, роговая обманка, мусковит, карбонат. В качестве аксессуарных минералов присутствуют титанит, лейкоксен, рудные минералы.

Объект исследования

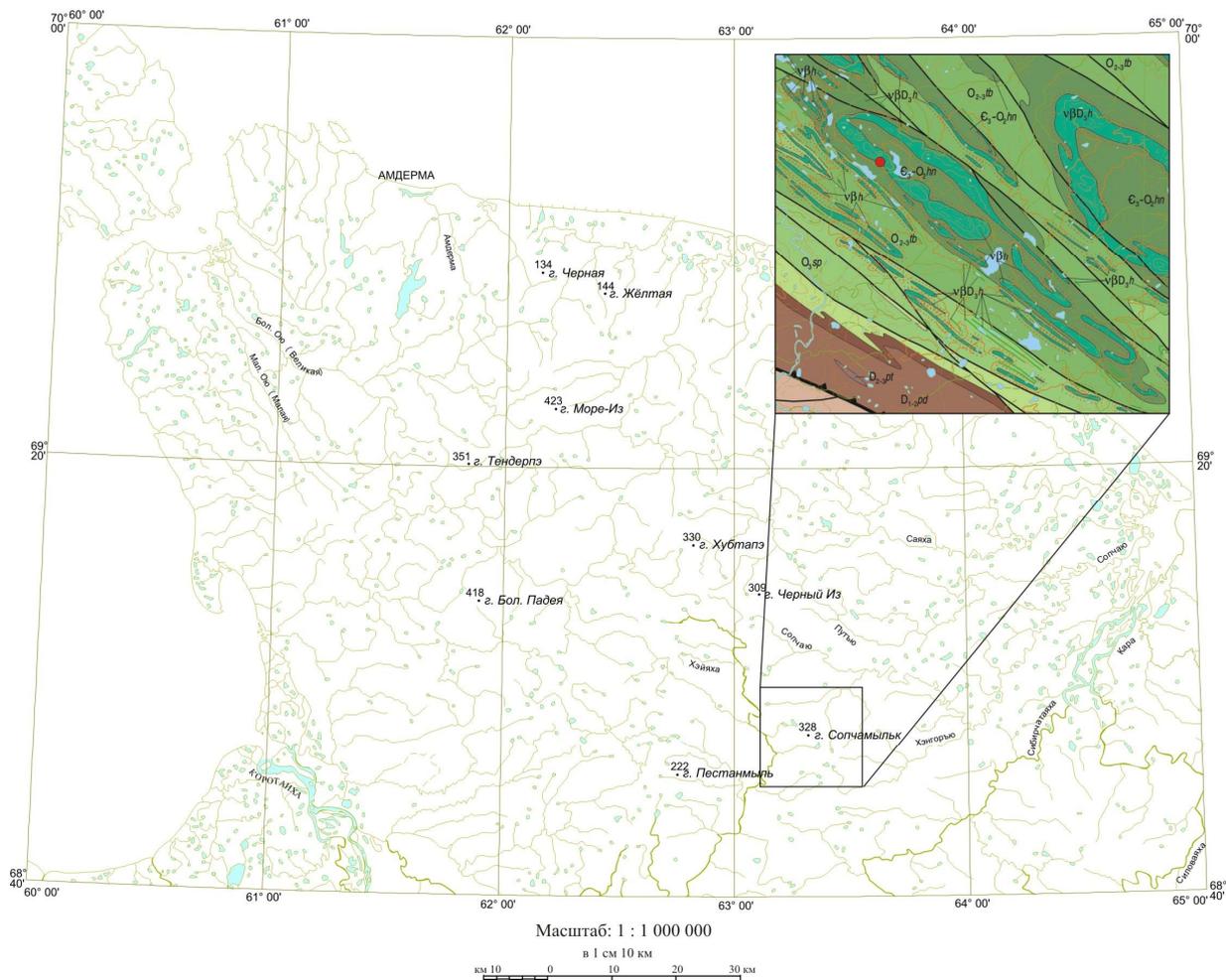
Объектом является интрузивное тело, находящееся в центральной части Пайхойского антиклинория в междуречье рек Хенгорью и Хэйяха (рис. 1). Оно представляет собой полого залегающее гравитационно-дифференцированное расщепленное магматическое тело, вероятно, являющееся частью единого кольцевого образования длиной около 5 км и шириной более 1 км. Тело приурочено к крупной антиклинальной складке и залегает в наиболее древних слоях ордовика согласно с вмещающими глинисто-известково-кремнистыми сланцами. В экзоконтактах развиты мощные зоны рого-

виков. Интрузия сильно дислоцирована, в ней проявлена постмагматическая дизъюнктивная тектоника. В составе интрузии выявлены следующие разновидности долеритов: контактовые тонко- и мелкокристаллические, пегматитовидные, порфиоровые, пикритовые, среднекристаллические, крупнокристаллические. В мелко-, средне- и крупнокристаллических долеритах встречается обильная вкрапленность пирротина и халькопирита, неравномерно распределенная по всему разрезу, а также шлиры пирротин-халькопиритового состава диаметром до 2.5 см. Порода, из которой была отобрана геохронологическая проба, представлена крупнокристаллическим мезо-лейкократовым кварцевым и кварцсодержащим пегматитовым габбро-долеритом с размером зерен более 3 мм. Он отличается значительной вариацией минерального состава (об. %): клинопироксен – 25–45, ортопироксен – 5–10, плагиоклаз – 40–60, роговая обманка и биотит – ед. зерна, рудные минералы – 2–7, кварц и микропегматитовый агрегат – 5–15. Клинопироксен (авгит) представлен призматическими кристаллами размером от 1.5 до 5–6 мм, трещиноватыми, замутненными, частично амфиболизованными. Ортопироксен образует изометричные кристаллы, полностью хлоритизированные, тремолитизированные, реже оталькованные. Плагиоклаз наблюдается в крупных призматических кристаллах. По плагиоклазу развивается серицит, цоизит, реже эпидот, в некоторых случаях установлены реликты полисинтетических двойников. Кварц представлен в микрографических срастаниях с плагиоклазом, размер сростков достигает 1.5–2 мм. Иногда встречаются крупные (2.5×3 мм) ксеноморфные зерна плагиоклаза, часто с волнистым «пламевидным» погасанием. Рудные минералы (магнетит, ильменит) образуют мирмекитовые формы, выделяясь по спайности и на периферии индивидов пироксенов. В ассоциации с рудными минералами встречается светло-бурый биотит. Отобранная непосредственно для анализа порода по химическому и нормативному составу отвечает долерит-пикродолеритам.

Методика выделения цирконов и U-Pb датирования

Для изотопного исследования была отобрана проба из крупнокристаллических габбро-долеритов с сульфидной медно-никелевой минерализацией, объемом 10 кг, из которых в лаборатории технологической минералогии и обработки камня Карельского научного центра было выделено более 3 тыс. зерен циркона.

U-Pb датирование цирконов проведено на вторично-ионном микрозонде высокого разрешения (SHRIMP-II, аналитик А.Н.Ларионов) в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург). Зерна цирконов (в количестве 10 штук) вместе с зернами цирконовых стандартов Temoга 91500 и SL13 были имплантированы в шайбу диаметром 25 мм из эпоксидной смолы Epopix, сошлифованы абразивом до поло-



Условные обозначения к карте-врезке

- D_{1v}** **Ливановская свита.** Известняки петельчатые с тентакулитами, с прослоями карбонатно-кремнисто-глинистых сланцев, в верхней части толстоплитчатые с детритом.
- D_{2pd}** **Падейская свита.** Песчаники черные кварцевые, сланцы кремнисто-глинистые, силициты, прослои известняков, линзы мanganокarbonатов и баритов.
- D_{2pl}** **Путьюская свита.** Ленточнослоистые серые карбонатно-кремнисто-глинистые и черно-темно-серые углеродисто-кремнисто-глинистые сланцы. Редкие линзы и прослои известняков.
- D_{1-Csb}** **Сибирчатаяяхинская толща.** Ритмичное переслаивание кремнистых известняков, известняков с линзами кремней, прослоев черных кремней. Пласты известняковых конглобрекций, пакки глинистых марганцовистых известняков в нижней части.
- O_{2sp}** **Сопчинская свита.** Ритмичное переслаивание известняков кремнистых, детритовых, глинистых, петельчатых и сланцев глинисто-кремнистых, кремнисто-глинистых.
- O_{2tb}** **Тальбейтывиивская свита.** Ритмичное переслаивание известковистых песчаников, алевролитов, песчаных известняков, кремнисто-глинистых сланцев. Локально — базальты, туфолавы.
- E-O_{2hn}** **Хенгурская толща.** Сланцы глинисто-кремнистые, кремнисто-глинистые и их углеродистые разности. Редкие прослои известняков. Локально развиты базальты, туфолавы, песчаники и алевролиты кварцевые, олигомиктовые, полимиктовые; гравелиты, конгломераты; прослои алевросланцев и углеродисто-глинистых сланцев.
- vβD_{1h} / vβh** **Хенгурский (центральнопайхойский) комплекс габбро-долеритовый.** Габбро-долериты, пикро-долериты, долериты.

Геологические границы (а — установленные, б — предполагаемые):

а — согласного залегания и интрузивные контакты

Разрывные нарушения, выходящие на картографируемую поверхность:

Шарьяжи главные, достоверные

Разломы

Место отбора пробы на возраст

Изогипсы рельефа

основные

промежуточные



Контур карты-врезки

Реки

Роговики

Рис. 1. Место отбора геохронологической пробы с картой-врезкой (фрагмент листа R-41-XXXIV масштаба 1:200 000, ЗАО «Поляргео», г. Санкт-Петербург, 2011).

вины толщины зерна, отполированы и напылены золотом. Затем с помощью сканирующего электронного микроскопа (CamScan MX2500 с катодолюминесцентной системой CLI/QUA2, Bentham) были получены катодолюминесцентные, что позволило, вкупе с оптическими (в проходящем и отраженном свете) изображениями, выбрать подходящие, с точки зрения методологии датирования, координаты точек локального микрозондового исследования в пределах изучаемых кристаллов циркона. Исследовались, по возможности, наименее измененные разности долеритов из различных частей пайхойского габбро-долеритового комплекса.

Измерения U-Pb отношений проведены по методике, описанной в статье [9]. Интенсивность первичного пучка отрицательно заряженных ионов кислорода составляла 5 нА, диаметр пятна (кратера) – 25 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась с использованием программы SQUID [10]. U-Pb отношения нормализовались на значение 0.0668, приписанное стандартному циркону Temora, что соответствует возрасту этого циркона 416.75 млн. лет [11]. Погрешности единичных анализов (отношений и возрастов) приводятся на уровне 1σ, погрешности вычисленных конкордантных возрастов — на уровне 2σ. При построении графиков с конкордией использовалась программа ISOPLOT/EX [12].

Результаты U-Pb датирования

Большинство цирконов имеют гипидиоморфный или идиоморфный – призматический или короткопризматический – облик и удлинение 3:1. Присутствуют также обломки и изометричные кристаллы с округлыми гранями. Обычно цирконы бесцветные, прозрачные с редкими трещинами. В них присутствуют расплавные и флюидальные включения различной формы и размеров. Нередко наблюдается приповерхностное изменение цирконов, что выражается в изменении окраски, потере прозрач-

ности и неровностях поверхности. Цирконы, имеющие призматический и короткопризматический габитус, характеризуются секториальной, реже осцилляционной зональностью с различными соотношениями и размерами зон и их комбинаций.

Результаты проведенных геохронологических измерений приведены в табл. 1 и на рис. 2,3.

Определение U-Pb возраста произведено в 10 зернах. Содержания U, Th, Pb в цирконах рассматриваемой пробы сильно варьируются в пределах соответственно (мкг/г) 41–1596, 41–3079, 1.35–73.9. Самый молодой возраст (237.2 ± 7.1 млн. лет) был получен для идиоморфного короткопризматического циркона с секториальной зональностью и признаками локальной перекристаллизации на гранях кристалла. Зерно характеризуется минимальным для данной пробы отношением $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ (1.03).

Цирконы с возрастными значениями от 343.2 ± 2.2 до 331.7 ± 1.6 млн. лет представлены пятью зернами, которые образуют конкордантный возрастной кластер со средним значением 336.2 ± 2.14 млн. лет. Все эти зерна имеют значения $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ в пределах от 1.19 до 1.99. Они различаются морфологией и типом зональности, варьируясь от незональных бесформенных обломков до идиоморфных кристаллов с тонкой магматической зональностью. В некоторых зернах наблюдается размытие первичной осцилляционной зональности, превращающейся в широкополосную. Учитывая, что в некоторых измерениях значения ^{206}Pb оказались завышенными, полученный возраст, вероятно, следует считать омоложенным, возможно, в результате метаморфизма.

Цирконы с возрастными значениями от 370.3 ± 2.3 до 368.1 ± 1.7 млн. лет формируют третью группу из четырех зерен, которые образуют конкордантный возрастной кластер со средним значением 369.8 ± 2.27 млн. лет. Зерна этой группы характеризуются короткопризматической идиоморфной фор-

Таблица 1

Результаты U-Pb – изотопных исследований цирконов из долеритов

№ кристалла	$^{206}\text{Pb}_{\text{с}}$, %	Содержание, мкг/г			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	Изотопные отношения		Коэф. корреляции	Возраст, млн. лет		D, %
		U	$^{206}\text{Pb}^*$	Th		$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm \%$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
1	0.13	566	28.7	753	1.37	0.05904 ± 0.66	0.439 ± 2.4	0.269	369.8 ± 2.4	368 ± 53	0
2	0.09	1311	66.6	2156	1.70	0.05904 ± 0.46	0.4391 ± 1.6	0.290	369.8 ± 1.7	368 ± 35	0
3	1.19	537	27.5	835	1.61	0.05892 ± 0.75	0.44 ± 5.8	0.131	369.1 ± 2.7	376 ± 130	2
4	0.36	635	32.4	801	1.30	0.05912 ± 0.64	0.441 ± 2.9	0.219	370.3 ± 2.3	376 ± 65	2
5	0.21	1403	63.8	2371	1.75	0.0528 ± 0.49	0.3908 ± 2.3	0.213	331.7 ± 1.6	358 ± 51	8
6	1.92	1596	73.9	3079	1.99	0.05285 ± 0.59	0.388 ± 8.1	0.073	332 ± 1.9	341 ± 180	3
7	0.13	1073	49.5	1237	1.19	0.05364 ± 0.59	0.3946 ± 2.1	0.290	336.9 ± 2	344 ± 44	2
8	1.77	554	26	702	1.31	0.0537 ± 0.92	0.397 ± 7.5	0.123	337.2 ± 3	353 ± 170	5
9	0.17	918	43.2	1339	1.51	0.05467 ± 0.65	0.4048 ± 2.1	0.303	343.2 ± 2.2	359 ± 46	4
10	2.28	41	1.35	41	1.03	0.0375 ± 3.1	0.265 ± 24	0.128	237.2 ± 7.1	257 ± 550	8

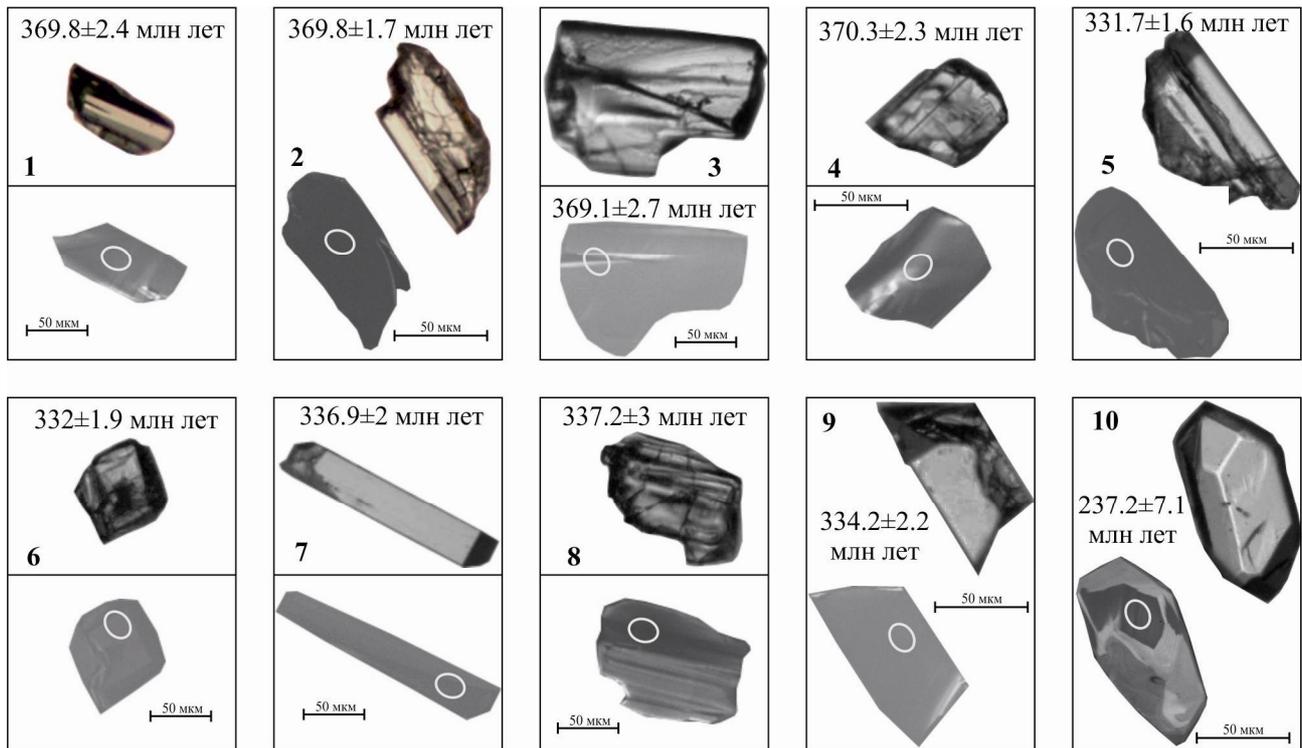


Рис. 2. Оптические (в проходящем свете) и катодолуминесцентные изображения зерен циркона.

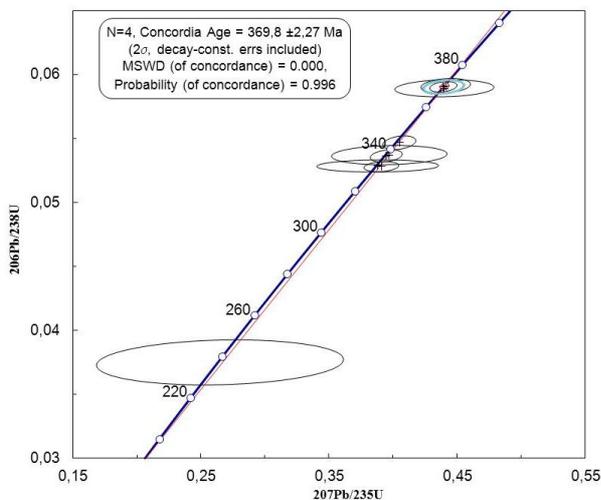


Рис. 3. U-Pb-диаграмма с конкордией для цирконов из габбро-долеритового тела, г. Сопчамыльк. $t=369.8 \pm 2.27$ млн. лет (2σ); СКВО конкордности – 0,000; вероятность конкордатности – 0,996. Координаты точек – центры эллипсов погрешностей.

мой, несут следы перекристаллизации, выражающейся в частичном размытии первичной осцилляционной магматической зональности. Для них характерны соотношения $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} > 1$.

Обобщение полученных данных позволяет сделать следующие заключения. Возрастные датировки в пределах от 368.1 ± 1.7 до 370.3 ± 2.3 млн. лет соответствуют позднему девону. Часть значений группируется в диапазоне от 331.7 ± 1.6 до 343.2 ± 2.2 млн. лет, соответствуя раннему карбону, значение 237.2 ± 7.1 млн. лет отвечает позднему триасу, т.е.

отмечается принадлежность к позднетриасовому-позднедевонскому возрастным интервалам.

В каждом образце циркона центральной части комплекса наблюдается преобразование вещества циркона – полное или частичное стирание первичной зональности, перекристаллизация, тонкие новообразованные каймы. Величины $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ имеют разброс в пределах 1.03–1.99, который отражает, как предполагается, метаморфическую перекристаллизацию магматического циркона [13].

Обсуждение результатов и выводы

Как уже упоминалось выше, возраст магматитов хенгурского комплекса определялся по структурным взаимоотношениям пород и изотопным калий-аргоновым датировкам. В результате предыдущими исследователями были получены следующие возрастные датировки: 455 ± 25 – 249 ± 11 млн. лет [1, 2, 6, 14]; 382 ± 20 – 268 ± 24 млн. лет [15]; 382 ± 2 – 344 ± 2 млн. лет [16]; 362 – 200 млн. лет [17] – для недифференцированных тел и 294 ± 12 – 268 ± 24 млн. лет [1] – для дифференцированных; методом сравнительной дисперсии двупреломления по моноклинным пироксенам получены цифры: 344, 363, 387, 434 ± 15 млн. лет [15, 18].

Значительный разброс датировок, полученные Н.П. Юшкиным по восьми образцам калий-аргоновым методом [1], объяснялся метаморфогенным перераспределением аргона, поскольку геологические данные противоречили идее о полихронности здесь базальтоидного магматизма, больше согласуясь с выводами об однократном его проявлении в ходе герцинского орогенеза.

Тем не менее, рядом авторов [12, 20, 24] предполагалась гетерохронность (полихронность) хенгурского комплекса с вероятностью его подразделения на разновозрастные фазы, что неоднократно выдвигалось в опубликованных работах. В частности, Б.А. Остащенко [6] получил для пайхойских габбро-долеритов изотопные калий-аргоновые датировки в интервале 314–294 млн. лет, что вполне соответствовало предложенной им гипотезе магматических импульсов. В кандидатской диссертации О.В. Заборин [15] упоминал, что по данным палеомагнитных исследований (по заключению А.Г. Комарова, ВСЕГЕИ), хенгурский комплекс имеет ориентировочно додевонский возраст («не моложе силура»). В.И. Устрицкий [21] в районе Карской губы была обнаружена дайка, залегающая в пермских отложениях, не отличающаяся по химическому составу от пород хенгурского комплекса. По этой причине время образования упомянутой дайки им было отнесено к перми. Этим же автором [22] отмечалось, что еще О. Л. Эйнором на р. Силова были выявлены базальтоиды в верхней перми. В. И. Устрицкий подтвердил эти данные собственными находками долеритов среди нижнепермских отложений, которые по химическому составу ничем не отличались от уже известных. На основе всех этих данных В. И. Устрицкий предположил, что на Центральном Пай-Хое существуют две фазы внедрения пластовых интрузий – среднедевонская и позднепермская.

Исходя из вышеописанного, интервал внедрения интрузий хенгурского комплекса охватывает промежуток от верхнего ордовика до нижнего триаса. По последним же существующим схемам возраст габбро-долеритового комплекса считался позднедевонско-раннекаменноугольным [23, 24].

Полученные конкордантные U-Pb датировки цирконов из габбро-долеритов хенгурского комплекса [4], локализованных в палеозойских отложениях, согласуются с ранее полученными данными, а также с геологическим строением района, и по нашим данным его значение равно 369.8 ± 2.27 млн. лет, попадая в интервал позднего девона.

Позднее, по цирконам (U/Pb метод, SHRIMP-II) [25, 25] для дифференцированных и недифференцированных тел, локализованных в отложениях нижнего-среднего ордовика для рудопроявления «Участок Первый», были получены датировки 374.6 ± 2.0 млн. лет и 381.4 ± 2.0 млн. лет (ранее данные, полученные калий-аргоновым методом для этого объекта, разнились на 80 млн. лет [17, с.124–125], попадающие в интервал франского яруса позднего девона. Исходя из этого, авторами делается вывод о том, что «время внедрения силлов хорошо коррелируется с эпохой излияния оливиновых базальтов на о. Новая Земля (рейская свита нижнего франа) и верхнедевонским костиншарским габбро-долеритовым комплексом Новой Земли и эпохой кимберлитового магматизма Зимнего Берега».

Все эти цифры очень хорошо согласуются между собой как по изотопным U-Pb датировкам, так и по геологическим данным и, вероятнее всего, являются незначительно омоложенными в результате процессов метаморфизма и их возраст можно считать, с большой вероятностью, верхнедевонским.

Полученные данные являются уникальными, которые подтверждают и дополняют многие вышеописанные факты, связанные с магматизмом и временем внедрения интрузивных тел в поздне-среднеордовикские отложения на Центральном Пай-Хое.

Автор выражает благодарность академику Н.П. Юшкину за ценные советы при подготовке данной статьи, к.г.-м.н. С.К. Кузнецову за критику и замечания, к.г.-м.н. В.Л. Андричеву за хорошие рекомендации, сотруднику ЦИИ ВСЕГЕИ А.Н. Ларионову за помощь при анализе цирконов и профессиональные советы.

Работа выполнена при поддержке НШ-1310.2012.5, проекта УрО и ДВО РАН №12-С-5-1006, проекта 12-5-6-016-АРКТИКА.

Литература

1. Юшкин Н.П., Давыдов В.П., Остащенко Б.А. Магматические образования Центрального Пай-Хоя и металлогенические особенности // Вопросы петрографии севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1972. С. 3–34. (Труды Института геологии Коми филиала АН СССР; Вып. 17).
2. Юшкин Н.П. Опыт среднемасштабной топоминералогии. Пайхойско-Южноновоземельская минералогическая провинция. Л.: Наука, 1980. 376 с.
3. Заборин О.В. Геолого-петрографические особенности дифференцированных силлов Пай-Хоя // Магматизм и металлогения Северо-Востока европейской части СССР и севера Урала. Сыктывкар, 1978. Т. 5. С. 31–35.
4. Шайбеков Р.И. Долеритовое тело (Сопча) Центрального Пай-Хоя и его датирование с использованием U-Pb метода (SHRIMP II) // Третья Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2006. С. 246–248.
5. Заборин О.В. Диабазовая формация Пай-Хоя // Магматизм, метаморфизм и металлогения Севера Урала и Пай-Хоя. Сыктывкар, 1972. С. 41–42.
6. Остащенко Б.А. Петрология и оруденение центральнопайхойского базальтоидного комплекса. Л.: Наука, 1979. 113 с.
7. Беляков Л.Н. Тектоника Полярного Урала в свете новых данных // Метаморфизм и тектоника западных зон Урала. Свердловск, 1984.
8. Устрицкий В.И. О соотношении Урала, Пай-Хоя, Новой Земли и Таймыра // Геотектоника. 1985. №1. С. 51–61.

9. *Willams I.S.* U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe / Application in microanalytical technigues to under mineralizing processes. *Rev. Econom. Geology*. 1998. Vol. 7. P. 1–35.
10. *Ludwig K.R.* SQUID 1.13a. A User`s manual // A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2005 a. 22 p.
11. *Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M. et al.* TEMORA 1: a new zircon standard for U-Pb geochronology // *Chem. Geol.*, 2003, Vol. 200. P. 155–170.
12. *Ludwig K.R.* User`s manual for ISOPLOT/EX 3.22. // Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2005 b. 71 p.
13. *Rubatto D., Hermann J.* Experimental zircon/melt and zircon/garnet trace element partitioning and implications for the geochronology of crustal rocks // *Chemical Geology*, 2007. Vol. 241. P. 38–61.
14. *Фишман М.В., Андреев В.Л., Естафьева А.Д.* Каталог определений возраста горных пород СССР радиологическими методами (Северо-Восток европейской части СССР, север Урала, Пай-Хой, Новая Земля). Сыктывкар: Ин-т геологии Коми фил. АН СССР, 1981. 181 с. Деп. в ВИНТИ. № 531–82.
15. *Заборин О.В.* Основные магматические породы Центрального Пай-Хоя (Югорский полуостров): Диссертация на соискание ученой степени к.г.-м.н. Воркута, 1975. 254 с. (Коми территориально-геологический фонд – Коми ТГФ).
16. *Мащак М.С., Езерский В.А., Масайтис В.Л., и Селивановская Т.Л.* Геолого-петрографическое и минералогическое изучение измененных пород Карской структуры в связи с оценкой ее перспектив на полезные ископаемые. Окончательный отчет по теме А-IV/(5) 44-3/20 (в двух томах). Т. I / Мин-во геологии СССР, ВСЕГЕИ. Л., 1979. 293 с.
17. *Жуков Ю.В., Заборин О.Л., Маршанский И.И.* Геологическое строение территории листов R-41-103-B (в,г); R-41-103-Г(в,г); R-41-104-B(в,г); R-41-104-Г(в,г); R-41-116-Г(а,б); R-41-117-A(в,г); R-41-117- B(в,г); R-41-117-B(а,б); R-41-117-Г(а,б); R-41-118-B(а,б); Геол-фонд ГПП «Поляруралгеология», 1971.
18. *Маслов М.А., Костюкова Л.А.* Магматические формации Севера Урала и Пай-Хоя. Воркута, 1977. 548 с. (Коми ТГФ).
19. *Аведисян В.И., Лямин А.З., Рубцов А.И. и др.* Отчет по теме: “Обобщение геофизических материалов, изучение глубинного строения Пай-Хоя с целью выработки рекомендаций по прогнозированию площадей, перспективных на медно-никелевое оруденение”. Воркута, 1987. 315 с. (Коми ТГФ).
20. *Микляев А.С. и др.* Геологическое доизучение масштаба 1:50000 Кара-Силовской площади на территории листов R-41-118-A (в, г), Б (в, г), В, Г; 119-B, Г; 130-A (а, б), Б (а, б) с общими поисками. Текст отчета. Воркута, 1998. (Коми ТГФ).
21. *Устрицкий В.И.* Геологическое строение Центрального Пай-Хоя: Отчет о полевых работах партии №2 эксп. №59 за 1951 г. Текст отчета. Ленинград, 1952. (Коми ТГФ).
22. *Устрицкий В.И.* Геологическое строение междуречья Сопча – Саа-Яха (Центральный Пай-Хой). Текст отчета. Ленинград, 1951. (Коми ТГФ).
23. *Государственная геологическая карта Российской Федерации.* Масштаб 1:1000 000 (новая серия). Лист R-(40)-42-о. Вайгач – пов Ямал. Объяснительная записка / Под ред. Л.Л. Подсосова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 357с. (МПР России, ВСЕГЕИ, ЗапСибГеоНац, ВНИИОкеангеология).
24. *Микляев А.С., Пухонто С.К., Афанасьева Т.А.* Легенда Госгеолкарты-200 Вайгачско-Пайхойской серии листов (издание второе). Отчет по объекту: «Подготовка материалов к легенде Ново-Земельской серии листов Госгеолкарты-200». 1999. 78 с. (Коми ТГФ).
25. *Шишкин М.А., Шкарубо С.И., Маркина Н.М. и др.* Основные итоги создания комплексной Государственной геологической карты м-ба 1:1000000 (3-е поколение) листа R-41 (Амдерма) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. С. 183–185.
26. *Шкарубо С.И., Шишкин М.А., Маркина Н.М. и др.* Создание комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:1000 000 листа R-41. Отчет о выполнении работ по Государственному контракту № 03/03/12-17., Морская арктическая геологоразведочная экспедиция (ОАО МАГЭ). Пай-Хой, Печорская низменность, Карское море. Лист R-41, 2008.

Статья поступила в редакцию 3.10.2012.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 533.9

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В ПЛАЗМЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА АЗОТОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ

А.В. КАНЫГИН*, В.О. НЕКУЧАЕВ**, В.С. СУХОМЛИНОВ*

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

**Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

prima-ivs@mail.ru

Работа посвящена теоретическому исследованию распространения акустических волн в плазме самостоятельного газового разряда. Особое внимание уделено плазме азотосодержащих газов и, в частности, воздуха. Получено и решено уравнение распространения звука в такой среде. Обнаружено, что зависимости коэффициента усиления звука при распространении волны вдоль вектора электрического поля в плазме от частоты звука и безразмерного параметра энерговклада носят немонотонный характер. Результаты расчетов согласуются с известными экспериментальными данными других авторов.

Ключевые слова: Рэлеевский механизм, распространение звука, коэффициент усиления звука, безразмерный параметр энерговклада

A.V. KANYGIN, V.O. NEKUCHAEV, V.S. SUKHOMLINOV. **SOUND PROPAGATION IN GAS DISCHARGE PLASMA OF GASES WITH NITROGEN IMPURITY**

The paper deals with theoretical research of propagation of acoustic waves in gas discharge plasma. Special attention is given to plasma of gases with nitrogen impurity and, in particular, air. The equation of sound propagation in such environment is obtained and solved. It is found that dependence of amplification of sound factor from sound frequency and dimensionless parameter of power input at propagation of wave along electric field vector in plasma has nonmonotonic character. Results of calculations are in good agreement with known experimental data of other authors.

Key words: Rayleigh energy release mechanism, sound propagation, amplification of sound factor, dimensionless parameter of energy addition

В последнее время наблюдается интерес к исследованиям различных гидродинамических явлений в плазме газового разряда. Это, в частности, связано с применением плазмы в аэродинамических и аэрокосмических приложениях [1, 2]. Эксперименты показывают, что прохождение звуковой волной плазменных образований может приводить к значительному изменению ее амплитуды [3, 4].

На наш взгляд, проблема взаимодействия акустических волн с плазмой молекулярных газов при таких условиях исследована недостаточно полно, особенно при значительном энерговкладе. Большинство работ по этой тематике посвящено изучению распространения акустических волн в плазме инертных газов при сравнительно малых энерговкладах [4]. В работе [5] теоретически рассматривалось взаимодействие акустических волн с плазмой молекулярных газов в условиях, когда время колебательной релаксации много больше периода колебаний. В то же время при значительных энер-

говкладах в плазму, например, в воздухе, а также для низких частот порядка сотен Гц возможно обратное соотношение времени колебательной релаксации и периода колебаний. В свою очередь следует отметить, что у разных авторов по измерениям коэффициента усиления акустических колебаний в плазме азота и воздуха среди результатов имеются расхождения в несколько раз [4, 6].

Одним из основных выводов о механизмах взаимодействия акустических колебаний с плазмой самостоятельного разряда, сделанным авторами цитируемых работ, является то, что главную роль, по-видимому, играет, так называемый, Рэлеевский механизм [4, 7]. Суть его состоит в том, что если в среде с тепловыделением мощность объемного источника тепла зависит от плотности среды, то в такой среде будут наблюдаться усиление или ослабление звуковой волны в зависимости от сдвига фаз между пространственными зависимостями плотности среды и тепловыделением в волне. При

этом, если электрическое поле в плазме и волновой вектор ортогональны, то волна будет ослабляться, если коллинеарны – то усиливаться [4, 8]. Нами рассмотрено взаимодействие плоской звуковой волны с неограниченной плазмой газового ряда в одномерной постановке. При этом исследован и случай молекулярных газов.

Вывод и решение уравнения распространения акустических колебаний в упругой среде с Рэлеевским механизмом тепловыделения

Будем полагать, что в отсутствии звуковой волны Рэлеевская среда представляет собой газ без объемных источников тепла, нагретый до некоторой температуры. Наличие звуковой волны приводит к неоднородности газа, что, в свою очередь, ведет к появлению тепловыделения. Пусть в единице объема газа выделяется мощность $Q(x, t)$, где x, t – координата и время соответственно. Предположим также, что данная мощность в явном виде зависит только от плотности газа ρ , что соответствует Рэлеевскому механизму влияния среды на акустическую волну. Используя нестационарную одномерную систему уравнений Эйлера, можно получить уравнение распространения звуковой волны в однородном газе с тепловыделением, зависящим от плотности:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - a_0^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right\} = (\gamma - 1) a_0^2 \rho \left. \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где a_0 – скорость распространения возмущений бесконечно малой амплитуды; U – массовая скорость, вдоль которой распространяется волна; $g = \frac{Q}{\gamma P_0}$; ρ_0, P_0 – плотность и давление газа в отсутствии волны. Как видно, это уравнение третьего порядка, в отличие от обычного волнового уравнения второго порядка. При этом, как можно показать, при выполнении условия

$$\left| \frac{\partial U}{\partial t} \right| \gg \left| (\gamma - 1) a_0^2 \left. \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} \int_0^t \frac{\partial \rho}{\partial x} dt' \right|, \quad (1a)$$

т.е. при малом тепловыделении, уравнение (1) эквивалентно

$$a_0^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - (\gamma - 1) \rho_0 \left. \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (2)$$

с точностью до величин первого порядка малости по $\left. \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0}$. Введем пока произвольные параметры ω_0, k_0 , имеющие размерности c^{-1} и cm^{-1} , соответственно, и удовлетворяющие соотношению

$\frac{\omega_0}{k_0} = a_0$. Тогда уравнение (1) можно переписать в

виде:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left\{ \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right\} = 2b \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}, \quad (3)$$

где $\tau = \omega_0 t$; $z = k_0 x$ – безразмерные время и координата, соответственно;

$$b = \frac{\gamma - 1}{2} \frac{\rho_0}{\omega_0} \left. \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0}. \quad (4)$$

Уравнение (3) в этих переменных имеет вид

$$\frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 2b \frac{\partial U}{\partial \tau}. \quad (5)$$

Отметим, что условие применимости уравнения (5) для гармонической волны можно переписать в ином виде:

$$v_0 \gg 2v_g, \quad (6)$$

где $v_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$; $v_g = \left. \frac{(\gamma - 1)\rho_0}{2} \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0}$ – частота нагрева [4].

Нетрудно убедиться непосредственной подстановкой, что частным решением уравнения (3) является:

$$U(x, t) = \exp[(\beta + i\mu)\tau - iz], \quad (7)$$

где β, μ – некоторые параметры и $\text{Im} \beta = \text{Im} \mu = 0$. Поскольку уравнение (3) является линейным, то общее его решение есть сумма частных решений. Коэффициенты этого разложения находятся из начальных и граничных условий известными методами [9].

Таким образом, достаточно найти решение для случая гармонической волны. Подставляя (7) в (5) и приравнявая мнимые и реальные части получившегося равенства к нулю, получим:

$$\begin{cases} \beta^3 - 3\mu^2\beta + \beta + 2b = 0 \\ \mu(-\mu^2 + 3\beta^2 + 1) = 0 \end{cases}. \quad (8)$$

Система уравнений (8) имеет два типа решений:

$$\begin{cases} \mu^2 = 1 + 3\beta^2 \\ 4\beta^3 + \beta - b = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \mu = 0 \\ \beta^3 + \beta + 2b = 0 \end{cases}. \quad (10)$$

Очевидно, что решение (9) соответствует бегущей волне с амплитудой, зависящей от времени, решение (10) – стоячей волне с амплитудой, зависящей от времени.

Рассмотрим решение системы (9). Поскольку по определению $\text{Im} \mu = \text{Im} \beta = 0$, то, используя формулы Кардано [9], имеем:

$$\mu = \pm \sqrt{1 + 3\beta^2}, \beta = \mathbf{A} + \mathbf{B}$$

$$\mathbf{A} = \frac{\left(\mathbf{b} + \sqrt{\mathbf{b}^2 + \frac{1}{27}} \right)^{\frac{1}{3}}}{2}; \quad (11)$$

$$\mathbf{B} = \frac{\left(\mathbf{b} - \sqrt{\mathbf{b}^2 + \frac{1}{27}} \right)^{\frac{1}{3}}}{2}$$

Различные знаки у параметра μ соответствуют волнам, бегущим в прямом и обратном направлениях, при этом знак величины β совпадает со знаком параметра b . Формулы (11) для параметра β имеют следующую асимптотику:

$$\beta|_{b \rightarrow 0} \Rightarrow b; \quad \beta|_{b \rightarrow \infty} \Rightarrow \left(\frac{b}{4} \right)^{\frac{1}{3}}.$$

Аналогичным способом можно получить, что уравнение (5) имеет решение в виде бегущей волны (7) с параметрами:

$$\begin{cases} \mu_1 = \pm \sqrt{1 + 3b^2} \\ \beta_1 = b \end{cases}. \quad (12)$$

Вторая из формул (12) тождественно совпадает с формулами, полученными в работах [5, 10]. Как мы видели ранее, они верны только при выполнении неравенства (6). В общем же случае следует пользоваться формулами (11).

Можно показать, что решение уравнения (3), соответствующее системе (10), не имеет физического смысла.

Вычисление параметра b для плазмы воздуха и азота

Как следует из определения величины b , поставленная задача сводится к расчету величины

$$\left. \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} = \frac{1}{\gamma P_0} \left. \frac{dQ}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0}, \text{ где } Q - \text{изменение количества}$$

тепла, выделяющегося в единице объема плазмы за секунду из-за наличия звуковой волны.

Известно, что в плазме азота и воздуха в рассматриваемых условиях практически вся энергия электронов расходуется на возбуждение колебательных степеней свободы молекул азота, которые затем релаксируют по колебательным состояниям в результате $V - T$ процессов или на стенках, ограничивающих объем плазмы [11]. В соответствии с этим предположим, что в некоторый момент времени $\tau = 0$ однородная плазма обладает плотностью ρ_0 , в плазме существует стационарное распределение молекул азота по колебательным состояниям; энергия, накопленная в колебательных состояниях, равна ε_{VT0} , и время $V - T$

релаксации – τ_{VT0} . Пусть при $\tau > 0$ плотность плазмы начинает меняться по некоторому закону $\rho = \rho(\tau)$, что вызывает изменения мощности тепловыделения и времени $V - T$ релаксации $\tau_{VT}(\rho)$. Тогда уравнение для энергии, накопленной в колебательных состояниях ε_{VT} , запишется в виде

$$\frac{d\varepsilon_{VT}}{d\tau} + \frac{\varepsilon_{VT}}{\tau_{VT}(\rho(\tau))\omega_0} = \frac{g_H(\rho(\tau))}{\omega_0}. \quad (13)$$

Здесь $g_H(\rho(\tau))$ – объемная плотность мощности закачки энергии в колебательные состояния молекул азота в единицах $\rho_0 a_0^2 = \gamma P_0$; ε_{VT} измеряется также в этих единицах.

При этом очевидно, что искомое изменение мощности тепловыделения g и величина ε_{VT} связаны соотношением:

$$g = \frac{\varepsilon_{VT}}{\tau_{VT}} - \frac{\varepsilon_{VT0}}{\tau_{VT0}}. \quad (14)$$

Используя то, что в звуковой волне отклонения параметров газа от средних значений малы, получаем решение дифференциального уравнения (13) с начальными условиями $\varepsilon_{VT}|_{\tau=0} = \varepsilon_{VT0}$ [9]:

$$\varepsilon_{VT}(\tau) = \exp \left\{ -\frac{1}{\omega_0} \int_0^\tau \frac{d\tau'}{\tau_{VT}} \right\} \left\{ \varepsilon_{VT0} + \frac{1}{\omega_0} \int_0^\tau \exp \left\{ \frac{1}{\omega_0} \int_0^{\tau'} \frac{d\tau''}{\tau_{VT}} \right\} g_H(\tau') d\tau' \right\} \quad (15)$$

При условии, что амплитуда звуковой волны такова, что выполняется неравенство

$$\frac{2\pi}{\omega_0 \tau_{VT0}} \left| \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right| \ll 1, \quad (16)$$

с использованием малости амплитуды звуковой волны можно получить следующий результат:

$$g(\tau) = \frac{\varepsilon_{VT}}{\tau_{VT}} - \frac{\varepsilon_{VT0}}{\tau_{VT0}} = -g_{H0} \frac{1}{\tau_{VT0}} \left. \frac{d\tau_{VT}}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} (\rho - \rho_0) + \frac{g_{H0}}{\omega_0 \tau_{VT0}} \exp \left\{ -\frac{\tau}{\omega_0 \tau_{VT0}} \right\} \times \int_0^\tau (\rho - \rho_0) \exp \left\{ \frac{\tau'}{\omega_0 \tau_{VT0}} \right\} d\tau' \left[\frac{1}{\tau_{VT0}} \left. \frac{d\tau_{VT}}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} + \frac{1}{g_{H0}} \left. \frac{dg_H}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} \right]. \quad (17)$$

Отсюда видно, что для молекул газа предположение о том, что функция $g(\tau)$ в явном виде зависит

только от $\rho(\tau)$, строго говоря, выполняется только в следующих случаях:

1) если $\omega_0 \tau_{VT0} \gg 1$, тогда

$$g(\rho) \approx -g_{H0} \frac{1}{\tau_{VT0}} \frac{d\tau_{VT}}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} (\rho - \rho_0), \quad (18)$$

2) если $\frac{2\pi}{\omega_0 \tau_{VT0}} \gg 1$, то $\exp\left(\frac{\tau}{\omega_0 \tau_{VT0}}\right)$ – быстро

меняющаяся функция по сравнению с $\rho - \rho_0$, и

$$g(\rho) \approx \frac{dg_H}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} (\rho - \rho_0). \quad (19)$$

В промежуточных случаях $g(\tau)$ зависит в явном виде не только от $\rho(\tau)$, но и от τ , и, таким образом, уравнение распространения звуковой волны будет содержать член, пропорциональный $\frac{\partial g(\rho(\tau), \tau)}{\partial \tau} \Big|_{\rho=const}$. Поскольку, как легко видеть,

функция $g(\tau)$, определяемая формулой (17), является монотонной функцией параметра $\omega_0 \tau_{VT0}$, то с достаточной степенью точности можно пользоваться любой интерполяционной формулой, которая в предельных случаях дает соотношения (18) и (19) и удовлетворяет равенству $\frac{\partial g}{\partial \tau} \Big|_{\rho=const} = 0$.

Далее при проведении конкретных расчетов будет предложен один из вариантов такой интерполяционной формулы.

Таким образом, с использованием полученных результатов (18) и (19), для параметра b в плазме воздуха и азота имеем:

$$b = -\frac{\gamma - 1}{2} \frac{\rho_0}{\omega_0} g_{H0} \frac{1}{\tau_{VT0}} \frac{d\tau_{VT}}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} \text{ при } \omega_0 \tau_{VT0} \gg 1 \quad (19a)$$

$$\text{и } b = \frac{\gamma - 1}{2} \frac{\rho_0}{\omega_0} \frac{dg_H}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} \text{ при } \frac{2\pi}{\omega_0 \tau_{VT0}} \gg 1, \quad (19b)$$

соответственно.

Вычисление величин $\frac{1}{\tau_{VT0}} \frac{d\tau_{VT0}}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0}$

и $\frac{dg_H}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0}$ **для плазмы воздуха и азота**

Физические причины изменения времени $V - T$ релаксации при изменении плотности состоят в том, что, во-первых, при увеличении плотности растет частота столкновений между молекулами, во-вторых, в сжатиях увеличивается температура, что из-за резкой зависимости τ_{VT} от этой

величины приводит к еще большему ускорению $V - T$ процессов. Для вычисления величины

$$\frac{1}{\tau_{VT0}} \frac{d\tau_{VT0}}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} \equiv y \text{ запишем закон сохранения}$$

энергии для газа с дополнительным тепловыделением (теплопоглощением) в виде:

$$\frac{dT}{d\rho} = (\gamma - 1) \frac{T}{\rho} + \frac{1}{C_V \omega_0 \rho} \frac{dQ}{d\rho}, \quad (20)$$

где $\frac{dQ}{d\rho} = -Q_{H0} y$, $Q_{H0} = \gamma g_{H0} P_0$.

Как известно [12], случай колебательной релаксации молекул азота хорошо описывается формулой:

$$\tau_{VT} \propto \frac{1}{\rho} \exp \left\{ \frac{B_0}{T^{1/3}} \right\},$$

где $B_0 \approx 234,9$; T выражено в $^\circ\text{K}$.

С учетом этого, используя соотношение (20), можно получить:

$$y = -\frac{1}{\rho_0} \frac{1 + \frac{(\gamma - 1)B_0}{3T_0^{1/3}}}{1 - \frac{B_0 Q_{H0}}{3T_0^{3/4} \rho_0 C_V \omega_0}}. \quad (21)$$

Теперь рассмотрим величину $\frac{dg_H}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0}$. При

давлениях газа в несколько десятков Торр и выше и характерных частотах ω_0 от нескольких десятков кГц и ниже частоты энергетической релаксации электронов в плазме воздуха и частота ионизации много выше ω_0 [13]. Поэтому за время сжатия в звуковой волне успевают установиться стационарные значения электрического поля и концентрации электронов, соответствующие данной плотности нейтралов.

В силу этого, например, при рассмотрении случая, когда звуковая волна распространяется вдоль электрического поля, т.е. градиент плотности и электрическое поле коллинеарны, можно получить [14]

$$\frac{dg_H}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} = \frac{g_{H0}}{\rho_0} = \frac{jE}{\gamma P \rho_0}. \quad (22)$$

В случае же, когда звуковая волна распространяется в направлении, перпендикулярном электрическому полю, то, как отмечается в [14], поле в силу потенциальности будет сохраняться, а плотность тока – уменьшаться. Таким образом, в этом случае

$$\frac{dg_H}{d\rho} \Big|_{\rho=\rho_0} = -\frac{g_{H0}}{\rho_0}. \quad (22a)$$

Обсуждение полученных результатов и их сравнение с теоретическими и экспериментальными данными других авторов

Рассмотрим полученные результаты более подробно. Из первой формулы (11) следует, во-первых, что независимо от направления движения звуковой волны в плазме скорость распространения ее выше, чем в нейтральном газе, нагретом до той же температуры в $\mu > 1$ раз. Коэффициент усиления (ослабления) волны с частотой ω_0 , рассчитанный на единицу длины плазмы, связан с параметром β следующим соотношением:

$$K = \frac{\omega_0}{a_0} \beta. \tag{23}$$

В то же время по результатам других авторов [5, 10]:

$$K_1 = \frac{\omega_0}{a_0} b. \tag{24}$$

Эти формулы тождественно совпадают при выполнении неравенства (6) и дают разную зависимость от параметров плазмы в обратном случае. Например, коэффициент усиления (ослабления) K_1 не зависит от частоты, в то время как величина K является растущей величиной ω_0 . При этом $K_1 \geq K$ при любом ω_0 . Графики зависимости $a_0 K_1(\omega_0)$ и $a_0 K(\omega_0)$ при различных параметрах $\chi = b\omega_0$ приведены на рис. 1, 2. Зависимость

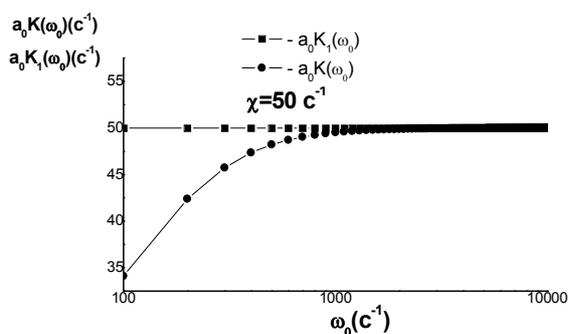


Рис.1. Зависимость величин $a_0 K, a_0 K_1$ от круговой частоты звуковой волны при параметре $\chi = 50 \text{ c}^{-1}$.

$K(\omega_0)$ качественно совпадает с экспериментальными данными [13], полученными для случая взаимодействия стоячих акустических волн с плазмой аргона при давлениях в десятки Торр и частотах до 1кГц. Отсутствие некоторых данных эксперимента в цитированной работе не позволяет провести количественно сравнение, однако тенденция роста коэффициента усиления звука с увеличением частоты звука при распространении его вдоль направле-

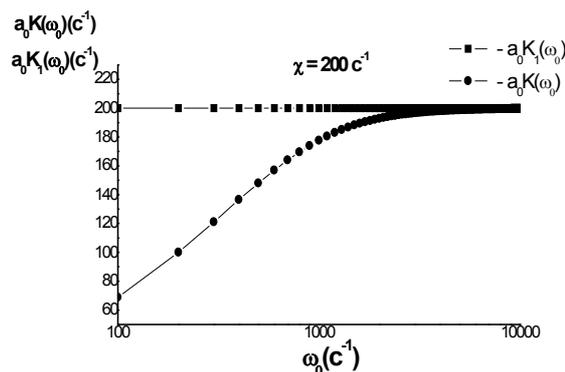


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но при $\chi = 200 \text{ c}^{-1}$.

ния электрического поля, зарегистрированная экспериментально авторами [13], свидетельствует о качественном согласии нашей теории с этими экспериментальными данными.

Покажем результаты вычисления величины

$$\left. \frac{dg}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0}. \text{ Как видно из соотношений (18) и (19), при}$$

временах $V - T$ релаксации много меньших периода звуковых колебаний изменение тепловыделения в плазме происходит за счет изменения мощности накачки энергии в колебания из-за изменения плотности газа. При обратном соотношении за малый период звуковых колебаний колебательная энергия не успевает отреагировать на изменение мощности накачки, и изменение тепловыделения происходит за счет того, что изменяется время τ_{VT} .

Затем рассмотрим зависимость величин K и K_1 от параметра $\frac{\gamma - 1}{2} \frac{jE}{\gamma P a_0} = \eta$ в случае, когда звук усиливается. Нетрудно видеть, что, как следует из формул (22) и (24), K_1 линейно растет с увеличением этого параметра, что совпадает с результатами [4]. Величина же K при малых η растет также линейно, однако затем асимптотически стремится к $K \sim \eta^{1/3}$.

Необходимо отметить еще одно важное обстоятельство. Как уже отмечалось, время колебательной релаксации τ_{VT} в воздухе существенно зависит от температуры газа. Поскольку при увеличении параметра η растет энергозатрат в плазму, то увеличивается температура газа, что приводит при фиксированной частоте ω_0 к уменьшению параметра $\omega_0 \tau_{VT0}$ и, в конечном счете, к смене механизма изменения тепловыделения в звуковой волне. Это обуславливает дополнительную зависимость величины K от параметра η и, как мы увидим в дальнейшем, может при низких частотах

ω_0 приводит к немонотонной зависимости $K(\eta)$. На рис. 3 представлены результаты расчета величин $K(\eta)$ для условий эксперимента работы [4] – $\nu_0 = 5 \text{ кГц}$, давление воздуха $P_0 = 12,3 \text{ Торр}$ и экспериментальные данные из этой же работы. Интерполяционная зависимость для параметра b при различных значениях $\omega_0 \tau_{VT0}$ выбиралась в виде

$$b = b_1 \bar{F}_1 + b_2 \bar{F}_2, \quad (25)$$

где b_1 и b_2 определяются с использованием формул (21) и (22) соответственно;

$$\bar{F}_1 = \frac{1}{1 + f_1}; \quad \bar{F}_2 = \frac{f_1}{1 + f_1}; \quad (25a)$$

$$f_1 = \frac{A_0}{\omega_0} \exp \left\{ 25,89 - \frac{234,9}{T^{1/3}} \right\}. \quad (25b)$$

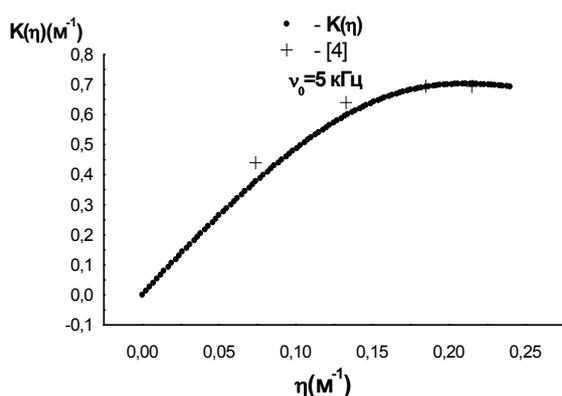


Рис. 3. Коэффициент усиления звуковой волны в плазме воздуха в условиях экспериментов работы [4]; кривая – расчет по разработанной теории, точки – результаты эксперимента.

Как видно из (25b), f_1 пропорциональна величине $\frac{1}{\omega_0 \tau_{VT0}}$; здесь A_0 – подгоночный параметр. В асимптотических случаях $\omega_0 \tau_{VT0} \rightarrow \infty$ и $\omega_0 \tau_{VT0} \rightarrow 0$ (25) дает для b формулы (19a) и (19б) соответственно. Поскольку авторы приводят данные о температуре газа $T_0 \approx 600^\circ \text{ K}$ лишь для $\eta \approx 0,23$, то мы аппроксимировали температуру формулой

$$T(^{\circ} \text{K}) = 300 \sqrt{13,333\eta + 1}, \quad (26)$$

при $\eta = 0,23$, $T = 605^\circ \text{ K}$, что соответствует зависимости решения уравнения теплопроводности для температуры в центре трубки от мощности объемных источников тепла в

предположении, что коэффициент теплопроводности пропорционален T . Авторы работы [4] расчеты коэффициентов ослабления звука проводили по формуле с точностью до обозначений, идентичной соотношению (24) и без учета механизма изменения энерговклада в молекулярных газах при росте температуры газа. В рамках этих допущений результаты эксперимента и расчеты авторов хорошо согласуются для инертных газов, когда величины параметра b малы и имеют значительные расхождения для воздуха. Как видно из данных рис. 3, построенная в настоящей работе теория позволяет хорошо описать данные эксперимента. В то же время в экспериментальной работе [6] при следующих условиях: $P = 78 \text{ Торр}$, j – порядка нескольких единиц $\frac{\text{мА}}{\text{см}^2}$, $f_0 = 170 \text{ Гц}$ для тлеющего разряда в азоте получено значение коэффициента усиления порядка $1,5 \text{ м}^{-1}$ уже при параметре η порядка сотых м^{-1} (а не десятых м^{-1} , как в работе [4] и согласно расчетам настоящей работы). К сожалению, авторы не приводят данные эксперимента, которые не позволяют проанализировать причины столь большого расхождения экспериментальных результатов [4], расчетов по полученным формулам, и данных в работе [6].

На рис. 4 приведены зависимости величин $K(\eta)$ и $K_1(\eta)$ для различных частот $\omega_0 < 5 \text{ кГц}$ и условий эксперимента работы [4]. Как и следует из качественного анализа полученных формул, величина K снижается при уменьшении ω_0 . Кроме того, из этих же данных можно видеть, что зависимость $K(\eta)$ при малых частотах является немонотонной, что связано, как уже отмечалось, со сменой механизма тепловыделения в звуковой волне.

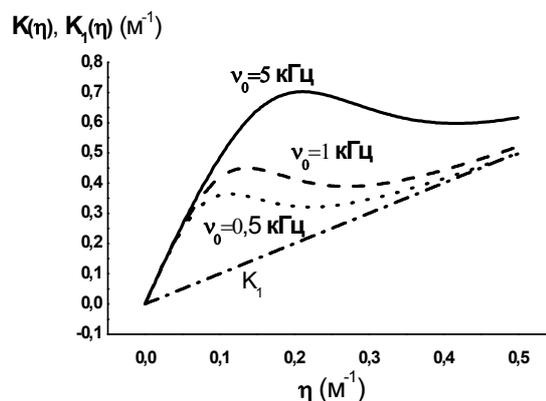


Рис. 4. То же, что и на рис. 3, но в более широком диапазоне величины энерговклада и различных частотах звука.

Построенная теория не учитывает потерь тепла в плазме за счет теплопроводности на стенки, ограничивающие плазму. Как показывают исследо-

вания [4], учет этого явления приводит к незначительному уменьшению коэффициента усиления (ослабления) акустических волн в плазме.

Рассмотрим бесстеночный тлеющий разряд в воздухе (как наиболее перспективный в аэрокосмических приложениях) при значительных энергозатратах, а именно при следующих условиях: давление – от 10 до 100 *Torr*, плотность тока – от 5 до 100 *mA/cm²*. Для выполнения расчетов величины *K* необходимо знание температуры газа в области плазмы. Поскольку в настоящее время такие экспериментальные данные отсутствуют, то можно воспользоваться развитой в работе [15] теорией, где, в частности, рассчитывалось радиальное распределение температуры газа в бесстеночном разряде в воздухе.

Оценки и измерения газовой температуры в плазме воздуха при давлениях в десятки *Torr* и плотностях тока в десятки *mA/cm²* показывают [25], что при $\frac{E}{P} \approx 10 \frac{B}{cm Torr}$ [13] температура в центре разряда превосходит величину порядка 1500 °K. Основываясь на данных [14] о скорости процессов *V-T* релаксации в воздухе, можно утверждать, что при частотах звука ω_0 , меньших нескольких десятков тысяч *c⁻¹*, выполняется соотношение (19б).

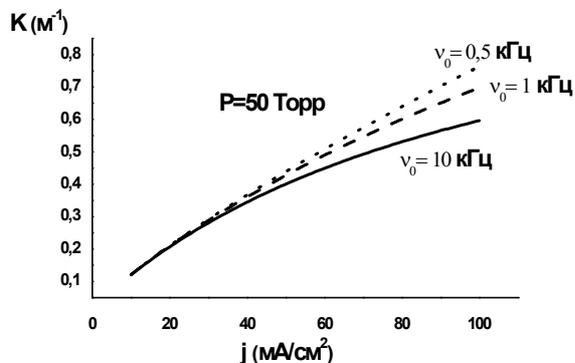


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления (ослабления) звука в бесстеночном разряде в воздухе от плотности тока.

На рис. 5 приведены зависимости коэффициента усиления (ослабления) звука от плотности тока при различных давлениях воздуха и частотах звука. При этом для воздуха принималось $\gamma \approx 1,4$. Из этих данных видно, что при увеличении плотности тока величина *K* растет независимо от частоты звука. Это, очевидно, вызвано увеличением энергозатрат в плазму. На рис. 6 приведены результаты расчетов зависимости *K(P)* при различных плотностях тока. Видно, что величина коэффициента усиления (ослабления) в плазме слабо зависит от давления воздуха. Это объясняется тем,

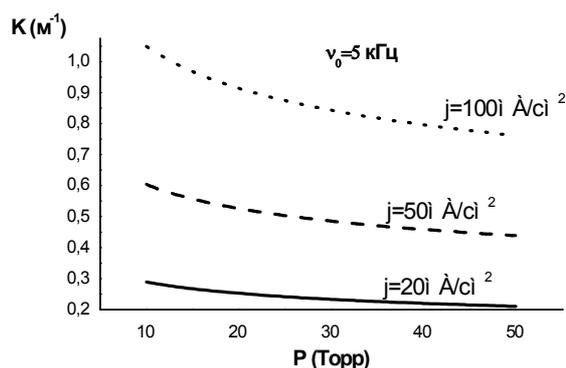


Рис. 6. Зависимость коэффициента усиления (ослабления) звука в бесстеночном разряде в воздухе от давления.

что при данных условиях в плазме энергозатрат с ростом давления увеличивается очень медленно, что связано с медленным ростом электрического поля при увеличении давления из-за уменьшения плотности нейтралов в результате значительного неоднородного разогрева [15]. Скорость же звука в плазме растет с ростом давления, поскольку увеличивается температура газа. Как мы видели ранее, при увеличении скорости звука в плазме величина *K* падает. Указанные обстоятельства и приводят к незначительной зависимости величины *K* от давления.

Работа поддержана госконтрактом П585 на выполнение поисковых научно-исследовательских работ в рамках Федеральной целевой программы "Научные и научно-исследовательские кадры инновационной России" на 2009–2013 гг.

Литература

1. Ganguly B.N., Bletzinger P. and Garscadden A. Phys. Lett. A230 218 (1998).
2. Roth J.R., Sherman D.M. and Wilkinson S.P. AIAA J. 38. 1166 (2000).
3. Soukhomlinov V., Stepaniuk V., Tarau, C. et al // Acoustic Wave Control Using Glow Discharge Plasma", AIAA Paper no. 2002-2731 (2002).
4. Александров Н.Л., Напартович Н.П., Паль А.Ф. Усиление звуковых волн в плазме газового разряда // Физика плазмы. 1990. Т.16. Вып.7. С. 862–870.
5. Елецкий А.В., Степанов Е.В. Нелинейное усиление звуковой волны в неравновесном молекулярном газе // Химическая физика. 1989. Т. 8. № 9. С. 1247–1250.
6. Галечан Г.А., Мкртчян А.Р. Усиление акустических волн в плазме молекулярного газового разряда // Акустический журнал. 2002. Т. 48. № 3. С. 314–318.
7. Цендин Л.Д. Влияние разогрева электронов на акустическую неустойчивость плазмы в электрическом поле // ЖТФ. 1965. Т. 35. Вып.11. С. 1973–1977.
8. Soukhomlinov V.S., Sheverev V.A. and Otugen M.V. Evolution of a vortex in glow discharge plasma. Ph. Fl., 17, 058102, (2005).

9. Korn G.A., Korn I.M. *Mathematical handbook for scientists and engineers* // McGraw-Hill Book Comp. New-York, 1968. 831 p.
10. Hasegawa V. Amplification of sound waves in partially ionized gases. *J. of the Soc. Of Japan*. Vol.37. No. 1. 1974. P. 193–199.
11. Александров Н.Л., Высикайло Ф.И. и др. *Теплофизика высоких температур*, 1981. Т.19. №1. С. 22–27.
12. Candler G.V., Macheret S.O., Adamovich I.V., Kelley I.D. «Modeling of RF Plasma Kinetics and Aerodynamics of the AEDC Ballistic Range Experiments», *AIAA Journal*, 2001. No. 0494. P.1–9.
13. Галечян Г.А., Диванян Э.Г., Мкртчян А.Р. Усиление звука в плазме // *Акустический журнал*. 1990. Т. 36. С. 364–366.
14. Aleksandrov N.L. and Napartovich A.P. *Sov. Phys. Usp.* 36, 119 (1993).
15. Soukhomlinov V.S., Sheverev V. A., Otugen V. «Distribution of Gas Temperature in an Unconfined Glow Discharge Plasma», *J. Appl. Phys.*, 94. No.2 (2003). P. 844-851.

Статья поступила в редакцию 1.02.2012.

УДК 622.245.5:519.86

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОМОГРАФИИ НА ДАВЛЕНИЯХ ПРИ КОНТРОЛЕ ЗА РАЗРАБОТКОЙ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.И. КОБРУНОВ

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
aikobrunov@gmail.com

Рассматривается задача нахождения пространственного распределения эффективного сопротивления движению флюида в проницаемом пласте. Метод решения основан на томографической обработке системы измерений времени наступления реакции в скважинах приемниках, на изменении режима давления в скважинах источниках. Обратная задача решается на основе итеративной томографической схемы. При редкой сети данных единственность решения обеспечивается введением специальной конструкции критерия оптимальности, использующей корреляционную матрицу для искомых параметров.

Ключевые слова: проницаемость, давление, скважины, моделирование пространства, томография, обратные задачи, итерационные процессы, принцип Беллмана, оптимизация, критерий оптимальности

A.I. KOBRUNOV. MATHEMATICAL MODEL OF TOMOGRAPHY AT PRESSURES AT CONTROL OVER THE DEVELOPMENT OF OIL FIELDS

The problem of spatial distribution of effective resistance to fluid movement in permeable formation is considered. The decision method is based on a tomographic processing of time measuring system of reaction approach in wells receivers, on pressure mode change in wells sources. The inverse problem is solved on the basis of the iterative tomographic scheme. At a rare network of data the uniqueness of the decision is provided with implementation of a special design of optimality criterion using a correlation matrix for required parameters.

Key words: permeability, pressure, wells, distribution modeling, tomography, inverse problems, iterative processes, Bellman's principle, optimization, optimality criterion

Работа посвящена формулировке принципов и созданию основ теории реконструкции пространственного распределения эффективных характеристик проницаемости коллектора по результатам испытания давлением на пласт по сетке скважин. Это направление актуально при контроле за разработкой месторождений нефти и газа и его отличительной чертой служит исследование межскважинного пространства методами гидродинамического воздействия.

Избыточное давление, испытываемое проницаемым пластом в одной из скважин, через некоторое время приводит к изменению и переходу в новый стационарный режим на других скважинах. Выполняя поочередно депрессию на пласт по всем скважинам с регистрацией времени достижения нового стационарного состояния по давлению в пласте по другим скважинам, получаем набор данных, отражающих информацию о пространственном распределении по пласту проницаемости относительно распространения установившегося режима давления. По этим данным может быть поставлена задача нахождения пространственного распределения эффективного коэффициента прони-

цаемости для установившегося режима давлений (далее просто эффективный коэффициент проницаемости), которую следует отнести к разновидности томографии, а развиваемую теорию нахождения распределения эффективного коэффициента проницаемости – к классу решений обратных задач для распределения давлений в пласте. Эффективным параметром, отражающим характеристики проницаемости, выбрана скорость передачи установившегося режима.

Процесс распределения давлений в пористой среде достаточно сложен и включает значительное число параметров. Он определяется фильтрационными потоками и зависит от открытой пористости, реологических свойств нефти и остальных компонент, определяющих совместно с пористостью, проницаемость и характер интегрального движения флюидов. Сюда относятся и неньютоновский характер жидкости и законы, определяющие скорость фильтрации в зависимости от давления, которые, в свою очередь, порождают перераспределенные давления в пласте. Все это многообразие факторов можно свести к единому эффективному параметру – эффективной скорости распространения устано-

вившегося режима давления в пласте, или обратной ей величине – сопротивлению этому распространению. Этот параметр определяется как время t , прошедшее от подачи давления в интервале пласта в одной скважине, имеющей координаты устья $\xi_1 = \{x_1, y_1\}$, до появления установившегося режима в другой, с координатами $\xi_2 = \{x_2, y_2\}$, отнесенное к расстоянию между $l(\xi_1, \xi_2)$ скважинами. Этот параметр меняется по площади, отражая проницаемость пласта в разных точках относительно передачи давления и, следовательно, продуктивности. Здесь влияют меняющиеся коллекторские свойства, глубина залегания, образовавшиеся в процессе движения нефти локальные «заторы» и т.д. В связи с различием проницаемости относительно фаз, установление давления по каждой из них происходит по некоторому монотонному (возрастающему, если подан избыток давления и убывающему, если поданное давление отрицательно – сброс давлений) закону. Рассматривается полностью установившийся режим относительно всех фаз – интегральный стационарный режим.

Формализованная постановка задачи реконструкции скорости распространения давления

Рассмотрим время достижения фронта установившегося давления (далее просто фронта давления) с источником давления в точке ξ_1 в точку ξ_2 . Пусть это время есть $\tau(\xi_1, \xi_2)$. Выберем произвольное $t > 0$ и построим область $D(\xi_1, \xi, t)$, занятую установившимся давлением, которая ограничена поверхностью $\psi(\xi_1, \xi, t) = 0$, разделяющую $D(\xi_1, \xi, t)$ и невозмущенную область $\psi(\xi_1, \xi, t)$, – это фронт давлений. Если $\psi(\xi_1, \xi, t) < 0$, то точка $\xi = (x, y)$ находится внутри D .

В противном случае $\psi(\xi_1, \xi, t) \geq 0$ и $\xi = (x, y)$ находится на фронте $\psi(\xi_1, \xi, t) = 0$, либо впереди него $\psi(\xi_1, \xi, t) > 0$.

Выделим точку ξ_2 на фронте $\psi(\xi_1, \xi, t)$ и для произвольной линии $L(\xi_1, \xi_2)$, целиком лежащей в $D(\xi_1, \xi, t)$, найдем время распространения давления от точки ξ_1 к ξ_2 вдоль $L(\xi_1, \xi_2)$ по правилу:

$$\tau(\xi_1, \xi_2) = \int_{L(\xi_1, \xi_2)} \frac{dl}{V(x, y)} = \int_{L(\xi_1, \xi_2)} k(x, y) dl \tag{1}$$

Здесь $V(x, y)$ – скорость, а $k(x, y)$ – обратная ей «медленность» передачи давления в точке (x, y) . Считается, что эта величина неоднородна, но изотропна. Исследуемые функции ограничены и интегрируемы в силу конечности всех рассматриваемых областей. Впервые давление придет в точку ξ_2 , двигаясь по траектории, обеспечивающей минимальное из всех возможных времен и, следовательно, это первое время t есть минимальное из всех возможных по разным траекториям:

$$t(\xi_1, \xi_2) = \int_{L(\xi_1, \xi_2)} \frac{dl}{V(x, y)} = \min_{L(\xi_1, \xi_2)} \left[\int_{L(\xi_1, \xi_2)} \frac{dl}{V(x, y)} \right] \tag{2}$$

Соотношение (2) – это аналог интеграла Ферма, известного в геометрической оптике [1] и теории распространения сейсмических и электромагнитных волн, распространяемого на задачу о движении давлений. Считая траектории $l(\xi_1, \xi_2)$ заданными, определим оператор:

$$A[V(\xi)] = t(\xi_i, \xi_j), \tag{3}$$

отображающий распределение скорости передачи давления, сгенерированного в скважине, с координатами ξ_i во времена первых вступлений давления в скважину, находящуюся в ξ_j . Строго говоря, этот оператор следовало бы записывать с учетом значения индексов i, j . Однако имея в виду соотношение (2), мы опускаем их, считая вполне достаточным указание на их значения в правой части (3). Рассмотрим обратную для (3) задачу реконструкции пространственной скорости распространения давлений в пласте, по известным временам достижения установившегося режима по всем парам скважин. Число таких пар – N . Следовательно, размерность входных параметров также N . Для ее решения воспользуемся приемом линеаризации.

Пусть задано начальное $V^0(\xi)$ приближение к полю скоростей $V(\xi)$. И пусть поправка

$$\delta(x, y) = V(x, y) - V^0(x, y). \tag{4}$$

Тогда:

$$A[V(\xi)] = A[V^0(\xi)] + A'[V^0(\xi)]\delta(\xi) + r(\delta) \tag{5}$$

Здесь $r(\delta)$ малая высшего порядка относительно второго члена в (5), $A'[V^0(\xi)]$ производная Фреше [2] для (3). Легко вычислить, следуя традиционной лучевой томографической технологии, см. например [3] пренебрегая малыми высшего порядка в сравнении с $\delta(\xi)$:

$$A'[V^0(\xi)]\delta(\xi) = A[V^0(\xi) + \delta(\xi)] - A[V^0(\xi)] + r(\delta) = \int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{dl}{V^0(x, y) + \delta(\xi)} - \int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{dl}{V^0(x, y)} + r(\delta) \approx \int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{[V^0(x, y) - \{V^0(x, y) + \delta(\xi)\}]}{[V^0(x, y) + \delta(\xi)] \cdot V^0(x, y)} dl \approx - \int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{\delta(\xi) dl}{V^2(\xi)} \quad (6)$$

Тогда, пренебрегая членом $r(\delta)$:

$$A[V(\xi)] = \int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{dl}{V^0(x, y)} - \int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{\delta(\xi) dl}{(V^0)^2(\xi)} \quad (7)$$

Уравнение (3) переписывается:

$$\int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{\delta(\xi) dl}{(V^0)^2(\xi)} = \Delta(\xi_i, \xi_j), \quad (8)$$

где:

$$\Delta(\xi_i, \xi_j) = t^0(\xi_i, \xi_j) - t(\xi_i, \xi_j); \quad (9)$$

$$t^0(\xi_i, \xi_j) = \int_{l(\xi_i, \xi_j)} \frac{dl}{V^0(x, y)}.$$

Алгоритм обращения

Рассмотрим задачу нахождения решения $\delta(\xi)$ уравнения (8) по заданным правым частям $\Delta(\xi_i, \xi_j)$, образующим в своей совокупности вектор $\Delta = \{\Delta_n, n = 1, \dots, N\}$, N – число доступных для анализа пар и $\{i, j, i \neq j\}$. В соответствии с технологией проекционных методов [4] будем искать $\delta(\xi)$ в виде представления:

$$\delta(\xi) = \sum_{m=1}^M q_m \cdot \psi_m(\xi) \quad (10)$$

где $\psi_m(\xi)$ – заданная базисная система функций. Например, это постоянные функции в непересекающихся подобластях S_m , в совокупности своей покрывающих всю изучаемую площадь. Подставив (10) в (8) и учитывая выражение для Δ получим:

$$\sum_{m=1}^M q_m \cdot \int_{l_n} \frac{\psi_m(\xi) dl}{(V^0)^2(\xi)} = \Delta_n, \quad (11)$$

$$n = 1 \div N.$$

Здесь $l_n = l(\xi_i, \xi_j)$, где (ξ_i, ξ_j) образуют

пару с номером n .

Поскольку функции $\psi_m(\xi)$ известны, то интеграл под суммой в левой части (11) вычисляем, и совокупность его значений образует матрицу

$$\mathbf{a} = \{a_{mn}\};$$

$$a_{mn} = \int_{l_n} \frac{\psi_m(\xi) dl}{(V^0)^2(\xi)}. \quad (12)$$

Следует найти решение системы линейных уравнений:

$$\mathbf{a}\mathbf{q} = \Delta;$$

$$\mathbf{q} = \{q_m, m = 1 \div M\} \quad (13)$$

Поскольку в общем случае $M \neq N$, то матрица \mathbf{a} прямоугольна и для ее обращения следует использовать приемы нахождения устойчивых приближенных решений [4, 5].

Обращение матрицы (13). Рассматривая вектора \mathbf{q} и Δ как элементы евклидовых пространств R^M и R^N соответственно, заменим задачу (13) на:

$$\|\mathbf{a}\mathbf{q} - \Delta\|^2 + \alpha \|\mathbf{F}[\mathbf{q} - \mathbf{q}^0]\|^2 \rightarrow \min. \quad (14)$$

Здесь \mathbf{F} невырожденная $M \times M$ матрица, например единичная. Она определяет вид критерия оптимальности $\|\mathbf{F}[\mathbf{q} - \mathbf{q}^0]\|^2$, характеризующего меру отклонения искомого вектора \mathbf{q} и нулевого приближения к нему \mathbf{q}^0 . Например, представляет собой обратную к корреляционной матрице для $[\mathbf{q} - \mathbf{q}^0]$. Вопросы выбора этой матрицы относятся к методическим вопросам нахождения оптимальных решений [5]. α – числовой параметр, параметр регуляризации задачи, определяющий точность решения уравнения в (13). Значение оптимального параметра регуляризации подбирается по принципу невязки [5]. Варьируя квадратичный функционал (14), получим для ее решения [3,5] уравнение (уравнение Эйлера для вариационной задачи) в виде:

$$\mathbf{a}^*(\mathbf{a}\mathbf{q} - \Delta) + \alpha \mathbf{F}^* \mathbf{F} [\mathbf{q} - \mathbf{q}^0] = 0. \quad (15)$$

Звездочка над операторами (матрицами), как обычно, означает переход к сопряженным (в данном случае транспонированным) операторам. Задача (15), в

отличие от (13), состоит в обращении уравнения с квадратной и невырожденной матрицей:

$$[\mathbf{a}^* \mathbf{a} + \alpha \mathbf{F}^* \mathbf{F}] \mathbf{q} = \mathbf{a}^* \Delta + \alpha \mathbf{F}^* \mathbf{F} \mathbf{q}^0 \quad (16)$$

Для этой цели могут быть применены стандартные алгоритмы обращения:

$$\mathbf{q}(\alpha) = [\mathbf{a}^* \mathbf{a} + \alpha \mathbf{F}^* \mathbf{F}]^{-1} [\mathbf{a}^* \Delta + \alpha \mathbf{F}^* \mathbf{F} \mathbf{q}^0]. \quad (17)$$

Расчет траекторий l_n . Вычисление элементов a_{mn} матрицы \mathbf{a} по формуле (13) требует знания траекторий l_n , соединяющих по принципу минимального времени (2) пару точек $l_n = l(\xi_i, \xi_j)$. Основой их нахождения служит анализ поведения линий фронтов $\psi(\xi_i, \xi, t) = 0$ во времени и использование принципа оптимальности Беллмана [6] для нахождения траектории, реализующей минимальное время движения в паре (ξ_i, ξ_j) . Зафиксируем точки (ξ_i, ξ_j) . Время $\bar{t}(\xi_i, \xi_j)$ распространения давления из ξ_i в ξ_j определено как решение уравнения $\psi(\xi_i, \xi_j, t) = 0$ относительно t . Принцип Беллмана [6], примененный к задаче построения оптимальной траектории (луча) $l(\xi_i, \xi_j)$, состоит в том, что если η – произвольная точка, лежащая на $l(\xi_i, \xi_j)$, то $l(\eta, \xi_j)$ есть оптимальная траектория (луч) из точки η в ξ_j . Иными словами, каждый завершающий фрагмент оптимальной траектории – суть самостоятельная оптимальная траектория, соединяющая соответствующие точки. Этот принцип может быть сформулирован и иначе. Оптимальность траектории от промежуточной точки не зависит от того, как луч попал в эту точку. Распространение луча – есть система без памяти. Алгоритм Беллмана численного дискретного построения траектории состоит в следующем:

1. Интервал отрезка, соединяющего точки ξ_i и ξ_j , разобьем на N_X частей длиной ΔL_X . Номера интервалов $i_x = 1, 2, \dots, N_X$. В каждом узле проведем ортогонально отрезку прямую, разбив ее на интервалы ΔL_Y . Число этих интервалов N_Y . Номера интервалов $i_y = 1, 2, \dots, N_Y$. Таким образом, организована локальная координатная сетка с точками (x_{i_x}, y_{i_y}) . $(x_0, y_0) = \xi_i$; $(x_{N_X}, y_{N_Y}) = \xi_j$.

2. Выделим линию, отвечающую точке x_{N_X-1} . Подсчитаем N_Y времен

$t^{i_y}(x_{N_X-1}) = t[(x_{N_X-1}, y_{i_y}), \xi_j]$ распространения давления из точек (x_{N_X-1}, y_{i_y}) в ξ_j . Каково из этих N_Y отрезков, соединяющих (x_{N_X-1}, y_{i_y}) и ξ_j , принадлежит $l(\xi_i, \xi_j)$.

3. Далее выделим линию, отвечающую точке x_{N_X-2} . Для каждого x_{N_X-2}, y_{i_y} найдем то y_{i_y} из линии с x_{N_X-1} , которое обеспечивает:

$$\min_{x_{N_X-1}, y_{i_y}} \left\{ t[(x_{N_X-2}, y_{i_y}), (x_{N_X-1}, y_{i_y})] + t^{i_y}(x_{N_X-1}) \right\} = t^{i_y}(x_{N_X-2}) \quad (18)$$

Точка минимума определит новую точку из $l(\xi_i, \xi_j)$. Минимизация идет по y_{i_y} из линии с x_{N_X-1} . Одновременно последовательно наращиваются фрагменты вариантов траектории, общее число которых всегда остается N_Y . Получим в результате N_Y значений $t^{i_y}(x_{N_X-2})$.

4. Продолжим процесс аналогичным образом:

$$\min_{x_{i_x}, y_{i_y}} \left\{ t[(x_{i_x}, y_{i_y}), (x_{i_x+1}, y_{i_y})] + t^{i_y}(x_{i_x}) \right\} = t^{i_y}(x_{i_x}). \quad (19)$$

В конечном итоге будет достигнута точка $(x_0, y_0) = \xi_i$ и вычислено N_Y значений:

$$t^{i_y}(x_0) = \min_{x_{i_x}, y_{i_y}} \left\{ t[(\xi_i), (x_{i_x+1}, y_{i_y})] + t^{i_y}(x_{i_x}) \right\}. \quad (20)$$

5. Простым выбором минимума из N_Y значений будет определена истинная траектория луча $l(\xi_i, \xi_j)$.

Алгоритм уточнения пространственной модели эффективной скорости распространения установившегося режима давлений – томографических изображений состоит в следующем:

Исходные данные:

Координаты ξ_i источника давлений; ξ_j – точки измерения режима давлений;

$t(\xi_i, \xi_j)$ – регистрируемое время распространения установившегося давления сгенерированного в скважине ξ_i до скважины ξ_j , представляющие собой

вектор $\mathbf{t} = \{t_n = t(\xi_i, \xi_j), i = 1 \div N\}$;

Модель нулевого приближения $V^0(x, y)$;

$I = 0$

Шаг 1. На основе принципа Гюйгенса [1] для каждого ξ_i строится фронт давлений $\psi^I(\xi_i, \xi, t)$;

Шаг 2. По описанной выше схеме находится семейство траекторий $l^I(\xi_i, \xi_j)$ из точки ξ_i в ξ_j

для всех $i \neq j, i, j = 1 \div N$.

Шаг 3. Вычисляется:

$$\Delta^I = \left\{ \Delta^I(\xi_i, \xi_j) = t^I(\xi_i, \xi_j) - t(\xi_i, \xi_j) \right\};$$

$$t^I(\xi_i, \xi_j) = \int_{l^I(\xi_i, \xi_j)} \frac{dl}{V^I(x, y)}.$$

Шаг 4. Выбираются аппроксимационные функции: $\psi_m(\xi)$;

Шаг 5. Рассчитывается матрица:

$$\mathbf{a}^I = \{a_{mn}^I\};$$

$$a_{mn}^I = \int_{l_n^I} \frac{\psi_m(\xi) dl}{(V^I)^2(\xi)}.$$

Шаг 6. Выбрав \mathbf{F} , рассчитываем:

$$\mathbf{q}^{I+1}(\alpha) = [\mathbf{a}^* \mathbf{a} + \alpha \mathbf{F}^* \mathbf{F}]^{-1} [\mathbf{a}^* \Delta + \alpha \mathbf{F}^* \mathbf{F} \mathbf{q}^I].$$

$$\text{Шаг 7. } \delta^{I+1}(\xi) = \sum_{m=1}^M q_m^{I+1} \cdot \psi_m(\xi).$$

$$\text{Шаг 8. } V^{I+1}(x, y) = V^I(x, y) + \delta^{I+1}(x, y).$$

Шаг 9. Контроль точности подбора, числа сделанных итераций, динамики сходимости. В случае необходимости $I = I + 1$; Переход к шагу 1. В противном случае **КОНЕЦ**.

Заключение

Задача нахождения пространственного распределения эффективного сопротивления распространению установившегося давления весьма актуальна для контроля за разработкой нефтяных месторождений, поскольку позволяет выявить зоны пласта с нарушенной пропускной способностью и обеспечить последующее принятие технологичес-

ких решений, например, разбуривания застойных участков. Эта задача может быть решена по совокупности измерений времени наступления реакции на изменение режима давления в выделенной скважине по сетке измерительных скважин. При изменении выделенной скважины время реакции в остальных изменяется и совокупность этих данных подобна веерной томографической информационной схеме. Однако непосредственно методы компьютерной томографии для построения изображения по параметру сопротивления распространению установившегося давления неприменимы из-за не регулярности и неорганизованности сети данных: пар – наблюдение- возбуждение. Тем не менее, возможна постановка обратных задач, обеспечивающая реконструкцию пространственного распределения эффективного сопротивления распространению установившегося давления, основанная на итеративной схеме последовательного уточнения линеаризованных обратных задач с использованием беллмановских принципов оптимизации при решении прямых. При редкой сети данных единственность решения обеспечивается введением специальной конструкции критерия оптимальности для решения, выраженной в виде принятия корреляционной матрицы для искомым параметров.

Литература

1. Кравцов Ю.А., Орлов Ю.И. Геометрическая оптика неоднородных сред. М.: Наука, 1980. 304 с.
2. Иоффе Ф.Д., Тихомиров В.М. Теория экстремальных задач. М.: Наука, 1974. 479 с.
3. Кобрунов А.И. Математические основы теории интерпретации геофизических данных: учебное пособие. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 286 с.
4. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1980. 534 с.
5. Некорректные задачи математической физики и анализа / М.М. Лаврентьев и др. М.: Наука, 1980. 286 с.
6. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. С. 408.

Статья поступила в редакцию 11.04.2012.

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

30 января 2012 г. исполнилось 85 лет со дня рождения Вячеслава Ильича Канивца – ученого, стоявшего у истоков профессионального археологического изучения территории Европейского Северо-Востока. С именем этого исследователя связаны открытия первых палеолитических памятников в Северном Приуралье, первые раскопки культовых памятников в бассейне р. Печоры и Большеземельской тундре, создание первых историко-культурных концепций древней истории населения Печорского бассейна и Европейского Северо-Востока. В день рождения В.И. Канивца в Институте языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН состоялось расширенное заседание Ученого совета, на котором были заслушаны доклады, связанные с основными направлениями деятельности ученого. Три доклада, посвященные биографии археолога, его вкладу в изучение культовых памятников Северного Приуралья и в развитие музейного дела в республике, публикуются в настоящем номере журнала «Известия Коми научного центра УрО РАН».

УДК 903 (470.13)

ВЯЧЕСЛАВ ИЛЬИЧ КАНИВЕЦ (К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

Э.А.САВЕЛЬЕВА

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

leonorasav@mail.illhkomisc.ru

Статья посвящена Вячеславу Ильичу Канивцу (1927 – 1972) ученому-археологу, стоявшему у истоков археологического изучения Европейского Северо-Востока, первооткрывателю палеолитических памятников на Европейском Севере, внесшему значительный вклад в разработку первых историко-культурных концепций древней истории населения Печорского Приуралья.

Ключевые слова: археология Европейского Северо-Востока, Печорское Приуралье, археологическая эпоха, палеолит, святилища, культурно-хронологическая концепция, этнокультурная принадлежность

E.A.SAVELYEVA. VYACHESLAV I. KANIVETS (TO 85-BIRTH ANNIVERSARY)

The paper is devoted to Vyacheslav I. Kanivets (1927 - 1972), scientist-archeologist who was at the beginning of archaeological studying of the European Northeast, the discoverer of Paleolithic sites in the European North, who has made great contribution to working out of the first historical and cultural concepts of ancient history of the population of the Pechora PreUrals.

Key words: archeology of the European Northeast, Pechora PreUrals, archaeological epoch, Paleolithic, sanctuaries, cultural-chronological concept, ethnocultural belonging

Страницы биографии

Вячеслав Ильич Канивец родился 30 января 1927 г. в г. Киев. Его отец – ученый, специалист в области почвоведения и агрохимии, мать – педагог, музыкальный работник. До Великой Отечественной войны семья жила в Киеве. В июле 1941 г. была эвакуирована в Алма-Ату, где будущий ученый закончил среднюю школу. В 1944 г. после освобождения Киева Вячеслав вместе с матерью вернулся в родной город. В 1945 г. он поступил на исторический факультет Киевского государственного уни-

верситета, который закончил с отличием в 1950 г. В том же году поступил в аспирантуру Института археологии АН УССР. Его научным руководителем стал выдающийся советский археолог П.П. Ефименко, чьи работы являются классикой не только российской, но и мировой археологии. По окончании аспирантуры в 1954 г. Вячеслав Ильич успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Памятники высокоцкого типа как исторический источник». В 1953–1955 гг. он работал младшим научным сотрудником Института археологии АН УССР, в 1955–1958 гг. – старшим научным сотрудником

Института истории, языка и литературы Дагестанского филиала АН СССР.

Осенью 1958 г. по договоренности с П.П. Вавиловым, председателем Президиума Коми филиала АН СССР, В.И. Каневец прибыл в г. Сыктывкар и был принят на работу старшим научным сотрудником отдела истории Коми филиала АН СССР. С 1959 г. ежегодно до трагической гибели 11 июля 1972 г. ученый проводил длительные полевые экспедиционные исследования. На Севере Вячеслав Ильич провел 14 очень плодотворных полевых сезонов. В ходе многолетних полевых исследований им создана надежная источниковедческая база по древней и средневековой истории Печорского края. На момент гибели ему исполнилось только 45 лет.

Научно-организационная деятельность В.И.Каневца

В.И.Каневец был первым руководителем небольшого коллектива археологов, в который входили Г.М.Буров, Э.А.Савельева и В.Е.Лузгин. В.И.Каневец определил стратегию и тактику научных поисков археологов отдела на первом этапе исследований – сплошное первичное археологическое обследование территории и оперативное введение полученных материалов в научный оборот. Вячеслав Ильич вместе со своим аспирантом В.Е.Лузгиным сосредоточился на изучении древностей бассейна Печоры, Г.М.Буров – бассейна Вычегды, Э.А.Савельева – памятников предков коми-зырян в эпоху средневековья. Постепенно укреплялся коллектив археологов. В 1960-х – начале 1970-х гг. в отдел археологии и этнографии пришли В.С.Стоколос, К.С.Королев, Э.С.Логонова, И.В.Верещагина. Благодаря этому стало возможно расширение географии исследований и углубленное изучение отдельных эпох. Произшедшие качественные и количественные изменения в коллективе археологов позволили создать новое структурное подразделение – из отдела археологии и этнографии в 1972 г. выделился сектор археологии. Возглавить его по праву должен был В.И.Каневец, но, к сожалению, судьба распорядилась иначе.

К числу крупных заслуг научно-организационной деятельности ученого относится основание серийного издания – «Материалы по археологии Европейского Северо-Востока», первый номер которого вышел в свет в 1962 г. В.И.Каневец являлся членом редколлегии «Известий Коми филиала Всесоюзного географического общества», в которых им регулярно публиковались сообщения об археологических открытиях, членом Ученого совета гуманитарных подразделений Коми филиала АН СССР, а после создания Института языка, литературы и истории Коми филиала АН СССР – членом Ученого совета института, а также Московского общества испытателей природы. Ученым была заложена традиция тесного творческого сотрудничества с Институтом геологии Коми филиала АН СССР, музеями – Коми республиканским краеведческим музеем (ныне Национальный музей Республики Коми), членом Ученого совета которого он являлся, а также Воркутинским и Интинским краеведческими

музеями. Вячеслав Ильич успешно занимался и педагогической деятельностью. В Коми государственном педагогическом институте читал курс лекций «Основы археологии», проводил полевую археологическую практику. Он был первым руководителем исторического отделения Малой академии школьников г. Сыктывкара, которая в те годы делала свои первые шаги. Важное место в его деятельности занимала популяризация научных знаний. Благодаря выступлениям в центральной печати исследования археологов Коми получили широкий общественный резонанс. Сенсацией в мировой науке стало открытие палеолитических памятников на Печоре. В 1967 г. по инициативе В.И.Каневца на базе отдела этнографии и археологии Коми филиала АН СССР в Сыктывкаре было проведено V Уральское археологическое совещание, в работе которого приняли участие ведущие археологи России. На конференции прозвучала высокая оценка деятельности коми археологов под руководством В.И.Каневца. В следующем 1968 г. Коми филиалом АН СССР, Комиссией по изучению четвертичного периода АН СССР и Всесоюзным институтом «Гидропроект» был создан региональный Полевой семинар по стратиграфии антропогена и палеолиту Печорского Приполярья.

Научное наследие ученого

Трудно переоценить вклад руководимого В.И.Каневцом небольшого коллектива в археологическое изучение Европейского Северо-Востока. Разработанная им стратегия и тактика научно-исследовательских работ позволили на протяжении очень небольшого периода (1959–1972 гг.) не только провести сплошное археологическое обследование обширной территории, но и разработать первые историко-культурные концепции развития древностей этого региона.

В конце 1950-х гг. на археологической карте Печорского края были отмечены лишь единичные пункты с археологическими находками, сделанными случайно путешественниками, естествоиспытателями, геологами. Археологическое изучение бассейна Печоры ученый начал с верховий реки в 1959 г. Именно в это время было положено начало плодотворному сотрудничеству В.И.Каневца с геоморфологом Б.И.Гуслицером, который с 1955 г. обследовал на верхней Печоре и ее притоках несколько десятков пещер, многие из них ранее не были известны [1]. В 1957 г. он обнаружил культурный слой в Уньинской пещере, а в 1958 г. – в Канинской. Весной 1959 г. археологический отряд во главе с Вячеславом Ильичом и геологический отряд под руководством Б.И. Гуслицера начинают раскопки в Уньинской, а позднее в Канинской пещерах. Можно себе представить, с какими испытаниями пришлось столкнуться В.И.Каневцу, прибывшему с юга, на нашем суровом севере. В своей первой монографии «Канинская пещера» он достаточно живописно описывает свой первый маршрут на Печору [2,3].

Раскопки в Уньинской, а затем и в Канинской пещерах дали богатейшие материалы, позволившие определить эти памятники как святилища, по-

сещавшиеся древними людьми с эпохи бронзы до средневековья. В Уньинской пещере среди наиболее интересных предметов были западноевропейские серебряные монеты XI в. и оттиски серебряных саманидских дирхемов, культовые предметы («чудские» образки), наконечники стрел, посуда и т.д. [4]. Поражала тщательность, скрупулезность, потрясающая аккуратность, с какой вел раскопки В.И.Канивец. Не менее поразительной была его работоспособность. Столь же напряженно он работал в перерыве между полевыми сезонами. Камеральная обработка полевых материалов, поиски архивных, литературных источников, работа в музеях, подготовка научных публикаций. Монография «Канинская пещера» увидела свет уже в 1964 г. Она была посвящена конкретному памятнику, однако по содержанию это была первая обобщающая работа по древностям Печорского Приуралья. В материалах Канинской пещеры археологом были выделены три хронологических горизонта: эпохи меди–бронзы, раннего железного века и средневековья. В разделе по медно-бронзовому веку исследователем впервые была предпринята попытка дать историю древнего металлургического производства в Печорском Приуралье, основанную на данных спектрального анализа медно-бронзовых вещей. Выделено три вида бронз: оловянистые, сурьмянисто-оловянистые и мышьяковисто-оловянистые. Вполне закономерно исследователем ставится вопрос об источниках металла из Канинской пещеры. Среди возможных рудных баз называется Урал. По предположению ученого, медь и оловянистые бронзы могли быть выплавлены из северо-уральских руд, мышьяковисто-оловянистые и сурьмянисто-оловянистые – из месторождений Среднего Урала или более отдаленных районов. Что касается олова, содержится в канинских бронзах, то В.И.Канивец допускает возможность добычи его на Урале или получения в виде слитков из восточного Казахстана (Алтая). Последующие исследования показали, что большая часть канинской коллекции связана по своему происхождению, как и предполагал Вячеслав Ильич, с восточными, алтайскими (?) источниками.

Важное место в работе В.И.Канивца занимала лебяжская археологическая культура. Им впервые был систематизирован, проанализирован и обобщен весь имеющийся к тому времени материал по лебяжской культуре. По мнению В.И.Канивца, лебяжская культура сложилась на основе культуры населения, жившего на этой же территории в раннем бронзовом веке (первая половина II тыс. до н.э.). С другой стороны, он подчеркивает сходство части лебяжской керамики с крестовидным орнаментом с зауральской, объясняя его связями населения Северного Приуралья и бассейна Тобола или непосредственным проникновением на Печору зауральского населения. Хронология лебяжских памятников базируется на аналогиях канинскому комплексу металлургических и кремневых изделий в древностях сейминско-турбинского типа, на основании чего ранний этап культуры датируется началом второй половины II тыс. до н.э. Поздний этап этой культуры определяется предположительно

первой четвертью I тыс. до н.э., что имеет принципиально важное значение, так как лебяжская культура, в понимании исследователя, хронологически и генетически смыкается с ананьинской культурой раннего железного века [5].

Проблема формирования лебяжской культуры, ее хронологии и периодизации привлекала внимание и других исследователей. Г.М.Буров начальный этап лебяжской культуры относит к XII–XI вв. до н.э. [6], В.С.Стоколос – XIII–XII вв. до н.э. [7]. В.С.Стоколос поддержал основную идею В.И.Канивца о сложении лебяжской культуры на основе местной гребенчатой керамики, хотя отметил, что это положение нуждается в дальнейшей разработке [8]. Специальную статью генезису лебяжской культуры посвятила Л.И.Ашихмина. Процесс формирования этой культуры, по ее мнению, оказался более сложным, чем казалось ранее. Не подвергаются сомнению местные истоки лебяжской культуры, однако выявлены и пришлые абашевско-фатьяновские, поздняяковские, а также самусьские черты [9].

При характеристике раннего железного века В.И.Канивец не ограничивается материалами Канинской пещеры, а привлекает весь накопленный к тому времени фонд источников по рассматриваемой эпохе. Эпоха раннего железного века подразделяется им на два периода: ананьинский и гляденовский, первый датируется VIII–III вв. до н.э., второй – II в. до н.э. – III в. н.э. Исследователь отмечает, что ананьинский период в Печорском Приуралье был временем заметных культурных перемен, вызванных все более усиливающимся влиянием Прикамья и Зауралья. Памятники этого периода подразделяются им на два типа.

Первый из них он сопоставляет с ананьинскими памятниками Прикамья, второй – с усть-полуйскими (зауральскими). Два культурных типа выделяются и во втором периоде раннего железного века: собственно гляденовский, входящий в гляденовскую общность Прикамья, и «местный печорычегодский тип», сложившийся в начале I тыс. н.э. на основе гляденовской культуры при заметном влиянии усть-полуйской культуры, в дальнейшем получивший название бичевницкого [10].

Наиболее богатые и разнообразные материалы относятся к эпохе средневековья: серебряная бухарская монета, попавшая в верховья Печоры по Волжско-Камскому торговому пути, железные наконечники стрел, ножи, культовые изделия: обращают на себя внимание восемь литых фигурок и пластин с оттисками и гравированными рисунками. Среди них особый интерес представляют личина с тремя роговидными выступами и литая округлая бронзовая бляха с двумя выступами, рассматриваемая исследователем как схематизированная человеческая личина. Наряду с антропоморфными предметами встречены изображения животных: лося, лошади, птицы, ящера, драконовидных существ с лосиными мордами. Среди принесенных в пещеру предметов выразительную группу составляют украшения из серебра, бронзы и других сплавов: лунница, серьги, браслеты, разнообразные предметы поясной гарнитуры и др. В пещере сохрани-

лось необычайно много костяных наконечников стрел (368 экз.), отнесенных исследователем к эпохе раннего железа-средневековья.

В монографии «Канинская пещера» ученым была предложена первая концепция развития средневековых древностей Печорского Приуралья, которые датированы им IV–XV вв. Выделено два культурных типа эпохи средневековья: ванвиздинский и (условно) нижнеобский (угорский). По мнению В.И.Канивца, ванвиздинская культура, ареал которой в его представлении охватывал территорию от Уральского хребта до р. Яренги, притока нижней Вычегды, и от устья Сысолы до р. Большой Соплес, впадающей в среднюю Печору, сформировалась на «местной вычегдско-печорской основе (вторая группа поселений конца раннего железного века), уходящей корнями в культуру гляденовского типа». С другой стороны, он отмечал некоторую близость памятников ванвиздинского типа вятским и прикамским. Хронологические рамки поселений с керамикой ванвиздинского типа определялись IV–XIII вв. В.И. Канивец выдвинул гипотезу о принадлежности памятников ванвиздинского типа летописной пещере, которую он локализовал в Среднем и Верхнем Припечорье (вслед за А.П.Смирновым и Б.А.Рыбаковым), а также в восточной части бассейна Вычегды, а в раннем средневековье – в средней его части, где впоследствии жила пермь. Касаясь проблемы этнической принадлежности пещеры, исследователь предполагал ее близость перми, основываясь на ряде косвенных данных. Среди них он обращает внимание на сходство исторических путей пещеры и перми, проявившиеся, в частности, в том, что присоединение занимаемых ими территорий к Московскому государству произошло без значительных военных потрясений, тогда как воинственная югра оказывала упорное сопротивление русским военным отрядам. В.И.Канивец полагал, что пещера вошла в состав народа коми и, возможно, говорила на восточно-пермском или близком ему диалекте, существование которого в прошлом, возможно, в бассейне верхней Вычегды, предполагал В.И.Лыткин. Истоки «пещеры» В.И.Канивец видел в культуре лебяжского населения, воспринявшего в I тыс. до н.э. многие элементы ананьинской культуры. По мнению ученого, в раннем железном веке происходило культурное и языковое сближение населения Вычегдского и Печорского бассейнов с ананьинскими и гляденовскими племенами Прикамья, результатом которого стало формирование на этой обширной территории пермоязычного населения. Наряду с пермоязычной пещерой в бассейне Печоры в эпоху средневековья обитали племена, сопоставляемыми с летописной «югрой», – предками современных угорских народов [11].

Проблема летописной пещеры до сих пор остается нерешенной. По мнению А.М.Мурыгина, пещерой оставлены памятники бичевницкой культуры, датируемой им второй половиной I тыс. н.э., которая сформировалась на основе гляденовской при ассимилятивном воздействии со стороны иноэтничного населения. Этнокультурный облик бичевницкой культуры, согласно этой концепции, опре-

деляется преимущественно тундровым этническим компонентом, близким по происхождению донецкому населению арктической зоны Евразии [12]. А.М.Мурыгин сопоставляет с пещерой Эшмесское святилище [13], Т.В.Истомина – Нерицкий могильник X–XI вв. на Средней Печоре [14].

Одной из важнейших в творческой биографии В.И.Канивца является монография «Печорское Приуралье. Эпоха раннего металла» [15]. В этой работе введены в научный оборот археологические памятники, открытые автором в 1964–1969 гг. на Печоре и ее притоках Ижме и Усе. В монографии дано детальное описание всех исследованных памятников, проведен тщательный источниковедческий анализ кремневого и керамического материала, определены его культурно-хронологические позиции. Чрезвычайно важное место в данной работе занимает проблема генезиса и этнической интерпретации выделенных культурных типов.

К раннему медно-бронзовому веку, датируемому первой половиной II тыс. до н.э., исследователем отнесены три культурных типа, два из которых были известны ранее (культуры гребенчатой керамики и турбинская), третий (культурный тип Коршак) – выделен впервые. Памятники гребенчатой керамики фиксируются на обширной территории от верхнего Поволжья до Северного Зауралья. В.И.Канивец одновременно с И.В.Гавриловой пришел к выводу, что они входят в единую этнокультурную общность. По мнению В.И.Канивца, в пределах этой общности выделяется ряд родственных культур, которые генетически восходят к единому источнику – к камско-уральскому неолиту [16]. Эти идеи с определенной корректировкой получили дальнейшее развитие, в частности, в исследованиях В.С.Стоколоса [16].

Особый интерес вызывает выделенный В.И.Канивцом культурный тип Коршак. Он определяет хронологическую позицию стоянки Коршак I примерно серединой II тыс. до н.э. Исследователь считает, что культурный тип Коршак генетически восходит к гребенчато-волнистой неолитической керамике лесной полосы Зауралья. Появление раннеандроидного орнамента в Печорском Припечорье он объясняет «огромным по территориальному охвату продвижением на север культуры степного и лесостепного населения Урала и Обь-Иртышья» [17]. Исследование памятников культурного типа Коршак продолжил В.С.Стоколос, который выделил коршаковскую культуру, локализовав ее преимущественно в европейских тундрах. Вслед за В.И.Канивцом исследователь отмечает зауральский характер данной культуры.

Особо важное место в рассматриваемой монографии отведено древностям ананьинской эпохи. Концепция развития этих древностей ананьинского времени представлена здесь в наиболее развернутом виде. Им было выделено четыре культурных типа на Европейском Северо-Востоке: Ласта, Перный, Ямашор и Чаркабож, которые сформировались на основе предшествующей лебяжской культуры. В.И. Канивец убедительно обосновал свою концепцию, проследив генетическую преемствен-

ность керамики лебяжской культуры и выделенных культурных типов. С одной стороны, были подчеркнуты принципиальные различия между ананьинской культурой Прикамья и соответствующими культурными типами Европейского Северо-Востока, проявляющиеся не только в определенных различиях в керамике, но и принадлежности их к различным культурно-хозяйственным типам. С другой стороны, он выявил некоторые черты близости и сходства как между выделенными культурными типами, так и с ананьинскими памятниками Прикамья, что позволило исследователю включить их в единую культурную (этнокультурную) общность. Причину этой близости В.И. Канивец видел в мощном культурном влиянии ананьинских племен Прикамья на северных соседей, прослеживающемся с VIII в. до н. э. и усилившимся в последующие столетия. Были выявлены культурные различия и между выделенными культурными типами. В частности, в культурных типах Ямашор и Чаркабож больше, чем в Ластинском и Перныйском, подчеркивается зауральское влияние, связанное своим происхождением с областями лесной и лесостепной полосы Зауралья и Приобья. Не исключается и приток на Печору нового населения с востока, первые волны которого прослеживаются еще в эпоху бронзы [18].

Однако наиболее значимым в научном наследии В.И.Канивца является открытие и изучение палеолитических памятников [19]. До начала 1960-х гг. в научной литературе господствовало мнение, что в эпоху плейстоцена Север Восточной Европы представлял собой безлюдную пустыню. Честь открытия первых палеолитических памятников на Печоре принадлежит В.И.Канивцу и геологу Б.И. Гуслицеру. Исследователи в своих поисках основывались на новых палеогеографических данных, накопленных к концу 1950-х гг., согласно которым на Печоре в эпоху плейстоцена длительные периоды похолодания (максимумы гляциалов) сменялись не менее продолжительными периодами значительных потеплений (интергляциалов), когда ледник полностью стаивал, а леса продвигались далеко на север, временами вплоть до побережья Ледовитого океана. Кроме того, было установлено, что граница максимума последнего оледенения проходила гораздо севернее, чем полагали прежде. Долина Вычегды, Выми, почти весь бассейн Печоры даже в период наибольшего развития последнего оледенения были свободны от материковых льдов. В.И.Канивцом и Б.И.Гуслицером было решено начать поиски палеолитических стоянок с обследования гротов пещер. Первой из них стала Медвежья пещера, расположенная в карстовом лого Иорданского у Нижних ключей, выше устья р. Шежим. Раскопки велись в течение трех полевых сезонов – в 1960–1962 гг. В 1961 г. в них принимали участие сотрудники Зоологического института АН СССР Н.К.Верещагин и И.Е.Кузьмина. С 1963 г. началось изучение второго палеолитического памятника на Печоре – стоянки Бызовая. В 1963 г. работы производились комплексным геолого-археологическим отрядом Коми филиала АН СССР при участии сотрудников института «Гидропроект». Первые раскопки ве-

лись В.И.Канивцом совместно с геологами Б.И.Гуслицером и Е.М.Тимофеевым при участии геологов Э.И.Лосевой, А.Н.Симонова, А.И. Юдкевича. С 1964 по 1968 г. на Бызовской стоянке раскопки проводились I Печорским археологическим отрядом под руководством В.И.Канивца, в 1965–1970 гг. периодически работал отряд Б.И.Гуслицера. В этих экспедициях приняли участие палинолог В.С.Ольхова и палеонтолог-теринолог К.И.Исайчев. В 1965 г. экспедиционным отрядом Зоологического института АН СССР в составе Н.К.Верещагина и И.Е.Кузьминой выполнялись палеонтологические исследования.

При рассмотрении проблемы первоначально заселения и хозяйственного освоения крайнего северо-востока Европы В.И.Канивец высказывает предположение о возможности заселения этой территории в ашельскую эпоху, в теплом и влажном миндель-рисском (лихвинском) интергляциале или раннем рисс-вюрме. Стоянка Бызовая была отнесена исследователем к брянскому интервалу среднего валдая (32-25 тыс. л. н.), Медвежья пещера – к концу позднего валдая. Стоянка Бызовая сопоставляется с костенковско-стрелецко-сунгирской общностью и, соответственно, с населением средней полосы Русской равнины. Аналогии материалам Медвежьей пещеры исследователь видит в сибирском круге памятников. На этом основании он в осторожной форме высказывает предположение о возможном сибирском происхождении населения, оставившего стоянку в Медвежьей пещере. Таким образом, В.И.Канивец предполагал две верхнепалеолитические миграционные волны, первая из них отнесена к брянскому времени, вторая – к одному из периодов потепления в позднем валдае [20]. Причину миграции верхнепалеолитических охотников на север исследователь видел в резком сокращении промысловых ресурсов на юге, вызванном истреблением в больших масштабах промысловых животных и оскудением запасов крупной дичи. В.И.Канивец, исходя из абсолютного преобладания костей мамонта на стоянке Бызовая, полагал, что она оставлена охотниками на мамонтов. Стоянка в Медвежьей пещере рассматривается как лагерь охотников на северного оленя.

В настоящее время некоторые положения концепции В.И.Канивца в связи с новыми материалами скорректированы П.Ю. Павловым, который в докторской диссертации обобщил все имеющиеся на данный момент источники по палеолиту северо-востока Европы [21]. Бесспорные свидетельства появления древнего человека на Печоре, судя по новейшим данным, относятся к начальной поре верхнего палеолита (38–34 тыс.л.н.), представленной стоянкой Мамонтова Курья на р. Уса, притоке р. Печора, которая отнесена П.Ю.Павловым к кругу индустрий селетоидного облика. Бызовая отнесена к типу кратковременных стоянок, связанных с природным скоплением остатков крупных млекопитающих – «кладбищем» мамонтов. Исследователем подчеркивается уникальность индустрии стоянки Бызовая. С одной стороны, подтверждается концептуальное положение В.И.Канивца о близости

каменного и костяного инвентаря Бызовой костенковско-стрелецкому, с другой – в нем выделяются «ориньяские» формы, что не позволяет объединить стоянку Бызовая и костенковско-стрелецкие памятники в одну культуру. Возраст Медвежьей пещеры по данным радиоуглеродного анализа определен 18–16 тыс. л.н. Открыт новый памятник финального палеолита – стоянка Пымва-Шор I. В развитие концептуального положения В.И.Канивца о близости стоянки Медвежья пещера сибирским памятникам, П.Ю.Павловым позднепалеолитические стоянки северо-востока Европы и Урала объединены в уральскую культуру, генетически связанную с сибирскими памятниками средней поры верхнего палеолита.

Эпоха мезолита не являлась предметом специального изучения В.И.Канивца, однако в процессе археологических разведок в Припечорье им были обследованы интересные мезолитические памятники, на двух из них (Адак II и Топыд-Нюр V) проведены раскопки. Особый интерес представляют стоянки Топыд-Нюр V, на которой вскрыты остатки оригинального жилища, а также Адак II, расположенной на вершине скалы. Исследователем введены в научный оборот материалы всех известных к тому времени мезолитических комплексов Припечорья, дано определение термина «мезолит», который трактовался и трактуется неоднозначно, обозначены хронологические рамки мезолитической эпохи на Европейском Северо-Востоке (VIII–IV тыс. до н. э.), предложена ее периодизация. На основе технико-типологического анализа кремневого инвентаря он выделяет две одновременные группы памятников. В первую в бассейне Печоры включены Адак I, Адак II, Адзъва I, Зыбун-Нюр II, датируемые VI тыс. до н. э., во вторую – Топыд-Нюр V и Черепанька-ди, отнесенные к V тыс. до н. э. [22]. Материалы по эпохе мезолита, добытые В.И.Канивцом, и в настоящее время представляют большой научный интерес и активно используются исследователями.

Подводя итоги роли и места В.И.Канивца в становлении и развитии археологических исследований на Европейском Северо-Востоке, необходимо отметить следующее. В.И. Канивец стоял у истоков целенаправленного и планомерного археологического изучения рассматриваемого региона. С его деятельностью связано становление и развитие профессиональных археологических исследований Печорского бассейна, где были обнаружены и исследованы сотни одновременных археологических объектов. Особенно важен вклад ученого в открытие и исследование первых палеолитических памятников на Печоре, а также уникальных святилищ. Созданная им и его коллегами источниковедческая база позволила разработать первые культурно-хронологические концепции развития древностей Европейского Северо-Востока. Под научным руководством В.И.Канивца сформировался первый коллектив археологов в Коми филиале АН СССР, многие из которых обязаны ему своим профессиональным становлением. Этим коллективом за небольшой период было опубликовано семь крупных обобщающих монографий, четыре выпуска серийного издания «Материалы по археологии Европей-

ского Северо-Востока», десятки научных статей в местных и центральных изданиях. Благодаря этим исследованиям стала возможной реконструкция древнейшей истории региона. Основные концептуальные положения ученого и в настоящее время представляют значительный научный интерес и получили дальнейшее развитие в работах его учеников и коллег. В целом, В.И.Канивцом и руководимым им коллективом был заложен прочный фундамент для дальнейшего археологического изучения Европейского Северо-Востока.

Литература

1. *Гуслицер Б.И., Канивец В.И.* Пещеры Печорского Урала. М.-Л., 1965. 134 с.
2. *Канивец В.И.* Канинская пещера. М., 1964. С. 27–29.
3. *Там же.*
4. *Там же.* С. 30–32.
5. *Там же.* С. 77–83.
6. *Буров Г.М.* О нижнем хронологическом пределе лебяжской культуры // Советская археология. 1983. №2. С. 34–49.
7. *Стоколос В.С.* Культуры эпохи раннего металла Северного Приуралья. М., 1988. С.155.
8. *Там же.* С.154.
9. *Ашихмина Л.И.* К вопросу о формировании лебяжской культуры // Взаимодействие культур Северного Приуралья в древности и средневековье: Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1993. Вып.12. С. 60–76.
10. *Канивец В.И.* Канинская пещера. С. 83–97.
11. *Там же.* С.98–126.
12. *Мурыгин А.М., Королев К.С., Ляшев В.А.* Миграционный фактор в развитии средневековых культур Северного Приуралья. Сыктывкар, 1984. С. 17. (Научные доклады / Коми филиал АН СССР; Вып. 105).
13. *Мурыгин А.М.* Идолопоклонники у Полярного круга // Памятники Отечества. Земля Коми. 1996. №3. С. 57.
14. *Истомина Т.В.* Нерицкий могильник // Проблемы истории России XVIII–XIX вв. (Научные чтения памяти профессора Ю.Д.Марголиса). Сыктывкар, 1997. С. 106–120.
15. *Канивец В.И.* Печорское Приполярье. Эпоха раннего металла. М., 1974. С. 121–123.
16. *Стоколос В.С.* Культуры эпохи. С. 55–61.
17. *Канивец В.И.* Печорское Приполярье. С. 125.
18. *Там же.* С. 129–145.
19. *Канивец В.И.* Палеолит крайнего Северо-Востока Европы. М., 1976. 95 с.
20. *Там же.* С.86–87.
21. *Павлов П.Ю.* Палеолит северо-востока Европы: Автореф. дис. докт.ра ист.наук. СПб., 2009. 41 с.
22. *Канивец В.И.* Мезолитические стоянки на Средней Печоре и Усе // Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Вып. 4. Сыктывкар, 1973. С. 3–23.

Статья поступила в редакцию 20.06.2012.

УДК 902/903(902)(470.13)

ВКЛАД В.И. КАНИВЦА В АРХЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДРЕВНИХ СВЯТИЛИЩ УРАЛА

А.М. МУРЫГИН

*Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
asweb.hist@ksc.komi.ru*

Сделан краткий анализ истории исследования древних пещерных святилищ Урала, определена степень их изученности к началу научной деятельности В.И. Канивца в Коми филиале АН СССР. Освещены место и роль ученого в археологических исследованиях культовых памятников северных областей Урала.

Ключевые слова: **В.И. Канивец, Урал, пещера, древнее святилище**

A.M. MURYGIN. V.I. KANIVETS CONTRIBUTION IN ARCHAEOLOGICAL STUDY OF ANCIENT SANCTUARIES OF THE URALS

Brief analysis of the history of research of ancient cave sanctuaries of the Urals is made, the degree they have been studied by the beginning of V.I. Kanivets scientific activity in the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences is determined. On this background the place and role of the scientist in archaeological researches of cult sites of northern areas of the Urals are shown.

Key words: **V.I. Kanivets, the Urals, cave, ancient sanctuary**

Наиболее яркими страницами научной биографии В.И. Канивца, наряду с исследованием поселений древнекаменного века и периода раннего металла, являлись полевые работы по изучению древних североуральских жертвенных мест и обсуждение их результатов в ряде научных публикаций.

Из многочисленных археологических памятников Северной Евразии, в центре внимания исследователей всегда находились объекты культового назначения. В их ряду, несомненно, основное место занимают североуральские святилища в пещерах. В первую очередь это связано с тем, что культурный слой жертвенных мест содержит разнообразный вещевой инвентарь, обладающий уникальными возможностями для реконструкции мировоззрения древнего населения. К настоящему времени различные подземные полости (пещеры, гроты, навесы) в большом количестве исследованы на восточных и западных склонах северной половины Уральского хребта (далее Северный Урал). На этой территории они получили распространение, начиная от бассейна р. Чусовой на юге и далее на север, до выхода за пределы Урала, вплоть до о-ва Вайгач в арктической зоне.

Начало изучения пещер Северного Урала связано с академическими путешествиями 70-х гг. XVIII в. (Н.П. Рычков, П.С. Паллас, И.И. Лепехин). Они попали в поле зрения ученых и путешественников в связи с горными работами или с общим географическим изучением края. Однако специальных исследований этих карстовых образований не производилось.

В XIX в. изучение пещер Северного Урала было обусловлено, в основном, развитием геологических

изысканий (В.М. Севергин, А.Н. Чеклецов, П.М. Бурнашев, Э.К. Гофман и др.). Уже в первой половине XIX в. появились труды, содержащие сведения о пещерах Северного Приуралья, в которых много позже были найдены остатки жертвоприношений (Уньинская; рисунок, 1). Со второй половины XIX столетия североуральские пещеры стали интересовать ученых также в связи с изучением древностей и ископаемой фауны (В.Н. Берх, А.П. Иванов, Н.Л. Гондатти, С.И. Сергеев, Ф.А. Теплоухов и др.). К этому же времени восходят и первые свидетельства о некогда совершавшихся местным населением в пещерах жертвоприношениях и начало их археологического изучения. В 1878 г. горный инженер Ф.Ю. Гебауэр произвел раскопки в пещере в среднем Зауралье (сейчас – пещера им. Гебауэра). В 1893–1894 гг. в Чаньвенской пещере (бассейн р. Яйва – приток р. Кама) провел раскопки член Пермской ученой архивной комиссии С.И. Сергеев. В 1900 г. появились сведения о Канинской пещере на верхней Печоре (рисунок, 2), в которой на поверхности сохранились следы недавних жертвоприношений (Н.Е. Ончуков).

С начала и до второй половины XX в. в различных частях Урала продолжались обследования пещерных мест жертвоприношений, произведенные как любителями-краеведами (Г.С. Лещев и др.), так и специалистами-археологами (Б.Н. Граков, Н.А. Прокошев, П.Ю. Павлов, В.Т. Петрин, Ю.Б. Сериков, С.Е. Чаиркин, В.Н. Чернецов и др.).

Однако территория крайнего Северо-Востока европейской части России вплоть до конца 50-х гг. прошлого столетия продолжала оставаться в числе

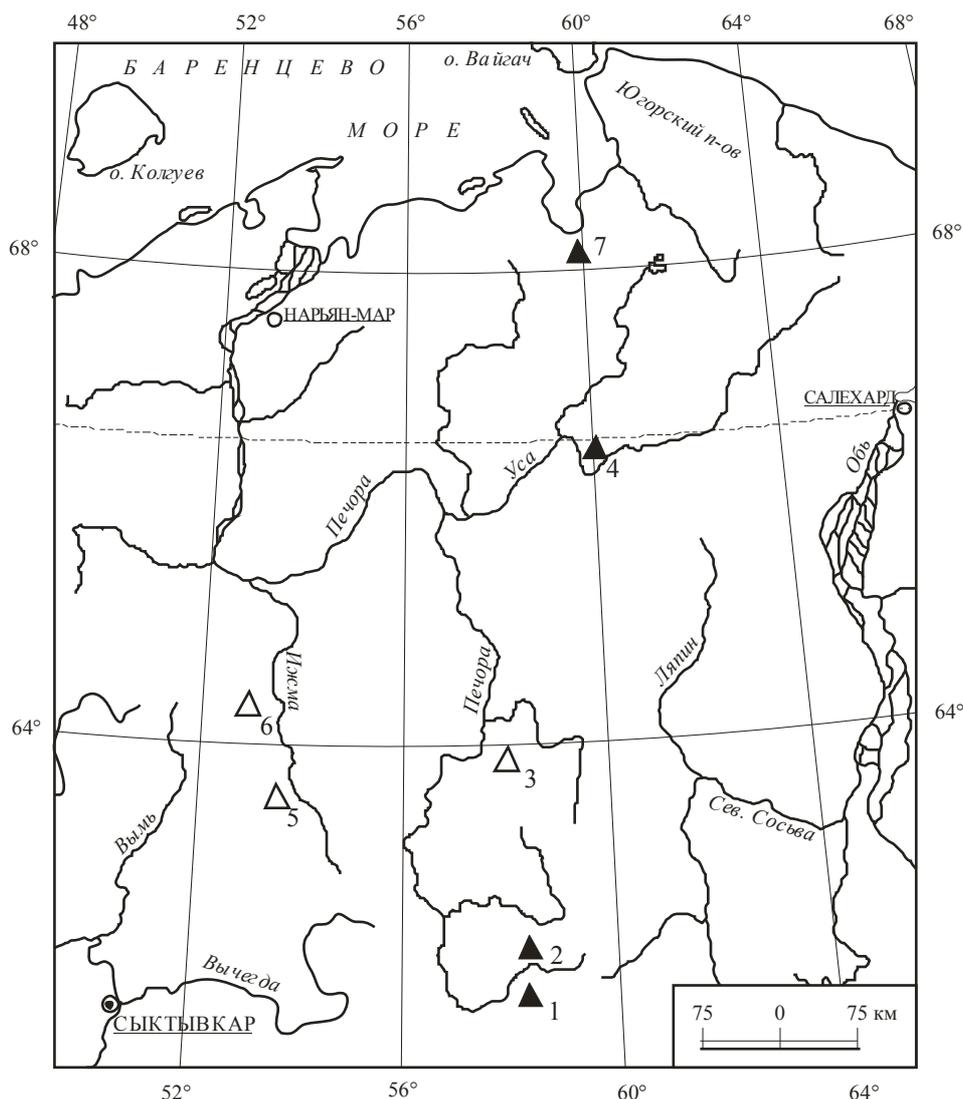


Рис. Местоположение древних жертвенных мест на крайнем Северо-Востоке Европы.

1 – Уньинская пещера; 2 – Канинская пещера; 3 – грот Арка; 4 – Адакская I пещера; 5 – Седьюсская пещера; 6 – Эшмесская пещера; 7 – Хэйбидя-Пэдарское жертвенное место (1, 2, 4, 7 – жертвенные места, исследованные В.И. Канивцом).

наиболее слабо изученных в археологическом отношении областей Европы, в том числе и в отношении памятников древнего языческого культа. В Печорском Приуралье до 1959 г. раскопки вообще не производились. В то же время, начиная с середины XIX в., различные сведения о печорских древностях собрали путешественники и представители естественнонаучных дисциплин (П.С. Ефименко, А.В. Журавский, Ф.М. Истомин, М.А. Кастрен, П.Н. Крузенштерн, И.И. Краснов, Н.А. Кулик, В.А. Русанов, М.К. Сидоров, А.А. Штукенберг). В первой четверти XX в. на верхней Печоре была найдена Медвежья пещера, где впоследствии обнаружена палеолитическая стоянка. В это же время стали известны также пещеры с археологическими находками, расположенные на восточных склонах Тиманского кряжа – Седьюсская и Эшмесская (рисунок, 5, 6). С 1939 по 1975 г. сборы на поверхности десятков разрушенных археологических памятников в Большеземельской тундре и бассейне Печоры бы-

ли произведены геологом Г.А. Черновым, в том числе в 1947 г. им открыто наземное Хэйбидя-Пэдарское жертвенное место на р. Море-ю (рисунок, 7) [1, 2]. В 1957 и 1958 гг. геологом Б.И. Гуслицером были найдены древние жертвенные места в Уньинской и Канинской пещерах на верхней Печоре [3, 4].

Таким образом, к концу 1950-х гг. на Северном Урале и прилегающих к нему территориях четко обозначился новый круг археологических источников – жертвенные места. Однако степень их изученности на первом этапе, в период XVIII – сер. XX вв., была не вполне удовлетворительной с научной точки зрения. Исследования пещер носили больше описательный характер. Меньше внимания уделялось изучению находящихся в них отложений, содержащих палеонтологический, палинологический, археологический и палеоантропологический материалы.

Новый импульс в изучении культовых памятников Урала исходил из Коми филиала АН СССР.

Конец 50-х гг. минувшего столетия для финно-угорского раздела отечественной археологии ознаменовался резким подъемом археологических исследований в бассейне р. Печора, началом систематических археологических работ в Печорском Приуралье и бурным ростом источниковой базы региона по всем эпохам древней истории – от палеолита до средневековья. Их активизация была связана с подготовкой проектного задания по плану переброски стока рек Вычегды и Печоры в бассейн Волги. В 1959 г. Коми филиал АН СССР организует Печорский археологический отряд под руководством В.И. Канивца, который прежде всего приступил к раскопкам верхнепечорских древних святилищ в Уньинской и Канинской пещерах.

С этого времени в изучении жертвенных мест не только Северного, но, возможно, и всего Урала, наступил очень важный, качественно иной, чем предыдущий, второй этап, характеризующийся профессиональным научным подходом в их исследовании. Он основывался на целенаправленно проводимых исчерпывающих археологических раскопках, комплексном изучении четвертичных отложений и полной характеристикой святилищ.

Несмотря на удаленность от транспортных путей и труднодоступность, В.И. Канивцом в кратчайшие сроки (полевые сезоны 1959–1960 гг.) были произведены раскопки этих археологических памятников, в результате которых впервые для археологии Уральского региона в целом был получен очень разнообразный инвентарь. Он включал десятки тысяч костей животных, несколько тысяч предметов из керамики, стекла, цветных металлов, железа, кости и кремня. Были проведены всесторонняя обработка полученных материалов с применением различных естественнонаучных дисциплин и введение их в научный оборот. Профильными специалистами изучена стратиграфия отложений в пещерах, произведены определения фаунистического материала из плейстоценовых и голоценовых отложений (около 10 тыс. костей). Спектральному анализу подвергнуты многочисленные изделия из цветных металлов, определены монетные находки.

Оба этих памятника до настоящего времени остаются важнейшими источниками по истории населения Печорского Приуралья на протяжении более 2500 лет – от второй половины II тыс. до н. э. и почти до середины II тыс. н. э. Итогом раскопок верхнепечорских пещерных жертвенных мест стали научные статьи и монография «Канинская пещера» [5–7]. Дополнив их материалами разведок печорских поселений, В.И. Канивец уже к 1964 г. создал первую в финно-угорской археологии северо-востока Европы историко-культурную схему становления и развития местных археологических культур от эпохи бронзы до средневековья, основывающихся на новой обширной источниковедческой базе.

В 1963 г. Печорский археологический отряд Коми филиала АН СССР под руководством В.И. Канивца начал спелеологическую разведку на реках Щугор и Подчерем, правых притоков р. Печора, с

привлечением представителей спелеологической секции Московского клуба туристов. В нижнем течении р. Подчерем ученым обследовано четыре грота, в том числе – Арка, вблизи впадения ручьев Большая и Малая Дроватяница. Однако остатки небольшого древнего святилища в гроте Арка (рисунк, 3) были выявлены и исследованы гораздо позже – в 1998, 2000 гг. [8, 9].

В 1967 г. В.И. Канивец, спустя ровно 20 лет после открытия геологом Г.А. Черновым [1, 2], произвел раскопки на Хэйбидя-Пэдарском жертвенном месте в Большеземельской тундре. По составу жертвенного инвентаря этот культовый объект, функционировавший на протяжении середины I – первой половины II тыс. н. э., является одним из богатейших средневековых святилищ не только крайнего Северо-Востока Европы, но и всего севера Евразии. Свое отношение к полученным материалам В.И. Канивец обнаружил в выступлении на III Международном конгрессе финно-угроведов, состоявшемся в г. Таллине в 1970 г., и которое было опубликовано в тезисах этого авторитетного Международного форума ученых [10]. Однако материалы раскопок ученого до 1984 г. не были введены в научный оборот, а сам памятник был полностью раскопан только в 1987 г., а результаты исследования опубликованы в 1992 г. [11, 12].

В 1969 г. В.И. Канивцом на р. Усе в Адакской I пещере (рисунк, 4) было открыто еще одно древнее святилище, которое исследовано им же в 1970–1971 гг. [13–15]. Раскопки памятника завершены в 1984–1985 гг. [16]. Среди археологических древностей можно отметить кремневые и костяные наконечники стрел, украшения из меди, серебра и стеклянные бусы, медные литые фигурки различных мифологических существ, включая и антропоморфные изображения, серебряные монеты. Материалы памятника до сих пор монографически не описаны и в полном объеме не вошли в научный оборот. В районе святилища из Адакской I пещеры В.И. Канивцом в 1970 г. и С.Ю. Васильевым в 1981 г. были найдены еще пять пещер с немногочисленными археологическими находками.

После 10-летнего перерыва в исследовании печорских святилищ, объективно связанного с существенными изменениями в кадровом составе коллектива археологов Института ЯЛИ Коми филиала АН СССР, наступил новый, третий этап в их изучении. Были полностью исследованы уже известные и частично раскопанные ранее святилища (Адакское I, Хэйбидя-Пэдара) [11, 12, 16], полностью раскопаны новые (Арка, Эшмесское) [9, 12, 17]. Исследование святилищ обособилось в отдельную тематику, были опубликованы научные работы, обобщающие материалы древних мест жертвоприношений в рамках всего Печорского Приуралья.

Несмотря на то, что сейчас в уральской археологии источниковая база по древним святилищам существенно выросла [см. напр.: 18–20 и др.], материалы, полученные Вячеславом Ильичем, примененная им полевая методика и комплексный подход к обработке источников не утратили своего значения до сих пор.

Работы В.И. Канивца, посвященные местам отправления древнего языческого культа, можно отнести к числу тех немногих результирующих исследований, в которых не просто констатируется факт их наличия с описанием находок и их хронологической и культурной атрибуцией. Обладая глубокой эрудицией и широтой научного кругозора, ученый в своих работах провел не только всесторонний анализ собственно археологического материала, но исполнил его в контексте имевшихся в его распоряжении многочисленных исторических и этнографических источников, реконструировал некоторые черты духовной культуры финно-угорского населения Припечорья. Они заложили надежный фундамент для дальнейшего исследования ранних форм религиозных представлений разноэтничного населения северных областей Урала.

Публикация подготовлена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Традиции и инновации в истории и культуре», направление 1 «Преемственность и трансформации в развитии древних и средневековых обществ по археологическим и антропологическим данным», проект № 12-П-6-1002 «Формирование и развитие археологических культур эпохи железа на территории Европейского Северо-Востока: традиции и инновации».

Литература

1. Чернов Г.А. Жертвенное место в северной части Большеземельской тундры // КСИИМК. М.-Л., 1951. Вып. 39. С. 84–88.
2. Чернов Г.А. Хэйбидя-Пэдарское жертвенное место в Большеземельской тундре // Советская археология. 1955. № 23. С. 291–320.
3. Гуслицер В.И. Пещеры бассейна р. Уньи // Известия Коми филиала географического общества СССР. Сыктывкар, 1959. Вып. 5. С. 43–52.
4. Гуслицер В.И., Канивец В.И. Археологические находки в Канинской пещере на верхней Печоре. Сыктывкар, 1960. С.118–129. (Труды Коми филиала АН СССР. Вып. 9).
5. Канивец В.И. Первые результаты раскопок в Уньинской пещере // Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1962. Вып. 1. С. 103–144.
6. Канивец В.И. Среднеазиатские и германские монеты на Северном Урале // Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1962. Вып. 1. С. 145–154.
7. Канивец В.И. Канинская пещера. М.: Наука, 1964. 136 с.
8. Павлов П.Ю., Любашков С.В. Пещерное жертвенное место в нижнем течении р. Подчерем // Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе: Докл. 1-й науч. конф. ФЦП «Интеграция». Сыктывкар, 1998. Т. 1. С. 83–84.
9. Багин А.Л. Скальное святилище Арка в Среднем Припечорье // Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Вып. 17: Памятники эпохи камня, раннего металла и средневековья Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 2005. С. 62–68.
10. Канивец В.И. Древнее святилище в Большеземельской тундре // III Международный конгресс финно-угроведов: Тез. докл. Таллин, 1970. Т. 2. С. 12.
11. Мурыгин А.М. Хэйбидя-Пэдарское жертвенное место. Сыктывкар, 1984. 51 с. (Науч. докл. / Коми филиал АН СССР; вып. 114).
12. Мурыгин А.М. Печорское Приуралье: эпоха средневековья. М.: Наука, 1992. 182 с.
13. Канивец В.И. Изучение древностей Печорского Приполярья // Археологические открытия 1969 г. М.: Наука, 1970. С. 8–9.
14. Канивец В.И. Новые исследования в субарктической зоне Приуралья // Археологические открытия 1970 г. М.: Наука, 1971. С. 7–8.
15. Канивец В.И. Работы в Печорском Приполярье // Археологические открытия 1971 г. М.: Наука, 1972. С. 6–7.
16. Рябцева Е.Н., Семенов В.А. Адакское пещерное святилище на реке Усе и проблемы освоения Полярного Урала // Краткие сообщения Института археологии. М.: Наука, 1990. Вып. 200. С. 66–72.
17. Мурыгин А.М. Эшмесское пещерное святилище эпохи средневековья в Печорском Приуралье // Археология, этнография и антропология Евразии. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2011. № 3 (47). С. 94–103. Murugin A.M. Medieval sanctuary at Eshmess cave in the Pechora Urals // Archaeology Ethnology & Anthropology of Eurasia 39/3 (2011). P. 94–103.
18. Культурные памятники горно-лесного Урала / В.Д. Викторова, В.Н. Широков, С.Е. Чаиркин, Ю.Б. Сериков, А.Ф. Шорин, Н.А. Алексашенко, Н.М. Чаиркина, В.Ф. Кернер, Р.Б. Волков. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 429 с.
19. Изосимов Д.А. Культурные памятники населения горно-лесной полосы среднего Предуралья: автореф. дис. ... канд. ист. наук. Екатеринбург, 2007. 21 с.
20. Сериков Ю.Б. Пещерные святилища реки Чусовой. Нижний Тагил, 2009. 368 с.

Статья поступила в редакцию 12.03.2012.

УДК 903(470.13)

ВКЛАД В.И. КАНИВЦА В ФОРМИРОВАНИЕ ФОНДА АРХЕОЛОГИИ И ЭКСПОЗИЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО МУЗЕЯ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Т.Ю. ТУРКИНА

*ГБУ РК «Национальный музей Республики Коми», г. Сыктывкар
nmrk@list.ru*

В публикации рассматривается вклад В.И. Канивца в формирование археологических коллекций Национального музея Республики Коми. Благодаря его деятельности, фонды музея пополнились предметами, позволившими наиболее полно представить в географическом и хронологическом плане этапы древней истории Европейского Северо-Востока и раскрыть особенности материальной и духовной культуры населения региона.

Ключевые слова: археологические коллекции, музейное дело, Европейский Северо-Восток, пещерные святилища, экспозиционно-выставочная деятельность, история археологического изучения

T.YU. TURKINA. THE CONTRIBUTION OF V.I.KANIVETS IN FORMATION OF COLLECTION OF ARCHAEOLOGICAL ITEMS, AND THE EXPOSITION OF THE NATIONAL MUSEUM OF THE REPUBLIC OF KOMI

The contribution of V.I.Kanivets in formation of archaeological collections of the National Museum of the Komi Republic is considered. Due to his activity the museum collections were replenished with new items which allowed most full understanding, in geographical and chronological aspects, the stages of ancient history of the European Northeast and to reveal peculiarities of material and spiritual culture of the population of the region.

Key words: archaeological collections, museum activity, European Northeast, cave sanctuaries, exhibition activity, history of archaeological studying

Фонды Национального музея Республики Коми (НМРК) насчитывают более 250 тыс. единиц хранения. Самым многочисленным собранием является фонд археологии (более 100 тыс. единиц хранения), в котором представлены материалы около 250 археологических памятников (поселения, святилища, могильники, местонахождения). Хронологически коллекция охватывает все периоды древнейшей истории Европейского Северо-Востока (ЕСВ).

Начало формирования археологической коллекции музея относится к 1920-м гг. Основную массу ранних поступлений фонда составили материалы, полученные в ходе археологических исследований А.С. Сидорова и экспедиции Главнауки под руководством А.П. Смирнова, а также случайные находки, поступившие от жителей региона. Большинство из них – предметы, найденные на могильниках, а также инвентарь нескольких поселений, которые преимущественно относились к эпохе средневековья.

Географически данные памятники были найдены в бассейне р. Вычегда, «белым пятном» на археологической карте оставались обширные тер-

ритории Печорского бассейна. Вплоть до конца 1950-х гг. имеющиеся материалы не давали целостной картины появления и расселения древнего населения на территории ЕСВ. Недостаточность сведений делала невозможным строительство полноценной экспозиции, посвящённой древней истории региона.

Интенсивное пополнение фондов музея предметами археологии начинается с конца 1950-х гг. и связано с именами археологов Коми филиала АН СССР, начавших планомерное обследование территории ЕСВ. Среди них особое место занимает В.И. Канивец – первый исследователь археологических памятников бассейна р. Печора, отчетливо понимавший необходимость музеефикации и государственного хранения и учёта предметов, полученных в результате археологических раскопок. Со своей стороны, Республиканский краеведческий музей (РКМ, ныне НМРК) был заинтересован в сотрудничестве с археологами, поскольку существовала необходимость в качественных и значимых археологических коллекциях, позволивших бы раскрыть в экспозиционно-выставочном пространстве особенности материальной и духовной культуры населения всей территории ЕСВ. В связи с этим в

экспедициях В.И. Канивца активное участие принимал заведующий отделом истории РКМ – А.М. Рубцов, а музей оказывал финансовое содействие исследованиям Печорского археологического отряда (далее ПАО) Коми филиала АН СССР, которым руководил В.И. Канивец. Благодаря этому сотрудничеству, фонды РКМ пополнились находками из раскопок памятников Печорского бассейна. Помимо археологических материалов, в фондах хранятся видовые фотографии окрестностей Канинской и Уньинской пещер, сделанных П.М. Митюшовым во время экспедиции 1959 г.

Первое поступление коллекций из раскопок В.И. Канивца относится к 1961 г. В него вошли материалы экспедиций ПАО 1959–1960 гг. Целью работ этих двух сезонов было обследование верховьев р. Печора и её притоков в предгорьях Урала на территории Усть-Уньинского сельсовета Троицко-Печорского района Коми АССР. В этом районе находятся пещеры, обследовавшиеся в 1955–1958 гг. геологом Б.И. Гуслицером, который в процессе геоморфологических изысканий выявил археологические находки.

За 1959–1960 гг. В.И. Канивцом была изучена Канинская пещера и начаты раскопки в Уньинской. В 1961 г. начаты раскопки в Медвежьей пещере, найденный инвентарь в 1962 г. был передан в РКМ. В 1966 г. в естественнонаучный фонд поступил палеонтологический материал с этого памятника. В

1970 г. в музей были переданы пять орудий труда из раскопок стоянки Бызовая (1964–1965 гг.) и фаунистические останки с памятника. В.И.Канивец передал также артефакты раскопок Китоставского поселения (стоянки), Усть-Уньинской, Шайтановской, Зареченской стоянок. Общее количество переданных предметов составляет 4095 единиц хранения (таблица); самой многочисленной является коллекция Канинского пещерного святилища – 2566 предметов, вторая по численности – коллекция Уньинского пещерного святилища – более 600 предметов.

Открытие В.И. Канивцом памятников, материалы из раскопок которых хранятся в настоящее время в НМРК, в частности Канинской, Уньинской, Медвежьей пещер, стоянки Бызовой, в 1960-е гг. стало сенсацией в научном мире, перевернув представления о первоначальном заселении ЕСВ. Был вскрыт целый пласт богатейшей культуры населения Печорского бассейна, начиная с эпохи верхнего палеолита, значительно расширивший данные о древнем населении ЕСВ. Найденные В.И. Канивцом предметы относятся к различным категориям инвентаря: культовые изделия, орудия охоты и рыболовства, бытовые предметы, украшения, оружие. Они изготовлены из различных материалов: кости, металла, камня, стекла. Целый ряд из них уникален для ЕСВ, особенно вещи, найденные при раскопках пещерных святилищ – Канинского и Уньинского. Наиболее яркими представляются предметы «зве-

Коллекции, переданные В.И. Канивцом в Национальный музей Республики Коми

Название памятника	Тип памятника	Дата поступления	Источник поступления	Номер коллекции	Кол-во ед. хранения
Бызовая	стоянка	07.09.1970	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1964–1965 гг.	КП 5287	кости
		29.10.1970	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1964–1965 гг.	КП 6827	5
Зареченская	стоянка	26.12.1961	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1959 г	КП 4793/4	68
			АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1960 г.	КП 4794/5	30
Канинская пещера	святилище (жертвенное место)	26.12.1961	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1959 г.	КП 4793/2	1920
			АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1960 г.	КП 4794/1	646
Китоставское	поселение	26.12.1961	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1959 г.	КП 4793/3	282
Крутая гора (?)	стоянка	26.12.1961	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1960 г.	КП 4794/4	32
		1969	АЭ КФАН, Б.И. Гуслицер, В.И. Канивец, 1968 г.	КП 6826	10
Медвежья пещера	стоянка	26.12.1961	АЭ КФАН, Б.И. Гуслицер, В.И. Канивец, 1961 г.	КП 4794/2	58
					30
		24.01.1966	АЭ КФАН, Б.И. Гуслицер, В.И. Канивец, 1960 г.	КП 4951	
		25.05.1962	АЭ КФАН, Б.И. Гуслицер, В.И. Канивец, 1961 г.	КП 4807	96
		18.11.1986	Передал А.А. Готов , сотрудник экспедиции Б.И. Гуслицера, 1980 г.	КП 8959	2
Уньинская пещера	святилище (жертвенное место)	26.12.1961	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1960 г.	КП 4793/1	694
Усть-Уньинская	стоянка	26.12.1961	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1960 г.	КП 4793/5	156
Шайтанская	стоянка	26.12.1961	АЭ КФАН, В.И. Канивец, 1960 г.	КП 4794/3	35

рино стиля», монеты-брактеаты, украшения из драгоценных металлов, орудия из кости.

Коллекции В.И. Канивца имеют важное значение не только с научной, но и с экспозиционно-выставочной точки зрения. Значительная часть экспонатов была включена в постоянную экспозицию отдела истории НМРК, созданную в 1985 г., которая открывается залом «Первобытнообщинный строй на территории ЕСВ». Материалы, переданные ученым, занимают достойное место среди других экспонатов зала. Именно благодаря его работе, музей имеет возможность представить все периоды древней истории населения ЕСВ. Уникальными материалами из раскопок В.И. Канивца полностью отражена подтема «Палеолит», рассказывающая посетителям о периоде первоначального заселения ЕСВ. Экспонируемые предметы представляют интерес не только для обычных посетителей, но и для специалистов, поскольку и стоянка Бызовая, и Медвежья пещера представляют собой редкие типы палеолитических памятников, перевернувшие в научном сообществе представления об эпохе верхнего палеолита на Европейском Севере.

Несомненным украшением экспозиции является комплекс «Канинское пещерное святилище». Богатые коллекции пещерных святилищ охватывают длительный период времени их функционирования. В экспозицию включён комплекс, рассказывающий о религиозных воззрениях населения ЕСВ в раннем железном веке, обращающий внимание на самобытность и глубину духовной жизни населения Печорского бассейна.

Подводя итог вышеизложенному, нужно ещё раз подчеркнуть, что материалы, переданные В.И. Канивцом, являются жемчужиной археологической коллекции НМРК. Музейное собрание обогатилось инвентарём уникальных археологических памятников Печорского бассейна. По статистике оборота фонда археологии они по настоящее время – одни из наиболее востребованных в экспозиционной и научной деятельности Национального музея.

Статья поступила в редакцию 3.07.2012.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 630*6

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ЛЕСНОГО СЕКТОРА: ТЕОРИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ, ПРАКТИКА

Н.М. БОЛЬШАКОВ, В.В. ЖИДЕЛЕВА

*Сыктывкарский лесной институт, г. Сыктывкар
institut@sfi.komi.com*

Изложен новый подход к оценке устойчивого развития регионального лесного сектора экономики, учитывающий системную целостность его структуры. Предложена новая методология расчета уровня устойчивого развития, основанная на синтетической модели дуального лесного сектора: лесное хозяйство – лесопользование и показатели базовых общественных отношений. Рассмотрены состояние, возможности и ограничения устойчивого развития лесного сектора. Показаны методические и практические возможности исследования данной проблемы.

Ключевые слова: Республика Коми, лесное хозяйство, индикаторы и критерии устойчивого развития, синтетическая модель динамики развития лесного сектора, количественная оценка качества управления

N.M. BOLSHAKOV, V.V. ZHIDELEVA. CONCEPTUAL BASES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONAL FOREST SECTOR: THEORY, METHODOLOGY, PRACTICE

A new approach to estimation of sustainable development of the regional forest sector is described taking into account systemic integrity of its structure. A new methodology for calculating the level of sustainable development is suggested arising from the synthetic model of dual forest sector: forest economy – forest use, as well as the indices of basic social relations. The conditions, possibilities and limitations for sustainable development of the forest sector are considered. Methodological and practical research possibilities of this problem are shown.

Key words: Komi Republic, forestry, indicators and criteria of sustainable development, synthetic model for the forest sector development dynamics, quantitative assessment of quality of management

Теоретические подходы

В настоящее время в научном знании на первое место выдвигаются методы синтеза. Аналитический способ мышления, который сводит сложное к простому, подходит к концу. Требуется не редуцировать, а построить сложное из тех начал, которые имеются. Действующая общепринятая концепция лесного сектора основана на понятии так называемой пищевой цепи: хищник (арендатор, лесопользователь) – жертва (лесное хозяйство, лес как экосистема). Однако существует и другая концепция, которая сформирована на отношениях взаимной помощи как двигателе развития и создателе эффекта синергии.

Конвергентный лесной сектор экономики представляет собой биполярную, или интегральную систему. В ней находятся в равновесии два противоположных начала – лесное хозяйство и лесопользование.

Они построены на разных эколого-экономических принципах. Надо выяснить эти принципы и развести их, а потом искать их рациональное соединение в целостной системе лесного сектора. Лесной сектор рассматривается нами как саморазвивающаяся система, которая воспроизводит структуру и социально-экономические отношения своих элементов. Форма лесного сектора с двумя регуляторами адекватна современному пути развития биполярных явлений. Данный методологический подход предлагает и осуществляет синтетический способ мышления. Он и принят нами в настоящей работе.

Для достижения и сохранения устойчивого развития необходим мониторинг состояния системы лесного сектора региона, в том числе по некоторому набору критериев и индикаторов, дающих возможность регулярно анализировать параметры ее устойчивости. Набор таких критериев у разных исследователей различается ([1–5]; табл. 1).

Таблица 1

Группы критериев и индикаторов устойчивого управления лесами и лесным хозяйством

Автор	Основные критерии и индикаторы
Рослесхоз (1998)	1. Поддержание и сохранение продуктивной способности лесов – 9 индикаторов 2. Поддержание приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов – 4 индикатора 3. Сохранение и поддержание защитных функций лесов – 4 индикатора 4. Сохранение и поддержание биологического разнообразия лесов и их вклада в глобальный углеродный цикл – 7 индикаторов
Страхов В.В. (2001)	1. Поддержание и сохранение продуктивной способности лесов – 9 индикаторов 2. Поддержание приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов – 4 индикатора 3. Сохранение и поддержание защитных функций лесов – 3 индикатора 4. Сохранение и поддержание биологического разнообразия лесов и их вклада в глобальные экологические циклы – 8 индикаторов 5. Поддержание социально-экономических функций лесов – 7 индикаторов
Горшкова Ю.О. (2008)	Базовые индикаторы 1. Процент использования расчетной лесосеки по рубкам главного пользования 2. Процент лесистости 3. Доля площади земель лесного фонда под спелыми и перестойными лесами 4. Доля площади лесов усыхающих или погибающих под воздействием неблагоприятных факторов (пожаров, вредителей и болезней) 5. Коэффициент восстановления лесов Дополнительные индикаторы 1. Доля площади лесов, представленных мягколиственными породами в общей площади лесного фонда Специфические индикаторы 1. Процент мягколиственных пород в структуре спелых и перестойных насаждений 2. Процент территории земель лесного фонда, загрязненных цезием-137
Всемирный фонд дикой природы (WWF России) и Национальное рейтинговое агентство (НРА) (2011)	1 Организация лесоуправления и лесопользования – 6 индикаторов 2. Правоприменение в лесном секторе – 5 индикаторов 3. Обеспечение качества лесных ресурсов и жизнеспособности лесов – 10 индикаторов 4. Экономическая эффективность управления лесами – 5 индикаторов 5. Обеспечение экологической устойчивости управления лесами – 8 индикаторов 6. Участие общественности в управлении лесами – 4 индикатора
Секретариат министерской конференции по защите лесов Европы (Forest Europe) (2011) (Панъевропейские критерии и индикаторы)	1. Лесные ресурсы и их роль в депонировании углерода 2. Жизнеспособность лесных экосистем 3. Продуктивные функции лесов 4. Биологическое разнообразие лесных экосистем 5. Защитные функции и управление лесами 6. Социально-экономические функции лесов 7. Лесная политика, законодательство и организационная структура по обеспечению устойчивого управления лесами 8. Лесная политика, законодательство и организационная структура по отдельным направлениям

Авторы выделяют отдельные группы критериев и индикаторов устойчивости. Каждая группа может содержать до семи критериев и 38 количественных показателей. Чтобы измерить устойчивость, процесс Forest Europe разработал восемь критериев по устойчивому развитию в Европе и других регионах и набор из 52 количественных и качественных индикаторов. Например, WWF России и Национальное рейтинговое агентство (НРА) в группу «Организация лесоуправления и лесопользования» включают следующие критерии: списочная численность работников лесничеств; соотношение размера оплаты труда работников лесничеств и учреждений бюджетной сферы; доля площади земель лесного фонда, переданных в аренду для заготовки древесины, рекреационной деятельности и иных видов лесопользования; доля площади земель лесного фонда, на которую имеются лесостроительные материалы не старше 10 лет.

Влияние указанных критериев и индикаторов на устойчивое развитие регионального лесного сектора экономики во многом зависит от методологии исследования, особенностей использования и воспроизводства лесных ресурсов. Каждый субъект в силу существенных различий в экономическом и социальном развитии и экологическом состоянии территорий должен найти собственные оптимальные решения в области организации многофункционального, непрерывного и неистощительного использования лесных ресурсов, имеющих как рыночную стоимость (через максимизацию рентного дохода), так и предназначенных для удовлетворения общественных потребностей бесплатно [6].

Один и тот же показатель может, по мнению одних исследователей, считаться индикатором устойчивого развития, а по мнению других, – быть относительно малозначимым, т.е. иметь разнонаправленный характер. Чтобы оценить влияние ука-

занных индикаторов на устойчивое развитие лесного сектора, используют сигнальный подход. Он изучает и сравнивает индикаторы с лагом 5–10 лет. Это позволяет сделать вывод об ухудшении или улучшении состояния лесного фонда и о биологическом разнообразии лесов исследуемого региона. Но при этом возникает ряд вопросов.

1. При каком значении индикатора следует принимать меры совершенствования лесопользования и лесосоуправления?

2. Какое количество индикаторов устойчивого развития должно измениться? На какой индикатор ориентироваться? Существует ли взаимосвязь между изменением индикаторов? Другими словами, какое совместное изменение индикаторов лесопользования и лесосоуправления может увеличить устойчивость развития лесного сектора региона как единой целостной системы двух взаимосвязанных процессов?

3. Насколько индикаторы устойчивого развития дают возможность сравнения и сопоставления отдельных предприятий, лесничеств, регионов и стран для эффективного управления в целях обеспечения устойчивого развития лесного сектора в целом?

Методология исследования

Лесной сектор экономики разделен на две, не равные в своих свойствах половины: лесное хозяйство и лесопользование. Эта несхожесть усиливает воздействие одной половины на другую и инициирует ее развитие. Введенное в 1637 г. Р.Декартом в аналитическую геометрию понятие прямого (декартова) произведения позволяет произвольное линейное преобразование представлять в виде произведения двух других независимых линейных преобразований [7]:

$$A = K \cdot R, \quad (1)$$

где A – линейное преобразование, выражающее непрерывно рождающееся новое измерение будущего устойчивого развития, в нашем случае лесного сектора, «сумму дилемм» настоящего; справа стоит произведение линейных преобразований K и R – матриц, обладающих различной групповой структурой, причем K – преобразование, в нашем случае лесопользования, отвечающее за процессы усиления – ослабления, это преобразование коэволюции; R – ортогональное преобразование лесного хозяйства, отвечающее за симметрию, гармонию, оптимальность.

Физический смысл формулы (1) заключается в том, что устойчивое развитие лесного сектора в реальности содержит, как минимум, две качественно разные характеристики, или функции состояния: лесопользование и лесное хозяйство. Целью математического описания взаимодействия и связей в системе устойчивого развития лесного сектора является получение оптимальных решений для устойчивого управления лесным сектором. Оптимальная структура проектируемой системы устойчивого развития лесного сектора получается тогда, когда оба преобразования (K и R) соразмерны между собой.

Для получения общего решения задачи, при каких соотношениях матриц K и R получается максимальное значение линейного преобразования (A), вводим следующие обозначения связанных переменных:

$$K = \alpha X_1; \quad (2)$$

$$R = \beta X_2; \quad (3)$$

$$A = \alpha \beta X_1 X_2, \quad (4)$$

где X_1 – преобразование матрицы лесопользования (коэволюции); X_2 – преобразование матрицы лесного хозяйства; α – показатель усиления лесопользования; β – показатель симметрии лесного хозяйства.

Общее решение задачи. Предположим, что $\alpha \in [0, 1]$; $\beta \in [0, 1]$; $\alpha + \beta = 1$, или $\beta = 1 - \alpha$.

Тогда выражение (4) примет вид:

$$A = \alpha (1 - \alpha) X_1 X_2.$$

Определим, при каких значениях α и β величина линейного преобразования A , характеризующая уровень устойчивого развития лесного сектора, будет максимальной. Необходимое условие экстремума:

$$\frac{dA}{d\alpha} = X_1 X_2 (1 - 2\alpha) = 0.$$

Так как X_1 и $X_2 \neq 0$, то $(1 - 2\alpha) = 0$, следовательно, при $\alpha = \beta = 0,5$ имеет место максимум показателя уровня устойчивого развития, при котором замкнутый цикл конфликта противоречий устойчивого развития лесного сектора «индуцирует» цикл в новое измерение инновационного развития. Оно может быть достигнуто с учетом применения наиболее эффективных и доступных технологий.

Зеркально-групповая симметрия результирующего преобразования A объясняет особую роль дуализма. Понятие группы означает существование противоположных или парных элементов. В зеркале-группе все находят свою пару, и потому счет идет именно парами. Скалярное произведение двух векторов наглядно иллюстрирует эту структуру в форме декартова произведения:

$$(\bar{X} \cdot \bar{Y}) = X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + X_3 Y_3. \quad (5)$$

Внутри каждого слагаемого обнаруживается дуализм произведения проекций. Пример (5) показывает, что все интерпретации (слагаемые в формуле) в сложных (больших) системах элементарны, т.е. образуют единое целое. Тогда и описание целого в терминах частей представляется целостной суммой независимых членов (частей), где каждый член неустранимо дуалистичен и тем подобен всем остальным.

Алгебраическую формулу (1) можно для наглядности представить в виде геометрического образа. В него входят два главных зеркально-обратных элемента, которые в сумме составляют целый круг. Он окружен ободком, отвечающим результату A (см. рисунок).

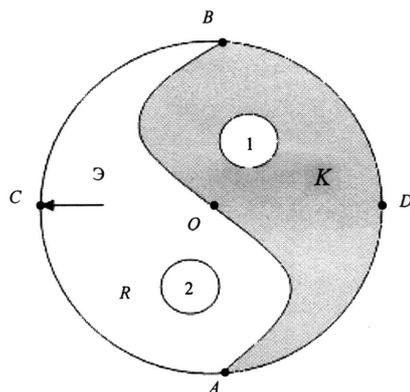


Рис. Схема геометрического образа устойчивого развития лесного сектора.

R – преобразование лесного хозяйства; K – преобразование лесопользования; ACD – область устойчивого положения равновесия; BCD – область неустойчивого положения равновесия; COD – оптимальный (идеальный) уровень устойчивого положения равновесия; $ACBD$ – ободок круга, соответствующий результату в измерении цикла – уровню устойчивого развития лесного сектора в определенный момент времени; 1 и 2 – символы входной информации; Э – выходящий вектор, несущий энергию взаимодействия лесопользования и лесовосстановления.

Геометрический смысл формулы (1) предполагает и выход в новое измерение по принципу векторного произведения, когда два вектора, лежащих в плоскости, задают аксиальный вектор (Э), выходящий в пространственный объем. Выходящий вектор Э несет в себе энергию, поэтому в равновесии «выходу» должен отвечать эквивалентный «вход», а для разных преобразований, в нашем случае, два входа. На рисунке символы входа показаны кружками 1 и 2.

Выходящий вектор Э выражает непрерывно рождающееся новое измерение устойчивого развития в перспективе (будущем), «сумму дилемм» в настоящем. Формула (1) позволяет внести определенность в термин «устойчивое развитие лесного сектора». Действительно устойчивость подразумевает преобразование оптимума лесного хозяйства (R), тогда как для развития должно быть найдено преобразование лесопользования (K). Кажущееся противоречие разрешается в формуле (1), где A выражает непрерывно рождающееся новое измерение будущего, «сумму дилемм» настоящего.

Идеальным выглядело бы такое состояние, когда устойчивое положение равновесия находилось бы на линии COD – при совпадении уровней использования лесов и ведения лесного хозяйства, однако такая возможность в управлении лесным сектором практически отсутствует.

Методика и результаты интегральной оценки уровня устойчивого развития регионального лесного сектора

Для расчета уровня устойчивого развития лесного сектора разработана методика интеграль-

ной оценки, предлагающая рассматривать такой уровень (критерий), как функцию ряда переменных: $Y_{л.с} = f(\text{Экон., Экол., Биол., Соц., Ит., Инв., Инс.})$, где $Y_{л.с}$ – уровень устойчивого развития лесного сектора; Экон., Экол., Биол., Соц., Ит., Инв., Инс. – соответственно экономический, экологический, биологический, социальный, инновационно-технологический и информационный, инвестиционный, институциональный факторы, определяющие уровень устойчивого развития лесного хозяйства.

Уровень (индекс) устойчивого развития лесного сектора определяется по формуле:

$$Y_{л.с} = \sum_{i=1}^n \alpha_i X_i, \quad (6)$$

где α_i – весовой коэффициент, определяющий вклад i -го фактора в общее значение критерия

$\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1\right)$; X_i – значение показателя, описываю-

щего i -й элемент критерия; n – количество параметров устойчивого развития лесного сектора.

Методика проведения экспертного опроса была разработана в результате анализа литературы [8, 9]. Особенно важно выделение коэффициентов значимости исследуемых факторов. Они определяют экспертным путем и показывают, какой из факторов важнее, каким из них можно поступиться и, наоборот, на какой фактор надо обратить больше внимания и выделить больше ресурсов.

Исходной информацией для характеристики устойчивого развития лесного сектора послужили данные статистического сборника. В предлагаемой модели значение каждого фактора оценивалось через долю соответствующего ему показателя в его общем значении по региону. Для каждого фактора критерия устойчивого развития лесного сектора введены коэффициенты весомости, которые в зависимости от значимости показателя подбирались методом экспертного оценивания [10] (табл. 2).

В этом случае формула для расчета уровня устойчивого развития лесного хозяйства имела следующий вид:

$$Y_{л.с} = 0,20 \text{ Экон.} + 0,15 \text{ Экол.} + 0,09 \text{ Биол.} + 0,13 \text{ Соц.} + 0,09 \text{ Ит.} + 0,24 \text{ Инв.} + 0,01 \text{ Инс.} \quad (7)$$

Полученный интегральный показатель отражает уровень лесного хозяйства в регионе (табл. 3).

Второй индекс должен характеризовать другую составляющую устойчивого развития регионального лесного сектора, связанную с его функциональными качествами, сводящимися к уровню использования лесов. Схема расчета индекса и определения весовых коэффициентов аналогична уровню состояния лесного хозяйства. Учитывая такое важное свойство декартова произведения, как групповую симметрию, для раскрытия второго индекса целесообразным видится использование той же структуры факторов. Полученные факторы развития лесопользования приведены в табл. 4.

Таблица 2

Функции состояния лесных ресурсов и лесного хозяйства Республики Коми

Наименование составляющих функций (переменных)	Показатели, их характеризующие	Весовой коэффициент
Продуктивная (экономическая)	Коэффициент восстановления лесов	0,20
	Площадь земель лесного фонда под спелыми и перестойными лесами	0,10
Жизнеспособность лесов (экологическая)	Площадь лесов, усыхающих или погибающих под воздействием неблагоприятных факторов (пожары, вредители, болезни)	0,15
Биологическое разнообразие и вклад в глобальный углеродный цикл	Площадь особо охраняемых природных территорий	0,09
Социальная	Занятость в лесном хозяйстве	0,13
Инновационно-технологическая и информационная	Затраты на научно-исследовательские работы и подготовку специалистов лесного хозяйства	0,08
Инвестиционная	Инвестиции в лесное хозяйство, включая выращивание лесов, их охрану и защиту	0,24
Институциональная	Наличие сформированных программ устойчивого развития	0,01
	Итого	1,00

Таблица 4

Функции состояния использования лесов Республики Коми

Наименование составляющих функций	Показатели	Весовой коэффициент
Экономическая	Использование расчетной лесосеки по рубкам главного пользования	0,18
	Использование недревесной продукции леса Лесосека, доступная для освоения эксплуатационных лесов	0,06
Экологическая	Баланс среднего прироста и общего объема вырубаемой древесины	0,18
	Занятость в лесозаготовительном, деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве, переработке недревесных продуктов, в рекреации и туризме	0,16
Инновационно-технологическая и информационная	Затраты на научно-исследовательские работы и подготовку специалистов	0,09
	Инвестиции в заготовку, обработку, переработку древесины и недревесных продуктов, рекреацию и туризм	0,21
Институциональная	Наличие сформированных программ устойчивого развития	0,01
	Итого	1,00

Таблица 3

Изменение уровня состояния лесных ресурсов и лесного хозяйства в Республике Коми, 2010 г.

Показатели состояния лесных ресурсов и лесного хозяйства	Их значения
Инвестиции в лесное хозяйство, включая выращивание лесов, их охрану и защиту в общем объеме инвестиций (X_1)	0,001
Восстановленные площади к объему, пройденному сплошными рубками (X_2)	0,1884
Усыхающие или погибающие площади к общему объему (X_3)	0,0390
Занятые в лесном хозяйстве, в общей численности (X_4)	0,0008
Площади земель лесного фонда под спелыми и перестойными лесами (X_5)	0,0720
Площади особо охраняемых природных территорий от общей площади региона (X_6)	0,0019
Затраты на научно-исследовательские работы и подготовку специалистов лесного хозяйства в общем объеме затрат на лесное хозяйство (X_7)	0,011
Наличие сформированных программ устойчивого развития	0,01
Уровень развития лесовосстановления	0,3241

В данном случае формула расчета уровня развития лесопользования в лесном секторе Республики Коми имеет вид:

$$Y_{и.л} = 0,18 Э_{ком1} + 0,06 Э_{ком2} + 0,18 Э_{ком3} + 0,11 Э_{кол} + 0,16 Соц. + 0,1 Ит. + 0,21 Инв. + 0,01 Инс. \quad (8)$$

Полученный индекс характеризует уровень использования лесов в регионе (табл. 5).

Для определения интегрального показателя (критерия) устойчивого развития регионального лесного сектора использовалось прямое (декартово) произведение [11], позволяющее линейное преобразование устойчивого развития лесного сектора представить в виде произведения двух независимых линейных преобразований: уровня развития лесного хозяйства и уровня развития использования лесов.

Расчет фактического уровня устойчивого развития лесного сектора Республики Коми выполнен по формуле (5) и приведен в табл. 6. В этом случае фактический уровень устойчивого развития лесного сектора составит: $Y_{\phi}^{л.с} = 0,0149$. Оптимальный уровень устойчивого развития лесного сектора на основе общего решения получения его максимально значения составит:

$$Y_{онт}^{л.с} = Y_{онт}^{л.б} \cdot Y_{онт}^{у.л} = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25.$$

Таблица 5

Изменение уровня использования лесов Республики Коми, 2010 г.

Показатели состояния использования лесов	Их значения
Инвестиции в обработку, переработку древесины и недревесных продуктов, рекреацию и туризм в общей сумме инвестиций (X_1)	0,1900
Фактически вырубаемый объем древесины в допустимом расчетном объеме (X_2)	0,0489
Доступный объем освоения эксплуатационных лесов в расчетной лесосеке (X_3)	0,1080
Занятые в лесозаготовительном, деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве от общей численности (X_4)	0,0133
Баланс среднего прироста и общего объема вырубаемой древесины (X_5)	0,0178
Затраты на научно-исследовательские работы и подготовку специалистов в общей сумме затрат на производство (X_6)	0,005
Использование недревесной продукции леса в общем объеме лесопользования (X_7)	0,0001
Наличие сформированных программ устойчивого развития	0,01
Уровень развития лесопользования	0,3886

Таблица 6

Фактический уровень устойчивого развития лесного сектора Республики Коми, 2010 г.

Показатели уровня состояния лесных ресурсов и лесовосстановления	Показатели уровня состояния и использования лесов	Показатели фактического уровня развития лесного сектора
0,001	0,1900	0,00019
0,1884	0,0489	0,00921
0,0390	0,1080	0,00421
0,0008	0,0133	0,000011
0,0720	0,0178	0,001282
0,0019	0,0005	0,000001
0,011	0,0001	0,000001
	Итого	0,0149052

Интерпретация индикаторов в рамках требований общей концепции устойчивого управления лесами «гарантировать обеспечение потребностей сегодняшнего дня, не ставя под угрозу потребности будущих поколений» ставит вопрос о его масштабах (уровнях) измерения (единица площади, лесничество, муниципальные образования, регион, страна) и его временных рамках (год, пятилетие, десятилетие). Исследования по планированию лесного хозяйства показывают, что чем меньше площадь или короче период времени, которые мы устанавливаем по требованиям устойчивости, тем ниже будет уровень индикатора, поскольку развитие – длительно протекающий процесс и оценить его можно лишь по прошествии, как минимум, 20 лет.

Неравновесность процессов лесопользования и лесного хозяйства под действием внешних рыночных факторов приводит к хаотичности их развития, которая и является движущей силой развития лесного

сектора. Дуалистический региональный лесной сектор экономики в своем развитии имеет предел, определяемый допустимым соотношением лесохозяйственной и лесопромышленной сферы.

Исходя из неравновесности процессов лесопользования и лесного хозяйства в системе регионального лесного сектора под действием внешних рыночных факторов, что приводит к хаотичности их развития, можно предложить следующее.

1. Если уровень развития подсистемы – использование лесных ресурсов равен уровню развития (линия OD , рисунок) противодействующей подсистемы – лесного хозяйства – по модулю в течение определенного периода ($Y_{л.п} = Y_{л.в}$), то это объективное условие (предпосылка) для эволюционного равновесного развития системы лесного сектора или отсутствия ее развития в течение этого периода. Здесь нет дисбаланса во взаимодействии. Развитие лесного сектора достигло максимальной устойчивости на данном цикле (витке). Энтропия* в этом случае остается неизменной и характеризует отсутствие качественных изменений в системе лесного сектора (революционного эффекта). Это условие для качественного развития системы. Так, признание глобальной биосферной роли лесов уже привело к появлению понятий «экосистемные функции», «экологические услуги» или «экосистемные сервисы», предоставляемые лесами. Развитие рынка лесных экосистемных сервисов приводит к увеличению реальной стоимости национальных лесов. В недалеком будущем вопросы устойчивого управления лесами станут вопросами общественного выбора, а не отраслевыми. Лесным странам придется усовершенствовать законодательные и институциональные основы управления лесами для целей обеспечения стабильного объема лесосистемных сервисов и его увеличения и решения задач устойчивого управления лесами. Очевидно, что все сказанное выше может свидетельствовать о приближении нового цикла устойчивого развития лесного сектора (сервисного). Переход системы регионального лесного сектора на инновационные технологии является объективным условием (предпосылкой) становления нового витка развития.

2. Если уровень развития подсистемы – использование лесных ресурсов – выше уровня развития противодействующей подсистемы – лесного хозяйства – в течение определенного периода времени ($Y_{л.п} > Y_{л.в}$) (линия OB , рисунок), то это объективное условие (предпосылка) для достижения отрицательного синергетического эффекта в деятельности системы регионального лесного сектора. То есть подсистема лесопользования оказывает разрушительное давление на подсистему лесного хозяйства, локализует деятельность регионального лесного сектора. Когда воздействие лесопользования не компенсируется естественным и искусственным воспроизводством лесных ресурсов, последние истощаются, вплоть до уничтожения леса.

* Мера пребывания системы в данном состоянии, ее рост приближают систему к состоянию равновесия.

3. Если развитие подсистемы лесопользования в регионе в течение некоторого периода времени меньше уровня развития противодействующей подсистемы – лесного хозяйства ($Y_{л.п} < Y_{л.в}$) (линия AO , рисунок), то это объективное условие (предпосылка) для положительного синергетического эффекта в деятельности регионального лесного сектора. Подсистема лесопользования для достижения положительного синергетического эффекта должна перейти на производство высокотехнологичных продуктов, новых модификаций лесных товаров, связанных с развитием мультифункционального лесопользования.

Интегральная модель устойчивого развития лесного сектора и необходимые для ее практической реализации методы оценки процесса изменения состояния лесных ресурсов предлагаются в качестве базового инструментария для решения широкого круга региональных проблем стратегического планирования и устойчивого управления лесами. К числу важнейших задач лесного планирования и устойчивого управления следует отнести оценку ресурсного и экологического потенциала лесов, обоснование сбалансированных режимов использования и воспроизводства лесных ресурсов, их оценку и прогнозирование. Возможность решения указанных задач обеспечивает базовая модель динамики развития лесного сектора, имеющая на входе стратегии лесопользования, задаваемые режимами использования и воспроизводства лесов. При каждом фиксированном уровне лесопользования и воспроизводства лесных ресурсов оценка потенциала устойчивого развития лесного сектора может быть получена с использованием простого метода дуальной оптимизации в виде декартова произведения и системы экологических и экономических ограничений, отражающих критерии и индикаторы устойчивого развития лесного сектора.

Аналогичный подход может использоваться для обоснования требуемого уровня охраны, защиты и воспроизводства лесных ресурсов, а также уровня их использования. Апробация модели оценки уровня устойчивого развития лесного сектора проведена на примере Республики Коми и подтвердила возможность ее практического использования.

Так, рейтинг качества организации лесопользования и лесопользования, а также экономической эффективности управления лесами в Республике Коми по данным WWF России и Национального рейтингового управления лесами характеризуется как «низкое качество управления» (2011). Наши результаты исследований согласуются с указанными выводами и к тому же дают им количественную оценку.

Нами не просто доказано, что уровень устойчивого развития очень низкий. Измерены движущие силы этого развития и оценены последствия их

действия. Направления дальнейших исследований связываются нами с поиском возможных способов синтеза лесного хозяйства и лесопользования для построения рациональной структуры целостной системы лесного сектора. Среди методов синтеза применимы различные модели: государственно-частное партнерство, инвестиционные фонды, особые экономические зоны, концессии, кластеры, сетевые структуры и др.

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РГНФ №12-12-11000 а(р) «Инструменты устойчивого управления лесным комплексом финно-угорских стран и их использование в инновационном развитии Северных регионов».

Литература

1. *Концепция перехода* Российской Федерации на модель устойчивого развития / Утв. Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://ecologysite.ru>.
2. *Страхов В.В., Писаренко А.И., Борисов В.А.* Глобализация лесного хозяйства. М.: ВНИИЦ-лесресурс, 2001. 397 с.
3. *Горшкова Ю.О.* Разработка и адаптация методических подходов и выявление индикаторов для оценки устойчивости развития субъекта Российской Федерации на примере Калужской области // Экономика природопользования. 2008. № 1. С. 21–35.
4. *Шматков Н., Белякова А., Григорьев А. и др.* Первые итоги рейтинга качества государственного управления лесами в субъектах Российской Федерации под эгидой WWF России (по данным за 2009 г.) // Устойчивое лесопользование. 2011. № 1. С. 3–14.
5. *Состояние лесов Европы к 2011 г.* // Устойчивое лесопользование. 2011. № 3. С. 2–7.
6. *Лесной кодекс* Российской Федерации. М.: Проспект, 2008. 64 с.
7. *Акивис М.А., Гольдберт В.В.* Тензорное исчисление. М., 1972. С. 172.
8. *Коробов В.Б.* Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» // Социология. 2005. № 20. С. 54–73.
9. *Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Д.* Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 264 с.
10. *Экспертные оценки* в научно-техническом прогнозировании / Г.М. Добров, Ю.В. Ершов, Е.И. Левин, Л.П. Смирнов. Киев: Наукова думка, 1974. 160 с.
11. *Самсонов А.Л.* Формула современного дуализма // Экология и жизнь. 2006. № 3. С. 3–10.

Статья поступила в редакцию 28.06.2012.

УДК 332.142

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ РЕГИОНАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ*

В.Э. ТОСКУНИНА*, А.Г. ШЕЛОМЕНЦЕВ**, О.В. ГУБИНА*, А.А. ПРОВОРОВА*

*Архангельский научный центр УрО РАН, г. Архангельск

**Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург

oei2@rambler.ru; chel61@mail.ru

В статье предложены принципы формирования региональной политики регионов Севера России. Аргументирована необходимость оценки результативности политики с целью обоснования направлений ее совершенствования. Оценены результаты реализации региональной социально-экономической политики в северных регионах России.

Ключевые слова: северный регион, региональная социально-экономическая политика

V.E. TOSKUNINA, A.G. SHELOMENTSEV, O.V. GUBINA, A.A. PROVOROVA. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO FORMATION OF REGIONAL SOCIAL AND ECONOMIC POLICY OF NORTHERN TERRITORIES

Principles of regional policy formation of regions of the North of Russia are suggested. Necessity of estimation of policy effectiveness for the purpose of substantiation of the directions of its improvement is given. Results of realization of regional social and economic policy in northern regions of Russia are estimated.

Key words: northern region, regional social and economic policy

В современных экономических условиях возрастает роль Севера России как стратегического, ресурсного и территориального резерва, обеспечивающего повышение конкурентоспособности экономики Российской Федерации в мировом экономическом сообществе. Территория Российского Севера составляет 69% площади страны. Здесь проживает 7,5% населения России. Территория представляет собой мощный производственный, экспортный и финансовый потенциал государства: на Севере производится примерно 20% суммарного валового регионального продукта (ВРП) страны, обеспечивается около 70% внешне-торговых валютных доходов и 37,5% всех поступлений в бюджетную систему России.

Программными и стратегическими документами федерального уровня северным регионам определена роль финансово-экономического катализатора первых этапов перехода страны на инновационный путь развития [1–3]. По мнению большинства ученых-североведов, выполнение этой функции возможно исключительно в условиях стабильного экономического роста, а также повышения качества жизни проживающего здесь населения. В настоящее время роль северных территорий в развитии международных экономических отношений уси-

ливается благодаря привлечению внимания приполярных государств к Арктике, которая является зоной их геополитических и экономических интересов. В основном это обусловлено значительными запасами нефти и газа на шельфе Северного Ледовитого океана и перспективами их освоения в связи с изменением экономической конъюнктуры мировых рынков углеводородов. Особый интерес к Арктике обуславливает необходимость *формирования системы совершенствования во всех регионах Севера социально-экономической политики и построения адекватного механизма ее реализации.*

В данном аспекте актуально понять содержание региональной политики. Термин «региональная» к определению политики применяется как политика государства по отношению к регионам, так и политика самих региональных органов власти на своей территории. Первый подход используется в тех случаях, когда необходимо показать роль федеральных органов управления как основных координаторов государственной региональной политики. Такая трактовка заложена, в частности, в Основных положениях региональной политики в Российской Федерации. Здесь под региональной политикой понимается «система целей и задач органов государственной власти по управлению политическим, экономическим и социальным развитием ре-

* Статья публикуется в порядке дискуссии.

гионов, а также механизм их реализации» [4]. Второй подход предполагает, что регион, обладая экономической, политической и интеллектуальной мощью способен самостоятельно принимать и реализовывать решения, и в этом отношении региональная политика ориентирована на увязку национальных и региональных интересов. *Региональная социально-экономическая политика*, на наш взгляд, представляет собой систему взаимосвязанных целей и задач социально-экономического развития региона, а также средств их достижения, реализуемых на основе взаимодействия федеральных, региональных и местных органов управления.

Конъюнктурное содержание региональной политики относительно Севера обуславливается колебаниями спроса и предложения на национальных и мировых рынках топливно-энергетических, минерально-сырьевых и биологических ресурсов, а также видением руководства страны своей геополитической роли в международных отношениях. Региональная политика в северных регионах определяется также наличием следующих специфических проблем, имеющих долгосрочный характер:

- низкая степень хозяйственной освоенности территорий;

- сырьевая специализация хозяйства, которая предопределяет уязвимость экономики в условиях высокой централизации природно-ресурсных налогов и платежей;

- удорожание хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения, особенно в части ускоренного износа производственных фондов, роста удельных затрат труда и энергии;

- трудности организации инновационной деятельности.

В социальном плане следует обратить внимание на проблему охраны здоровья людей, являющуюся следствием высокой заболеваемости, своеобразного течения болезней, роста числа хронических заболеваний, особенностей адаптационных процессов мигрантов, что в результате приводит к сокращению продолжительности жизни. Особого внимания заслуживает вопрос сохранения коренных малочисленных народов в связи с нарушением их традиционного жизнеобеспечения. Социально-политический характер (в связи с геополитикой и этнокультурой) на Севере приобретает проблема охраны окружающей среды, обусловленная неустойчивостью биоценозов при высоком уровне локализации техногенной нагрузки.

Конкретные инструменты и направления реализации государственной политики на Севере должны рассматриваться в рамках общих концепций развития северных территорий. Заметим, они неоднозначны: фиксируется либо приоритет локального освоения территорий с высококачественными запасами природных ресурсов и ареалов проживания коренных этносов, либо более широкий региональный подход к сохранению уже сложившихся историко-культурных очагов и соответствующего обживания территории с учетом не только экономических, но также социальных и экологических факторов. Авторы придерживаются второй по-

зиции, а потому считают обоснованным эффективное сочетание таких моделей государственного управления, как «экономическая координация» и «протекционизм».

Экономическая координация означает взаимодействие органов власти и субъектов экономической деятельности с разграничением их полномочий и сфер ответственности. В модели экономической координации уместным является применение таких механизмов, как частно-государственное партнерство, предоставление субъектам прав собственности на природные ресурсы, многосторонние договорные отношения и другие формы. Вместе с тем, развитие регионов Севера невозможно без политики протекционизма, которая направлена на поддержку неконкурентоспособных сфер социально-экономического развития по причине более слабой их приспособленности к рыночной экономике: отдельных отраслей промышленности, сельского хозяйства, поддержка малообеспеченных слоев населения, коренных малочисленных народов. Помощь государства осуществляется посредством участия региона в федеральных и региональных целевых программах, дотирования бюджета, предоставления налоговых льгот, гарантий и компенсаций населению.

На наш взгляд, саморазвитие должно быть заложено в основу функционирования северных социально-экономических систем и базироваться на использовании конкурентных преимуществ, важнейшим из которых является наличие на Севере уникальных по запасам и качеству биологических и минерально-сырьевых ресурсов. Но оно может быть реализовано при условии приоритетности внутреннего рынка и социальной справедливости.

В последние десятилетия в связи с благоприятной экономической конъюнктурой на мировом рынке активизировалась добыча минерально-сырьевых ресурсов. Эти ресурсы являются основным источником экспортных доходов северных регионов. Но исчерпаемость и невозобновимость минерально-сырьевых ресурсов уже сами по себе определяют необходимость разработки для северных регионов особых мер государственного регулирования, учитывающих эволюционный характер их освоения [5]. Следует учесть, что саморазвитие ресурсозависимых регионов в экономическом плане должно обеспечиваться путем инвестирования значительной части доходов от природных ресурсов в их воспроизводимый капитал: финансовый, человеческий, природно-ресурсный [6].

Несомненно, научное обоснование региональной политики смещает акценты от экономических к социальным и экологическим параметрам при формировании жизнедеятельности на Севере. Первостепенными становятся задачи повышения уровня жизни, улучшения качества и доступности социальных услуг, повышения качества трудового потенциала и снижения уровня безработицы, улучшения общих условий проживания.

В качестве важнейших макроэкономических ориентиров развития регионов Российского Севера, которые закреплены на государственном уровне, необходимо указать следующие [7]:

– в экономической сфере: расширение ресурсной базы северных регионов, поддержка базовых предприятий; регулирование рынков труда; обеспечение развития транспортной инфраструктуры; достижение международного взаимовыгодного сотрудничества России с приарктическими государствами; формирование информационного пространства Арктики и организация научных исследований, направленных на решение северных проблем;

– в социальной сфере: трансформация государственной системы гарантий и компенсаций для северян; совершенствование механизма северного завоза; поддержка развития коренных малочисленных народов Севера;

– в экологической сфере: обеспечение охраны окружающей среды с развитием сети ООПТ и заповедников и обеспечением равновесного состояния северных экосистем.

На региональном уровне при формировании политики необходимо учитывать следующие группы факторов территориального влияния: географические, природно-климатические, экономические, социально-демографические, финансовые, инвестиционные, институциональные [8].

В настоящее время качество государственного регулирования представляет важный фактор социально-экономического развития региона. Ключевым условием формирования современной политики является встраивание в механизм ее реализации процедуры оценки. Согласно одному из подходов, которого придерживаются авторы статьи, существует три стадии оценки политики: *ex ante*, *ongoing* и *ex post* [9]. Предварительная оценка (*ex ante*) дает прогнозировать возможные результаты, запланированные в виде стратегических мероприятий. Главная задача на этой стадии – разработать показатели, отражающие значение ожидаемой эффективности. Промежуточная оценка позволяет оценить результативность политики в период ее реализации и одновременно повлиять на ее проведение. Оценка *ex post* дает возможность определить результаты влияния политики на улучшение отдельных параметров социально-экономического развития региона.

Механизм оценки региональной политики предусматривает отбор критериев и показателей социально-экономического развития региона, характеризующих результаты достижения целей, что определяется мерой соответствия ожидаемых результатов полученным.

Проведем анализ результативности региональной социально-экономической политики субъектов Российского Севера. В качестве основной стратегической цели региональной политики традиционно принимается *повышение качества жизни населения на основе сбалансированного развития экономики и социальной сферы*. Достижение данной цели должно осуществляться посредством постановки и реализации целей второго уровня: *повышения уровня жизни населения; обеспечения высоких и устойчивых темпов экономического роста; стабилизации демографической ситуации;*

укрепления финансового состояния региона; обеспечения экологической безопасности региона.

Реализация указанных целей осуществляется посредством постановки следующих актуальных для Российского Севера задач: обеспечения роста реальных денежных доходов населения, улучшения индивидуальных условий жизни, повышения качества и доступности социальных услуг, обеспечения занятости трудоспособного населения, привлечения инвестиций в развитие региона, повышения эффективности использования природно-ресурсного потенциала, развития инновационной деятельности, модернизации и развития инфраструктуры, диверсификации структуры экономики, стабилизации численности и обеспечения воспроизводства населения, повышения финансовой обеспеченности региона за счет собственных доходов, снижения техногенной нагрузки на окружающую среду (сокращения выбросов и отходов) и улучшения среды обитания.

Достижение цели повышения уровня жизни населения оценивается путем анализа динамики следующих показателей: отношение среднедушевых денежных доходов населения к величине прожиточного минимума; площадь жилья, приходящаяся на одного жителя; сводный индекс развития отраслей социальной инфраструктуры; уровень занятости. Оценка результативности реализации цели обеспечения высоких и устойчивых темпов экономического роста осуществляется на основе анализа таких показателей, как: инвестиции в основной капитал; доля доходов от использования природных ресурсов в консолидированном бюджете региона; доля расходов на НИОКР в ВРП региона; объем инновационных товаров (работ, услуг); густота автомобильных дорог общего пользования; производство электроэнергии; доля обрабатывающих производств в структуре ВРП. Стабилизация демографической ситуации оценивается по показателям естественного и миграционного прироста населения и укрепления финансового состояния региона (доля собственных доходов в консолидированном бюджете региона и величине собственных доходов бюджета на одного жителя). Результативность экологической деятельности оценивается по следующим показателям: инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды; величина объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на единицу площади; величина сбросов загрязненных сточных вод на единицу площади территории.

Оценка результативности региональной политики выполнялась посредством системы интегральных показателей, рассчитанных по каждой цели политики с помощью метода «взвешенных баллов» [10]. Преимущество данного метода заключается в возможности сопоставления разных по своему характеру социально-экономических показателей. Такой анализ позволяет оценить положение исследуемого региона по сравнению с другими субъектами, выявить, насколько успешна реализация той или иной цели региональной политики.

Для анализа были выбраны только те субъекты РФ, территория которых согласно законодательству полностью относится к районам Крайнего Севера и приравненным к ним местностям. По результатам полученных итоговых интегральных значений проведено ранжирование всех исследуемых субъектов Российского Севера по степени результативности политики посредством присвоения каждому региону рейтинга, соответствующего величине показателя (по возрастанию) (см. таблицу).

Выявление конкретных проблем социально-экономического развития территорий требует оценки результативности отдельных видов политики. Например, повышение уровня жизни населения весьма заметно в Ненецком, Ямало-Ненецком и Чукотском автономных округах – регионах с развитой добывающей промышленностью. В наименьшей степени данная цель была достигнута в республиках Карелия, Тыва и Камчатском крае. Устойчивые темпы экономического роста также харак-

Оценка результативности региональной социально-экономической политики в регионах Севера России (рейтинг)

Регионы Севера РФ	Цели региональной социально-экономической политики северных территорий									
	Повышение уровня жизни населения		Обеспечение высоких и устойчивых темпов экономического роста		Стабилизация демографической ситуации		Укрепление финансового состояния региона		Обеспечение экологической безопасности в регионе	
	2009 г.	2010 г.	2009 г.	2010 г.	2009 г.	2010 г.	2009 г.	2010 г.	2009 г.	2010 г.
Республика Карелия	11	11	11	10	9	11	6	7	6	3
Республика Коми	10	7	4	2	12	9	7	5	3	5
Архангельская область	9	8	10	9	13	13	9	9	7	7
Ненецкий АО	1	1	6	7	5	5	3	2	13	13
Мурманская область	8	9	9	6	10	10	8	8	12	6
Ханты-Мансийский АО – Югра	4	6	1	1	1	1	2	3	5	4
Ямало-Ненецкий АО	2	3	3	3	2	2	1	1	2	1
Республика Тыва	13	13	12	11	3	4	13	12	8	8
Камчатский край	12	12	13	12	6	6	11	13	9	9
Республика Саха (Якутия)	7	10	2	4	4	3	12	10	1	2
Магаданская область	6	5	8	13	8	7	10	11	10	10
Сахалинская область	5	4	5	5	11	12	4	6	4	12
Чукотский АО	3	2	7	8	7	8	5	4	11	11

Примечание. Рассчитано по данным: Регионы России. Социально-экономические показатели. 2011: Стат.сб./ Росстат. М., 2011. 990 с.; Отчетность об исполнении бюджетов субъектов РФ и местных бюджетов в 2009–2010 гг. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.roskazna.ru/reports/mb.html>. Дата обращения 30.04.2012 г.

Проведенная рейтинговая оценка показала, что реализация региональной социально-экономической политики в 2009–2010 гг. была наиболее результативна в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах; можно фиксировать положительный результат Ненецкого автономного округа и Республики Саха (Якутия). Наименьшие показатели результативности политики отмечаются в Архангельской области, Республике Тыва, Камчатском крае и Магаданской области.

терны для регионов с высокой долей добывающих отраслей – Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов, Республики Саха (Якутия), Республики Коми и Сахалинской области. Нестабильной остается демографическая ситуация в регионах Европейского Севера (за исключением Ненецкого автономного округа) и Сахалинской области. Цель укрепления финансового состояния региона, также как и повышения уровня жизни населения, наиболее успешно реализовывалась в ресурс-

ных регионах с нефтегазовой специализацией – Ненецком, Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах. Наименьшая результативность данной цели была отмечена в наиболее дотационных субъектах Российского Севера – Республике Тыва и Камчатском крае. Работа в области экологической безопасности в большинстве регионов Севера характеризуется низкой степенью результативности; чуть лучше в Республике Саха (Якутия) и Ямало-Ненецком автономном округе; чуть хуже – в Ненецком и Чукотском автономных округах, Республике Тыва, Камчатском крае, Магаданской области.

Представленная оценка результативности региональной социально-экономической политики в субъектах Российского Севера позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, регионы Севера значительно отличаются по уровню социально-экономического развития, а потому и условия достижения целей весьма различны. Результативность именно политики (а не экономической деятельности) трудно улавливается на фоне относительного благополучия регионов с нефтегазовой специализацией. Тем не менее, специфика специализации регионов не сглаживает остроту таких проблем, как обеспечение экономической и экологической безопасности, а также проблемы стабилизации демографической ситуации. Во-вторых, следует отметить различную динамику анализируемых показателей. В течение двух лет она может быть существенной в экономике в результате влияния такого обстоятельства, как финансовый кризис, но не в социальной сфере, которая имеет определенную меру защиты со стороны государства. Полученные результаты подтверждают необходимость разработки научно-методического обеспечения процедуры оценки результативности региональной политики и своевременной диагностики состояний и процессов.

Статья подготовлена в рамках интеграционного проекта фундаментальных исследований, выполняемого в Учреждении Российской академии наук УрО РАН в 2012–2014 гг. «Инструменты и механизмы реализации социально-экономической политики северных территорий», № 12-И-7-2070.

Литература

1. *Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г.*: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г., № 1662-р [Электронный ресурс]. – URL: http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/strategicplanning/concept/doc/20081117_01#. Дата обращения 25.04.2012 г.
2. *Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу.* Утвержден 18.09.2008 г. (Пр-1969) // Российская газета. 2009. 30 марта.
3. *Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 (проект)* [Электронный ресурс] – URL: www.minregion.ru. Дата обращения 15.03.2012 г.
4. *Об Основных положениях региональной политики в Российской Федерации*: Указ Президента РФ от 3 июня 1996 г. № 803 // Собрание законодательства Российской Федерации. 1996. 3 июня. №23. Ст. 2756.
5. *Тоскунина В.Э.* Проблемы и перспективы освоения нефтегазовых ресурсов на Северо-Западе России. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 228 с.
6. *Дмитриева Т.Е.* Развитие сырьевого региона: факторы и проблемы реализации ресурсно-трансформационной концепции // Новые факторы регионального развития. М.: ИГ РАН, 1999. С.133–141.
7. *Концепция государственной поддержки экономического и социального развития районов Севера* [Текст]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 7 марта 2000 г. №198 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2000. 20 марта. №12. Ст.1286.
8. *Шеломенцев А.Г., Тоскунина В.Э., Губина О.В., Проворова А.А. и др.* Формирование социально-экономической политики северных регионов России с учетом фактора освоения природных ресурсов: Монография. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. 140 с.
9. *Бачлер Дж.* Оценка региональной политики в европейском сообществе [Электронный ресурс]. – URL: http://www.politanaliz.ru/articleprint_501.html. Дата обращения 15.03.2012 г.
10. *Козлова О.А.* Занятость населения региона: проблемы теории и практики регулирования. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008. С. 167–168.

Статья поступила в редакцию 30.05.2012.

УДК 314(470.13+571.56)

ДЕМОГРАФИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ): ОБЩЕЕ И ОСОБЕННОЕ

Л.А. ПОПОВА*, С.А. СУКНЁВА**

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

***Научно-исследовательский институт региональной экономики Севера Северо-Восточного Федерального университета, г. Якутск
popova@iespn.komisc.ru, sukneva@ire.ysn.ru*

Статья посвящена демографической ситуации в двух крупных северных регионах России, которая, с одной стороны, характеризуется рядом общих для Севера закономерностей, с другой – отличается собственной спецификой. Рассмотрены особенности уровня и структуры смертности населения республик Коми и Саха (Якутия), количественные и качественные аспекты рождаемости. Оценены ближайшие перспективы демографического развития. Определены приоритеты региональной демографической политики.

Ключевые слова: динамика численности населения, миграция, продолжительность жизни, структура смертности, рождаемость, региональная демографическая политика

L.A. POPOVA, S.A. SUKNEVA. DEMOGRAPHIC DEVELOPMENT OF THE KOMI REPUBLIC AND THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA): GENERAL AND SPECIAL

The paper is devoted to demographic situation in two large northern regions of Russia which, on the one hand, is characterized by a number of general regularities for the North, on the other – differs by its own specifics. Peculiarities of the level and structure of mortality of the population of the Republics Komi and Sakha (Yakutia), quantitative and qualitative aspects of birth rate are considered. The near-term prospects of demographic development are estimated. Priorities of regional demographic policy are defined.

Key words: dynamics of population, migration, life expectancy, mortality structure, birth rate, regional demographic policy

Демографическое развитие северных территорий России отличается рядом особенностей, обусловленных неблагоприятными природно-климатическими условиями, молодой возрастной структурой населения, «вывозом смертности» в южные регионы, незавершенностью демографического перехода у коренных народов Севера и другими факторами. К числу наиболее острых демографических проблем Севера относятся:

- быстрое уменьшение численности населения вследствие масштабного миграционного оттока, характерного для большинства северных регионов;
- молодая возрастная структура умирающих и значительная доля смертности от внешних причин и болезней экзогенной этиологии;
- низкий уровень рождаемости в традиционно русских северных областях и территориях с завершённым демографическим переходом у коренных этносов;
- повышенная степень дезорганизации семейной жизни;
- взаимосвязь незавершенности демографического перехода у коренных народов Севера с не-

благоприятными качественными характеристиками рождаемости и высоким уровнем младенческой смертности.

Решение указанных проблем определяет цели, задачи и приоритетные направления демографической политики северных регионов.

Данная статья посвящена демографической ситуации в Республике Коми и Республике Саха (Якутия), которые представляют два основных типа регионов Севера, различных по характеру демографического развития: территорий, теряющих население в результате миграционной и естественной убыли, и территорий, сохраняющих положительный естественный прирост населения на фоне миграционного оттока. В условиях предстоящего в России структурного понижения уровня рождаемости и стагнирующих в последние годы тенденций смертности, которые определяют необходимость усиления внимания общества и государства к демографической сфере и разработки новых мероприятий демографической политики с учетом региональной специфики, тема представляет значительный интерес.

Динамика численности населения

В период освоения северных и восточных территорий страны обе республики характеризовались значительными темпами роста численности населения. С начала 1920-х гг. население Республики Коми (РК) увеличилось почти в семь раз, достигнув к 1989 г. 1250,8 тыс. чел., население Республики Саха (Якутия) (РС (Я)) – почти в четыре раза: до 1119,0 тыс. в 1991 г. В указанные годы в обеих республиках была зафиксирована максимальная численность населения, после чего началось его снижение.

В Коми, где ранее отмечались более значительные темпы роста, уменьшение оказалось масштабнее. После переписи 1989 г. население республики снизилось на 28,9%, составив на 1 января 2012 г. 889,8 тыс. чел. Городское население сократилось на 27,2% (с 944,4 до 687,2 тыс.), сельское – более чем на треть – на 33,9% (с 306,4 до 202,6 тыс.), несмотря на то, что в 1990-х гг. многие поселки городского типа были переведены в разряд сельских населенных пунктов. Максимальные объемы убыли наблюдались в РК в 1990-е гг.: за межпереписной период 1989–2002 гг. численность населения уменьшилась на 232,1 тыс. чел. (на 18,6%), за 2002–2010 гг. – на 117,1 тыс. (на 11,5%).

В РС (Я) в целом за период с 1991 г. население уменьшилось менее значительно, чем в РК: на 14,6%, составив на 1 января 2012 г. 955,9 тыс. В отличие от РК, здесь существеннее сократилось число горожан: на 17,4% (с 747,3 тыс. чел. до 617,1 тыс.), сельское – вполнину меньше: на 8,9% (с 371,7 до 338,8 тыс.). Основным объемом убыли населения в Якутии также пришелся на 1990-е гг. С 1991 по 2002 г. оно уменьшилось на 15,2%. А в последний межпереписной период 2002–2010 гг. в Республике Саха (Якутия) зафиксировано увеличение численности населения с 949,3 до 958,5 тыс.

Такие различия в динамике во многом определяются тем, что в Якутии на всем протяжении российского демографического кризиса сохраняется положительный естественный прирост населения. Все уменьшение населения обусловлено здесь миграционной убылью, начавшейся в 1990 г. и уже в 1991 г. превысившей объемы естественного прироста. До конца 1990-х гг. в республике сохранялось высокое отрицательное сальдо миграции: в среднем примерно 20 тыс. чел. в год. Оно значительно перекрывало естественный прирост, составлявший в среднем около 7 тыс., а в последние годы этого 10-летия – не более 3–5 тыс. чел. в год [1]. В 2000-х гг. масштабы миграционного оттока из республики заметно сократились, в то время как естественный прирост в условиях позитивных тенденций рождаемости, наоборот, увеличился. В результате перепись 2010 г. зафиксировала небольшое (менее 1%) увеличение численности населения Якутии. Однако послепереписная динамика численности населения в республике вновь оценивается как отрицательная.

В Коми миграционная убыль началась еще в 1987 г., в 1989 г. она перекрыла естественный при-

рост, а с 1993 г. вклад в уменьшение жителей республики вносит и естественная убыль. Но роль миграции здесь тоже является определяющей. За период между переписями 1989 и 2002 г. ее вклад в снижение населения РК оценивается в 98,4%, и лишь 1,6% общей убыли было обусловлено естественной убылью. В городской местности величина естественного прироста в целом за указанный период является положительной, т.е. миграция в 1989–2002 гг. определила все сокращение городских жителей республики. В сельской местности вклад миграции в убыль населения в 1989–2002 гг. составил 80,8%. В дальнейшем роль миграции снизилась, поскольку, достигнув максимальных величин к концу первой половины 1990-х гг., объемы миграционного оттока из РК заметно уменьшились. За период между переписями 2002 и 2010 гг. вклад миграции в общую убыль населения республики оценивается в 85,1%. Как и в предыдущий межпереписной период, он более существенен в городской местности (90,9%), чем в сельской (75,6%).

В последние годы значение миграции в уменьшении населения Республики Коми вновь растет из-за сокращения масштабов естественной убыли в условиях благоприятных тенденций рождаемости и смертности. В городской местности уже практически с 2007 г. миграция определяет весь объем уменьшения населения, а в 2011 г. естественный прирост стал положительной величиной и по всему населению республики [2]. Переход к естественному приросту в условиях сохранения режима естественной убыли в целом по стране обеспечила относительно молодая возрастная структура населения РК, которая в свое время обусловила и несколько более позднее разворачивание в регионе естественной убыли.

Уровень и структура смертности населения

Траектории демографических трендов в Республике Коми и Республике Саха (Якутия) в целом соответствуют общероссийским. В то же время для республик характерны устойчивые различия в уровне демографических показателей и структуре демографических процессов.

Ожидаемая продолжительность жизни населения в большинстве северных регионов страны традиционно ниже общероссийского показателя. Лишь в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах в последнее время она выше [3], что во многом обусловлено «вывозом смертности» из этих округов: как невысокой смертностью мужчин трудоспособного возраста от эндогенных причин вследствие их значительной ротации, так и низким вкладом смертности населения старших возрастов в величину показателя продолжительности жизни.

В Республике Саха (Якутия) еще в начале 1980-х гг. разница с общероссийским уровнем продолжительности жизни населения превышала четыре года, к началу 1990-х гг. она снизилась до трех лет, и в дальнейшем продолжалось постепенное сокращение различий, особенно заметное в первой половине 2000-х гг. (рис. 1).

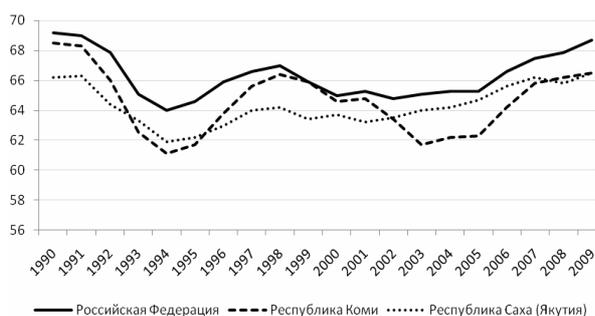


Рис. 1. Динамика ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации, Республики Коми и Республики Саха (Якутия) в 1990–2009 гг., лет.

В Республике Коми на протяжении 1980-х гг. также наблюдалось устойчивое сближение уровня продолжительности жизни с общероссийским. К 1990–1991 гг. различия сократились до 0,7 лет. В то же время современный кризис смертности оказался в Республике Коми заметно глубже, чем в целом по стране. Периоды роста смертности характеризовались увеличением различий в уровне продолжительности жизни до трех и даже трех с половиной лет. Особенно значительно отстает от средней по стране продолжительность жизни сельского населения. В 2003 г., когда в сельской местности республики была зафиксирована минимальная ожидаемая продолжительность жизни (52,4 лет для мужчин и 66,0 лет для женщин), разрыв с общероссийским уровнем продолжительности жизни на селе у мужчин составил 5,3 года, у женщин – 4,8 лет [4].

Периоды снижения смертности, наоборот, отличаются сближением величины продолжительности жизни населения Коми с общероссийским уровнем. Иными словами, уровень смертности демонстрирует здесь большую гибкость. Обусловлено это, по всей видимости, закономерным для молодой возрастной структуры населения повышенным удельным весом в структуре смертности населения республики внешних причин (несчастных случаев, отравлений, травм, убийств, самоубийств) и экзогенных заболеваний. Даже в условиях заметного сокращения последних лет смертность от несчастных случаев составляет в республике 15–16% случаев смерти по сравнению с долей 10% в среднем по стране [5]. В середине 1990-х гг. она превышала четверть, в начале 2000-х – пятую часть всех смертей в республике. При этом следует отметить, что эта группа причин в Республике Коми еще с 1960-х гг. устойчиво занимает второе место в структуре причин смертности населения: ни в 1980-е, ни в конце 1990-х, ни в последние годы она не уступает этой позиции смертности от новообразований.

В Якутии смертность от несчастных случаев также устойчиво занимает второе место в общей структуре смертности. При этом ее удельный вес еще выше, чем в Коми: в последние годы порядка 20%, в 1990-х – начале 2000-х гг. – четверть всех смертей [6].

В трудоспособном возрасте, на который приходится около 40% смертных случаев в РК и более 45% в РС (Я), неестественные причины смерти –

на первом месте. По всем возрастам первое место, как и по стране в целом, занимает смертность от болезней системы кровообращения. Но если в среднем по России сердечно-сосудистыми заболеваниями обусловлено более половины смертных случаев, а в 2000-х гг. – свыше 55% [5], то в Республике Коми доля этой группы причин находится в пределах 46–48% и лишь в отдельные годы возрастает до половины случаев. В Республике Саха (Якутия) уровень в 45–48% был достигнут только во второй половине 2000-х гг.: в 1990-е гг. он был порядка 35%, в начале 2000-х гг. – 40–42% в общей структуре смертности [7]. При этом из-за молодой возрастной структуры населения уровень смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, так же как и от новообразований, в сравниваемых регионах заметно ниже, чем в среднем по стране: 450, 600 и 800 смертей на 100 тыс. человек населения в Якутии, Коми и Российской Федерации, соответственно. Тем не менее, именно повышение смертности от болезней системы кровообращения в средних и пожилых возрастах, наряду с ростом смертности от неестественных причин в молодых и средних возрастах, определяет основной прирост смертности в периоды увеличения ее уровня.

Несомненно, повышенный удельный вес смертности от несчастных случаев и болезней экзогенной этиологии, обусловленный не только молодой структурой населения, но и неблагоприятными природно-климатическими, производственными и бытовыми факторами на Севере, представляет собой значительный резерв роста продолжительности жизни в РК и РС (Я). Однако без существенного снижения смертности населения средних и старших возрастов от сердечно-сосудистых заболеваний, в основе которого лежат оздоровление образа жизни населения, последовательное и всемерное укрепление здоровья, профилактика заболеваемости и развитие системы здравоохранения, добиться стабильного повышения продолжительности жизни населения северных республик не представляется возможным. Эти задачи особенно актуальны в ситуации повышенных из-за миграционного оттока темпов постарения населения зоны Севера.

Следует обратить внимание, что в Республике Коми пониженный показатель продолжительности жизни населения наблюдается в условиях младенческой смертности, которая заметно ниже среднероссийского уровня (рис.2). Это еще раз акцентирует внимание на высоких показателях смертности населения региона в трудоспособных возрастах. С 1996 г. в Коми, как в целом по стране еще с 1994 г., наблюдается устойчивое сокращение смертности детей на первом году жизни. При этом если до конца 1980-х гг. республиканские показатели оказывались ниже среднероссийского уровня лишь в отдельные годы (1984 и 1986 г.), то после 1996 г. – они стабильно ниже. В 2011 г. коэффициент младенческой смертности составил здесь 4,4 на 1000 родившихся (по России 7,3‰ [5]). Это один из самых низких в стране уровней. Поскольку смертность на первом году жизни в настоящее время определяется, главным образом, патологиями, возникающими в пери-

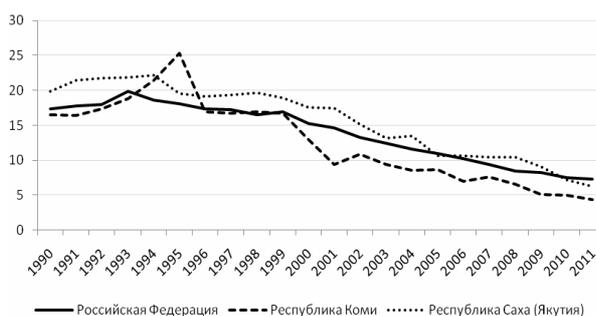


Рис. 2. Динамика коэффициента младенческой смертности в Российской Федерации, Республике Коми и Республике Саха (Якутия) в 1990–2011 гг., на 1000 родившихся.

натальном периоде, и врожденными аномалиями, очевидно, что благополучие ситуации обеспечено значительным улучшением в республике систем ранней диагностики патологий беременности и родовспоможения.

В то же время в Якутии еще в начале 2000-х гг. уровень младенческой смертности существенно превышал средний по стране. Лишь во второй половине прошлого десятилетия произошло заметное сближение регионального и общероссийского показателей, а в 2010–2011 гг. уровень, как и в Коми, стал ниже, чем в целом по России, что свидетельствует о значительных достижениях в охране материнства и детства. Но, с другой стороны, это заостряет внимание на чрезвычайно высокой смертности взрослого трудоспособного населения РС (Я), особенно с учетом наметившегося в последние годы расхождения республиканской траектории продолжительности жизни от общероссийской (рис. 1).

На фоне благоприятных тенденций уровня младенческой смертности нельзя не отметить выход в Республике Коми еще во второй половине 1990-х гг. на третье место в структуре ее причин несчастных случаев, отравлений и травм (в целом по стране они на пятом месте, лишь в последние годы поднялись на четвертую позицию). В настоящее время они определяют в Коми 5–7% смертей детей до одного года. В Якутии несчастные случаи переместились на третье место в середине 2000-х гг., но их удельный вес составляет от 8 до 14% всех случаев младенческой смертности. Повышенная смертность детей до одного года от несчастных случаев, уровень которой зависит от доступности и своевременности медицинской помощи, но в еще большей степени от образа жизни семьи, желаний и возможности уделять малышам достаточно внимания, это очень неблагоприятное явление, свидетельствующее о неблагоприятии в развитии и жизнедеятельности современной семьи в рассматриваемых республиках. И особенно негативно это выглядит на фоне низкой рождаемости, характерной как для 1990-х, так и 2000-х гг.

Особенности динамики уровня рождаемости

Тренды рождаемости в Республике Коми и Республике Саха (Якутия) в целом также повторяют

общероссийские. Однако в Коми снижение ее уровня после роста в начале-середине 1980-х гг. под воздействием мероприятий демографической политики, введенных Постановлением 1981 г. «О мерах по усилению государственной помощи семьям, имеющим детей» [8], было более значительным. Поскольку оно совпало с завершающим этапом демографического перехода у Коми [9], составляющих около четверти населения республики. В результате суммарный коэффициент рождаемости, величина которого в республике традиционно была выше общероссийского, с 1988 г. наблюдается примерно на таком же уровне (рис.3).

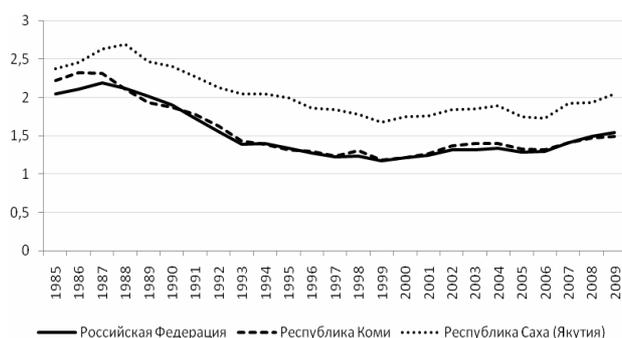


Рис. 3. Динамика суммарного коэффициента рождаемости в Российской Федерации, Республике Коми и Республике Саха (Якутия) в 1985–2009 гг., детей на одну женщину за весь репродуктивный период.

В Якутии рост рождаемости под действием Постановления 1981 г. был значительнее и продолжительнее, поскольку коренные народы республики в это время были еще далеки от завершения демографического перехода. К началу 1980-х гг. республика только-только подошла к границе простого воспроизводства, в сельской местности суммарный коэффициент рождаемости составлял 2,7–2,8 детей, а последующие мероприятия демографической политики способствовали не только уплотнению календаря рождений, но, отчасти, и повышению репродуктивных установок населения. При этом коренные этносы в РС (Я), в отличие от РК, составляют почти половину населения. По данным переписи 2002 г., 45,5% населения республики – якуты (в сельской местности – 83,3%), еще 3,3% (в селе – 7,0%) – представители коренных малочисленных народов Севера (эвенки, эвены, юкагиры, долганы). Поэтому даже в условиях социально-экономического кризиса, существенно снизившего степень реализации репродуктивных установок населения, уровень рождаемости в сельской местности здесь до сих пор соответствует режиму расширенного воспроизводства населения (рис.4). Но, в то же время, в целом по населению республики суммарный коэффициент рождаемости пересек границу простого воспроизводства еще в 1993 г.

Сокращение рождаемости на протяжении конца 1980-х – в 1990-е гг., как и в целом по стране, в рассматриваемых республиках определялось несколькими взаимоусиливающимися факторами. Среди них:

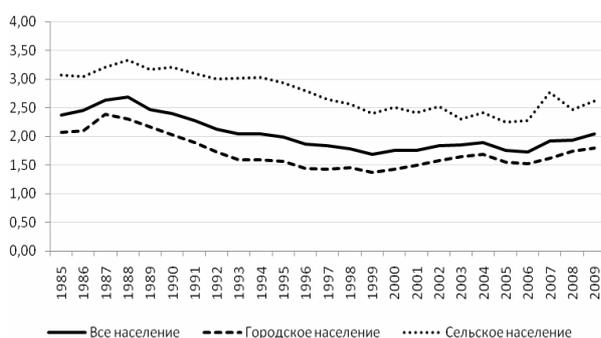


Рис. 4. Динамика суммарного коэффициента рождаемости городского и сельского населения Республики Саха (Якутия) в 1985–2009 гг., детей на одну женщину за весь репродуктивный период.

- ухудшение возрастной структуры фертильных контингентов – «второе эхо войны»;
- досрочная реализация в начале-середине 1980-х гг. репродуктивных планов населения;
- неблагоприятный нравственно-психологический контекст – докатившаяся к концу 1980-х гг. сексуальная революция, два десятилетия назад отшумевшая на Западе;
- последствия социально-экономических преобразований, обусловившие откладывание рождений в результате существенного снижения уровня жизни населения, а также пересмотр частью населения своих репродуктивных планов ввиду бурного развития внесемейных интересов и вытеснения ими ценности детей на последние места иерархии жизненных ценностей.

Поэтому снижение ее уровня оказалось весьма существенным. Суммарный коэффициент рождаемости уменьшился в Республике Коми с 2,32 детей на одну женщину к концу репродуктивного возраста при показателях рождаемости 1986 г. до 1,18 при показателях 1999 г., в Республике Саха (Якутия) – с 2,69 в 1988 г. до 1,68 в 1999 г.

В 2000 г., как и по России в целом, в анализируемых регионах начался рост показателей рождаемости. Прежде всего, он был связан с омоложением возрастной структуры репродуктивных контингентов вследствие достижения активных детородных возрастов относительно многочисленными поколениями начала–середины 1980-х гг. Интенсивность рождений при этом также заметно повысилась, о чем свидетельствует увеличение суммарного коэффициента рождаемости с 1,18 детей в 1999 г. до 1,49 в 2009 г. в РК [10] и с 1,68 до 2,04 в РС (Я) [6].

Однако такой рост суммарного коэффициента во многом является следствием изменений в календаре рождений. На величине показателя 1999 г. во всей полноте отразилось откладывание рождений, практиковавшееся населением на всем протяжении 1990-х гг. и особенно заметно проявившееся после кризиса 1998 г. А на уровень 2009 г. повышающее влияние оказывает реализация отложенных рождений старшими поколениями (это хорошо видно по динамике повозрастных коэффициентов) и уплотнение графика рождений у молодых когорт в связи

с новыми демографическими инициативами государства. Имеется в виду принятие федеральных законов «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственной поддержки граждан, имеющих детей» № 207-ФЗ от 5 декабря 2006 г. [11], «Об обеспечении пособиями по временной нетрудоспособности, по беременности и родам граждан, подлежащих обязательному социальному страхованию» № 255-ФЗ от 29 декабря 2006 г. [12] и «О дополнительных мерах государственной поддержки семей, имеющих детей» № 256-ФЗ от того же числа [13], согласно которому с 1 января 2007 г. был введен государственный сертификат на материнский (семейный) капитал, а также разработка «Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года» [14], утвержденной Указом Президента РФ № 1351 от 9 октября 2007 г.

Однако после десяти лет увеличения в условиях благоприятных особенностей календаря рождений величина суммарного коэффициента рождаемости в Республике Саха (Якутия) только приблизилась к границе простого воспроизводства, а в Республике Коми, как и в целом по стране, достигла лишь 1,5 детей. У городского населения она на уровне 1,3. В сельской местности РК в 2008 г. оказался преодоленным психологически важный рубеж простого воспроизводства: суммарный коэффициент последних лет соответствует режиму слегка расширенного воспроизводства населения (рис. 5). В то

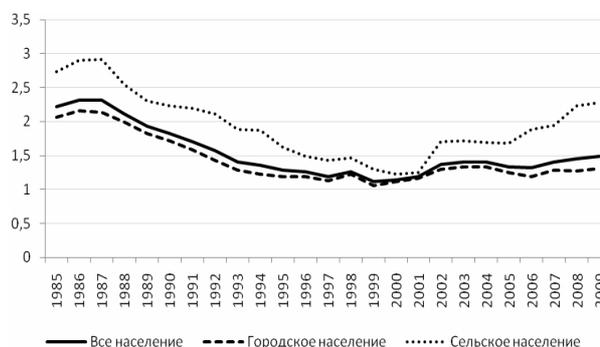


Рис. 5. Динамика суммарного коэффициента рождаемости городского и сельского населения Республики Коми в 1985–2009 гг., детей на одну женщину за весь репродуктивный период.

же время проведенное нами в 2008–2009 гг. социологическое обследование [15] выявило, что среднее ожидаемое число детей в сельской местности (2,01) заметно ниже реального суммарного коэффициента рождаемости условных поколений этих лет (2,23–2,28 детей). Очевидно, что в условиях низкого уровня жизни сельского населения новые меры демографической политики сыграли на селе весьма значительную роль, обусловив чрезвычайную концентрацию рождений в первые годы их реализации. Поэтому в ближайшее время, на наш взгляд, в Коми следует ожидать гораздо более существенного по сравнению с городской местностью понижения уровня сельского суммарного коэффициента.

Безусловно, демографическая политика 2006–2007 гг. продлила позитивные тенденции рождаемости начала 2000-х гг., в 2005–2006 гг. уже проявившие признаки стагнации. В то же время она привела к уплотнению графика рождений и досрочной реализации репродуктивных планов поколений, которые в момент введения новых мероприятий были в наиболее активных детородных возрастах. А это, по сути, самые многочисленные в последнее время поколения 1980-х гг. рождения. Соответственно, предстоящее структурное понижение уровня рождаемости будет усилено сокращением ее интенсивности в результате обратных тайминговых подвижек.

Кроме того, согласно результатам нашего исследования 2008–2009 гг., демографические инициативы 2006–2007 гг. оказали максимальное позитивное воздействие на уровень репродуктивных ожиданий поколений второй половины 1980-х гг. рождения [15]. На репродуктивные установки малочисленных поколений 1990-х гг. они практически не повлияли: уровень ожидаемой детности у этих когорт такой же, как и у поколений конца 1970-х – начала 1980-х гг. Таким образом, без дальнейшего развития демографической политики стране предстоит довольно длительный период глубокого снижения уровня рождаемости, поскольку структурное понижение рождаемости может усилиться не только досрочным исчерпанием итоговой детности поколений 1980-х гг. рождения, но и пониженной репродуктивной активностью поколений 1990-х.

Качественные аспекты рождаемости

Возможно, еще большее значение для перспектив развития населения страны, чем количественные характеристики рождаемости, имеет тот факт, что понижение уровня рождаемости в конце 1980-х – в 1990-е гг. не было связано с улучшением ее качественной структуры. Наоборот, низкий уровень рождаемости последних двух десятилетий сопровождается очень неблагоприятными качественными характеристиками. Об этом убедительно свидетельствуют количество беспризорных и безнадзорных детей в России, сравнимое с послевоенным временем, число отказных детей и социальных сирот, живущих в детских домах и интернатах при живых родителях, уровень насилия в отношении детей даже во внешне благополучных семьях и пр.

Из демографических показателей индикаторами качества рождаемости могут служить количество детей, родившихся больными и заболевших в течение первой недели жизни, уровень младенческой смертности, доля в его составе смертности от несчастных случаев, а также процент внебрачных рождений, которые, на наш взгляд, являются одной из проблемных компонент рождаемости. Уровни внебрачной рождаемости в Республике Коми и Республике Саха (Якутия) традиционно выше, чем по стране в целом. При этом в условиях демографического кризиса произошел их заметный отрыв от среднероссийского показателя: в Коми еще с

начала 1990-х гг., в Якутии – со второй половины указанного десятилетия (рис.6).

На протяжении 2003–2006 гг. доля рождений вне брака в РК превышала 40%, в сельской местности – половину, в отдельных районах республики достигала двух третей всех рождений. В РС (Я) во второй половине 2000-х гг. уровень внебрачной рождаемости составлял 38–39%, в некоторых улусах – доходил до 60.

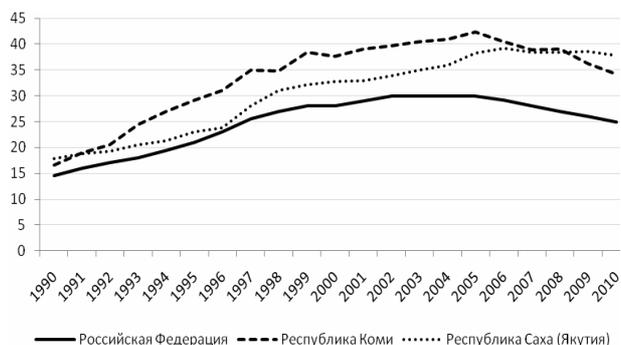


Рис.6. Динамика удельного веса внебрачных рождений в общей структуре рождений в Российской Федерации, Республике Коми и Республике Саха (Якутия) в 1980–2010 гг., %.

К особенно неблагоприятным составляющим внебрачной рождаемости следует отнести, во-первых, внебрачные рождения, зарегистрированные по заявлению одной матери, которые отражают отсутствие даже фактической или визитной семьи. Их удельный вес в 2000-е гг. опять практически достиг половины всех внебрачных рождений. Во-вторых, это внебрачные рождения в самых молодых возрастах. А внебрачная рождаемость отличается гораздо более молодой структурой матерей, чем брачная: она как бы сдвинута в возрастные группы моложе 24 лет. В-третьих, внебрачные рождения высоких порядков очередности. Ежегодно в РК не менее 6–7%, а в РС (Я) – более четверти внебрачных детей рождаются третьими и более по порядку рождения. Большая часть из них попадает в условия маргинальной семьи.

Поэтому начавшееся с 2006 г. в Республике Коми, как и по стране в целом, снижение удельного веса внебрачных рождений, безусловно, следует расценивать как позитивную тенденцию. В Республике Саха (Якутия) в эти годы наблюдается стабилизация уровня внебрачной рождаемости, а в 2010 г. также отмечено снижение. На наш взгляд, в основе такого изменения тенденции лежит активизация демографической политики, которая с введением материнского капитала на второго ребенка приобрела черты семейной политики. Приоритет второму рождению, даже при отсутствии серьезного акцента на пропаганде семейной рождаемости, на наш взгляд, представляет собой весьма просемейную меру, поскольку именно вторые рождения являются наиболее семейными: процент внебрачных среди них стабильно самый низкий.

Актуальность и направления активизации демографической политики

В настоящее время в условиях начавшегося ухудшения возрастной структуры репродуктивных континентов, которое усилится эффектом досрочной реализации итоговой детности поколений 1980-х гг. рождения и, по нашим оценкам, пониженной репродуктивной активностью поколений 1990-х, следует существенно углублять меры демографической политики, чтобы снивелировать предстоящий провал уровня рождаемости. При этом следует акцентировать большее внимание на улучшении качественной структуры рождаемости, укреплении института семьи, возрождении и усилении духовно-нравственных традиций семейных отношений, поскольку неблагополучие в развитии семьи во многом несет ответственность не только за недостаточные количественные характеристики рождаемости, но и за высокий уровень смертности.

Определенными шагами в этом направлении можно считать региональные законы о предоставлении в собственность земельного участка при рождении третьего (последующего) ребенка и о региональном материнском капитале. В Республике Коми, например, согласно Закону № 45-РЗ «О дополнительных мерах социальной поддержки семей, имеющих детей, на территории Республики Коми» от 29 апреля 2011 г. [16], предоставляется именной сертификат на сумму 150 тыс. руб. при рождении третьего ребенка или последующих детей. В Республике Саха (Якутия), в соответствии с Законом РС (Я) 952-3 № 803-IV «О республиканском материнском капитале “Семья”» от 16 июня 2011 г. [17], материнский капитал, право на получение которого имеют женщины, родившие (усыновившие) третьего ребенка или последующих детей, установлен в размере 100 тыс. руб. Однако эти меры по стимулированию третьих рождений опять оказались адресованными многочисленным поколениям 1980-х гг. рождения, которые к этому времени как раз в основном реализовали запланированные вторые рождения. В связи с этим еще острее встал вопрос о необходимости переадресации демографической политики малочисленным поколениям 1990-х гг. рождения. Для этого, по меньшей мере, требуется новое усиление мероприятий, и региональных, и федеральных, по стимулированию вторых рождений.

Необходима активизация мероприятий демографической политики и в области смертности. Безусловно, успехи в увеличении продолжительности жизни населения страны в последние годы оказались весьма значительными. По данным помещенной регистрации, в 2011 г. ожидаемая продолжительность жизни превысила в России рубеж в 70 лет, составив 70,3 года. Даже в наиболее благоприятные по этому показателю 1986–1987 гг. она была несколько ниже – 70,1 года, а в 2010 г. оценивалась в 68,8 года. По сравнению с 2003 г., после которого смертность в стране начала снижаться, прирост средней продолжительности жизни составил 5,5 лет [5]. В Республике Коми и Республике Саха (Якутия) успехи не столь впечатляющи, и уро-

вень смертности в последние годы уже проявлял заметную тенденцию к росту, в результате чего вновь начал увеличиваться разрыв с общероссийской величиной продолжительности жизни.

Очевидно, что несмотря на предстоящее глубокое и длительное понижение уровня рождаемости и весьма неблагоприятные в рассматриваемых республиках ее качественные характеристики, проблемы смертности должны расцениваться в них как самый главный приоритет демографической политики. Прежде всего, это касается смертности мужчин в активных трудоспособных возрастах от внешних причин и болезни системы кровообращения, которые у северных мужчин, и особенно в сельской местности, во многом являются следствием неблагоприятного образа жизни. Пропаганда здорового образа жизни, последовательное и всемерное укрепление здоровья населения, профилактика заболеваемости и развитие системы здравоохранения должны быть в центре внимания общества и социальной политики государства.

Статья подготовлена в рамках проекта конкурсных программ межрегиональных и межведомственных фундаментальных исследований УрО РАН «Демографическое развитие северных регионов России в условиях социально-экономической трансформации» (регистрационный номер 12-С-7-1009).

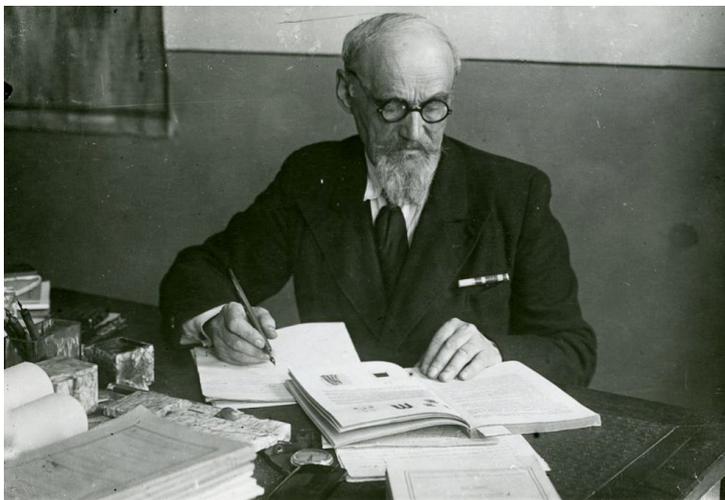
Литература

1. *Демографический ежегодник* Республики Саха (Якутия). Статистический сборник. Якутск, 2011.
2. *В прошлом году* Коми потеряла еще 9 тыс. человек. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.komiinform.ru/news/87816/>.
3. *Демографический ежегодник* России. 2010: Стат. сб. / Росстат. М., 2010.
4. *Демографический ежегодник* Республики Коми. 2010: Стат. сб. Сыктывкар: Комистат, 2010.
5. *Демографические итоги* 2011 года (часть II). [Электронный ресурс]. – URL: <http://demoscope.ru/weekly/2012/0499/index.php>.
6. *Естественное движение* населения Республики Саха (Якутия) за 2010 год. Т. 1. Якутск, 2011.
7. *Сукнёва С.А.* Смертность населения в Республике Саха (Якутия) // Вопросы статистики. 2009. № 8. С. 50–55.
8. *Постановление* ЦК КПСС, Совмина СССР № 235 от 22 января 1981 г. «О мерах по усилению государственной помощи семьям, имеющим детей» // СП СССР. 1981. № 13. Статья 75.
9. *Попова Л.А.* Этнические особенности репродуктивного поведения населения Республики Коми // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития: Науч. и обществ.-политич. журн. Санкт-Петербург, 2003. № 3 (17). С. 44–52.
10. *Естественное движение* населения Республики Коми в 2010 г.: Стат. бюл. № 48-66-60/3. Сыктывкар: Комистат, 2011.

11. *Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственной поддержки граждан, имеющих детей» № 207-ФЗ от 5 декабря 2006 г. // Российская газета. № 279. 12.12.2006.*
12. *Федеральный закон «Об обеспечении пособиями по временной нетрудоспособности, по беременности и родам граждан, подлежащих обязательному социальному страхованию» № 255-ФЗ от 29 декабря 2006 г. // Российская газета. № 297. 31.12.2006.*
13. *Федеральный закон «О дополнительных мерах государственной поддержки семей, имеющих детей» № 256-ФЗ // Российская газета. № 297. 31.12.2006.*
14. *Указ Президента Российской Федерации от 09.10.2007 г. № 1351 «Об утверждении Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года». [Электронный ресурс]. – URL: // <http://document.kremlin.ru/doc.asp?ID=041941>.*
15. *Попова Л.А., Бутрим Н.А. Современные стандарты репродуктивного поведения населения и задачи просемейной демографической политики // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз: Науч. журн. Вологда. 2011. № 2 (14). С.73–85.*
16. *Закон Республики Коми от 29.04.2011 г. № 45-РЗ «О дополнительных мерах социальной поддержки семей, имеющих детей, на территории Республики Коми» // Республика. 12.05.2011. № 98.*
17. *Закон Республики Саха (Якутия) от 16.07.2011 г. 952-З № 803-IV «О республиканском материнском капитале “Семья”».*

Статья поступила в редакцию 22.05.2012.

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ЧЕРНОВ
(к 135-летию со дня рождения. 11(24) июля 1877 г. – 22 января 1963 г.)



А.А. Чернов – выдающийся русский и советский геолог, профессор, Герой Социалистического Труда, основоположник геологических исследований Коми края.

Имя Александра Александровича Чернова известно не только научной и геологической общественности, но и многим жителям Республики Коми. С его именем связаны все фундаментальные открытия полезных ископаемых, которые коренным образом изменили экономику республики. «По натуре своей, – говорил о себе А.А. Чернов, – я первооткрыватель, мною владеют идеи поисков полезных ископаемых там, где их еще не удалось найти, идти с поисками в тот район, где есть основания искать». Таким районом для него оказался Коми край, и волею судьбы он остался верен ему до конца.

С именем А.А. Чернова неразрывно связано открытие Печорского угольного бассейна, определение перспективных нефтегазоносных площадей, обоснование коренной и россыпной золотоносности Урала и Тимана, поиски железных руд, бокситов, полиметаллических и редкометаллических руд, определение перспектив региона в отношении алмазности, солёности и многое другое.

А.А. Чернов родился 11 (24) июля 1877 года в г. Соликамске Пермской губернии в семье потомственных уральских горняков. Отец его Александр Николаевич был воспитанником Екатеринбургского горного училища, а дед Николай Иванович окончил Петербургскую горнозаводскую школу. Таким образом, в лице Александра Александровича мы видим уже третье поколение геологов в роду Черновых. В настоящее время правнук А.А. Чернова Вадим продолжил родословную традицию уже в шестом поколении Черновых.

В 1896 г. Александр Александрович окончил с серебряной медалью Пермскую губернскую классическую гимназию и осенью того же года поступил в Московский университет на естественное отделение физико-математического факультета. После окончания университета по рекомендации академика Алексея Петровича Павлова он был оставлен при кафедре геологии для подготовки к профессорскому званию. Еще будучи студентом сопровождал Алексея Петровича в его поездке в 1902 г. в Печорский край, на р. Ижму, для изучения мезозойских отложений. Именно эти поездки возбудили в нем глубокий интерес к Печорскому краю. Длительное повседневное общение с А.П. Павловым, который охотно делился своими мыслями, оказало большое влияние на будущего ученого – впоследствии он станет последователем своего учителя во многих отношениях: он будет не только геологом, но и палеонтологом, всегда будет совмещать научные интересы с поисками полезных ископаемых и с преподавательской деятельностью.

В 1907 г. Александр Александрович был направлен в качестве геолога в Монголо-Сычуанскую экспедицию П.К. Козлова. Почти весь путь экспедиции проходили по местам, где еще не бывал ни один геолог. Материалы, полученные в результате маршрутов, внесли много нового в познание геологии Центральной Азии. За исследование этого региона он был награжден от имени Географического общества любителей естествознания, антропологии и этнографии большой серебряной медалью.

По возвращении из экспедиции А.А. Чернов помимо научной работы серьезно занялся педагогической деятельностью. Особенно плодотворной она была на Высших женских курсах, где он читал курс лекций по исторической геологии. Его ученицы В.А. Варсанюфьева, Д.М. Раузер-Черноусова, Т.А. Добролюбова, Е.Д. Сошкина и другие стали впоследствии крупными учеными-геологами.

Начиная с 1902 г., он ежегодно проводил полевые исследования в Центральной Азии и Поволжье, а затем на Среднем и Северном Урале, Тимане и Пай-Хое.

В 1917–1918 гг. ученый занялся изучением геологического строения и полезных ископаемых Тимана в бассейнах рек Цильма и Пижма. В результате получены новые сведения о геологическом строении этой части Среднего Тимана. Тиманскими исследованиями закончился дореволюционный период научной деятельности А.А. Чернова.

Более плодотворным был второй период его работы, всецело посвященный изучению Печорского края. В 1922 г. Александр Александрович изучал асфальтиты по р. Ижме. Эти асфальтиты были обнаружены А.А. Черновым еще в 1904 г. во время его поездок с А.П. Павловым. Ученый подробно исследовал это месторождение, после чего оно было разведано, и началась добыча асфальтитов. В 1923 и 1924 г. были продолжены работы по поиску углей. В результате в бассейне р. Усы были выявлены две угленосные толщи. На реках Кожым и Инта в нижнепермских осадках с морской фауной были встречены пласты прибрежно-морских углей, на Нече и Косью (выше Кожыма) – толща континентальных верхнепермских отложений с растительными осадками и мощными пластами озерно-болотных углей. Ученый сразу понял значение этих открытий. Он писал: «Таким образом, в настоящее время начинают выступать на Северо-Востоке европейской части СССР неясные контуры большого каменноугольного бассейна, который естественно назвать Печорским».

1924-й год сам А.А. Чернов считал годом открытия Печорского бассейна и первому юбилею этой даты он посвятил специальную статью: «Десять лет Печорского бассейна», опубликованную в журнале «Наука и жизнь» в 1935 г.

Наряду с работами по изучению углей ученый уделял большое внимание и проблемам нефтеносности Печорского края и Тимана. Еще 9 января 1929 г. он в соавторстве с А.Ф. Лебедевым сделал доклад у члена коллегии ОГПУ Бокия об углях и нефти Печорского бассейна. В результате их сообщений весной того же года на р. Ухта была направлена специальная экспедиция, которая занялась разведочными работами на нефть и уголь. В последующие годы А.А. Чернов неоднократно выступал в печати и с докладами о необходимости поисков нефти в Средней Печоре и Большеземельской тундре.

Значительная часть работ ученого посвящена таким полезным ископаемым, как золото, алмазы, соли и др. А.А. Чернов по праву считается отцом геологии этого региона. Он был первым геологом, начавшим здесь систематические исследования, которые длились более 40 лет, вплоть до последних дней его жизни. Почти вся территория Республики Коми и сопредельные районы были охвачены его исследованиями, им были заложены основы геологии многих крупных регионов. К этим регионам прежде всего относятся Северный Урал, гряда Чернышева и Тиман.

Александр Александрович также фундаментально интересовался геологическими вопросами, разрешаемыми палеонтологической наукой и ее задачами в области стратиграфии.

В целом А.А. Чернов явился крупнейшим специалистом в области региональной геологии, стратиграфии, исторической геологии, тектоники, инженерной геологии, полезных ископаемых, палеонтологии и др. Его региональные исследования охватывали Центральную Азию (1907–1909), Поволжье (1912–1915), Фергану (1914), Тиман (1917, 1918, 1942–1948) и особенно Урал и Предуралье с 1902 г. и до последних лет жизни.

Свой огромный опыт в познании геологического строения Коми края и его полезных ископаемых А.А. Чернов воплотил в монографии «Производительные силы Коми АССР». Том 1. Геологическое строение и полезные ископаемые», изданной в 1953 г. К этой книге приложены первые геологическая карта и карта полезных ископаемых Коми АССР. Это уникальный труд. С тех пор прошло более 50 лет, но он не потерял своей научной ценности. А.А. Чернов опубликовал свыше 200 работ. Имеется также более 170 рукописных работ под его авторством.

Президент Академии наук СССР академик А.П. Карпинский в 1935 г. писал: «Профессор Александр Александрович Чернов является одним из выдающихся исследователей геологии нашего Союза. Основные работы его посвящены изучению палеозойских отложений севера Европейской части СССР, где Александр Александрович проделал весьма обширную работу и как полевой исследователь... Особенной заслугой А.А. Чернова является научная разработка представления о Печорском угленосном бассейне, в процессе изучения которого Александр Александрович лично сделал немало находок ископаемых углей».

Возглавляя отдел геологии в Коми филиале Академии наук СССР, Александр Александрович руководил работами своих аспирантов и младших научных сотрудников. Среди его учеников известные геологи Н.Н. Кузькокова, М.В. Фишман, А.И. Першина, А.И. Елисеев, В.И. Чальшев, Н.В. Калашников.

А.А. Чернов вел большую научно-организационную работу. Велика его роль в организации геологических конференций Коми АССР, которые проводятся регулярно, начиная с 1942 г. Он был не только деятельным участником, но и постоянным редактором трудов этих конференций.

Александр Александрович всегда занимался и общественной деятельностью. Он был активным, а впоследствии – почетным членом Московского общества испытателей природы и Всесоюзного палеонтологического общества. В течение ряда лет (1949–1955 гг.) избирался депутатом Сыктывкарского городского Совета, Верховного Совета Коми АССР, причем относился к своим обязанностям с исключительной ответственностью. Он пользовался огромным авторитетом и популярностью, но оставался всегда простым и скромным, очень добрым по отношению к людям.

А.А. Чернов часто встречался с научной молодежью, был неизменным участником филиальных праздников и вечеров. Я помню его слова на одной из встреч с молодыми учеными: «Науку нужно любить горячее и преданнее, чем женщину. Женщина может иногда и изменить, а наука, если ей отдаешь все свои творческие помыслы и усилия, никогда тебе не изменит». Конечно, это было сказано с долей юмора. Но весь жизненный пример Александра Александровича говорит именно о том, что он с самого начала своей деятельности и до последних лет жизни был до конца предан идее

служения Родине своими геологическими исследованиями с целью поиска нужных для страны полезных ископаемых.

За выдающиеся геологические исследования Европейского Севера А.А. Чернов был награжден в 1943 г. орденом Трудового Красного Знамени, в 1945 г. – орденом Красной Звезды, в 1953 г. – орденом Ленина. В 1944 г. ему присвоено звание заслуженного деятеля науки и техники Коми АССР, а в 1946 г. – заслуженного деятеля науки РСФСР. В 1952 г. Президиум АН СССР присудил ему высшую награду – золотую медаль имени А.П. Карпинского. За заслуги в области геологии и многолетнюю научно-педагогическую деятельность, в связи с 80-летием со дня рождения, 23 июля 1957 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР А.А. Чернову было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ему ордена Ленина и золотой медали «Серп и молот».

И, действительно, вся долгая и плодотворная жизнь и деятельность Александра Александровича Чернова – это образец беззаветного служения отечественной науке и народу.

Умер А.А. Чернов 22 января 1963 г., похоронен в г. Сыктывкаре. Именем Александра Александровича названа гряда на северо-востоке Большеземельской тундры (поднятие Чернова), новый минерал, открытый д.г.-м.н. Б.А. Голдиным на Приполярном Урале (черновит), улицы в городах Республики Коми – Сыктывкаре, Инте, Воркуте. В Воркуте ему установлен памятник как первооткрывателю Печорского угольного бассейна. Мемориальные доски в его честь установлены на зданиях Президиума Коми научного центра и Института геологии. Его имя носит научный геологический музей Института геологии Коми научного центра. В Институте геологии ежегодно проводятся Черновские чтения.

За выдающиеся заслуги в социально-экономическом развитии Республики Коми и в связи с 90-летием ее образования профессору А.А. Чернову присвоено почетное звание РК «Почетный гражданин» как выдающемуся геологу, первооткрывателю минерально-сырьевых ресурсов Тимано-Печорского региона. Благодаря А.А. Чернову выявлены богатейшие запасы природного сырья, ставшие основой для развития промышленности и экономики региона. Наша республика сделала огромный рывок в развитии и стала одним из крупнейших индустриальных регионов Европейского Севера России.



*Е.П. Калинин, к.г.-м.н.,
ведущий научный сотрудник
Института геологии Коми НЦ УрО РАН*

МАРГАРИТА ВАСИЛЬЕВНА ГЕЦЕН



6 ноября 2012 г. исполнилось 75 лет известному альгологу, ведущему специалисту нашей республики по проблемам экологии и охраны восточноевропейских тундр, инициатору организации стационарных исследований на Крайнем Севере, заслуженному экологу Российской Федерации, заслуженному работнику Республики Коми

ми, отличнику охраны природы Российской Федерации, ветерану труда, доктору биологических наук **Маргарите Васильевне Гецен**.

С именем Маргариты Васильевны, известного специалиста по изучению водорослей и экологии тундровых организмов, связано не только развитие новых направлений в Институте биологии Коми научного центра УрО РАН, но и становление комплексных стационарных исследований в восточноевропейских тундрах. Ею впервые были выявлены основные закономерности формирования и функционирования водорослевых сообществ в водоемах и почвах Крайнего Севера. Материалы многолетних исследований легли в основу докторской диссертации «Проблема места и значения водорослей в сложении экосистем Крайнего Севера (на примере Большеземельской тундры)», которую Маргарита Васильевна успешно защитила в 1987 г. в Ботаническом институте АН СССР им. В.Л.Комарова. Монография М.В. Гецен «Водоросли в экосистемах Крайнего Севера (на примере Большеземельской тундры)» (1985) по праву считается классическим научным трудом и является настольной книгой нескольких поколений альгологов России. Научная деятельность Маргариты Васильевны также тесно связана с изучением состава почвенно-растительного покрова как показателя благополучия и нарушенности экосистем в районах углей и нефтедобычи на Северо-Востоке европейской части России. Под ее руководством в Институте биологии сформировалось новое направление исследований по проблемам биоиндикации и охраны тундровых экосистем в Республике Коми.

М.В. Гецен автор более 120 научных работ, включая монографические сводки о научных основах природопользования. Под ее редакцией издано 26 тематических сборников и монографий.

М.В. Гецен – талантливый организатор научных исследований. В 1974–1981 гг. Маргарита Васильевна работает в должности ученого секретаря Института биологии. В 1977 г. ей присвоено звание старшего научного сотрудника по специальности «Ботаника». В 1985 – 1988 гг. Президиум Академии наук назначает М.В.Гецен ис-

полняющей обязанности директора Института биологии Коми филиала АН СССР. В разные годы она была секретарем Коми отделения Всесоюзного гидробиологического общества, членом Центрального совета Всесоюзного Ботанического общества и входила в состав различных координационных советов по линии Отделения общей биологии АН СССР.

Научная деятельность М.В. Гецен многогранна. Но в первую очередь она безгранично предана изучению экосистем Арктики. В целях разностороннего изучения и сохранения тундровой биоты под ее руководством в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН было организовано первое междисциплинарное подразделение по экологии и охране тундры, которое в течение двух десятилетий объединяло специалистов разных направлений исследований. Научную идеологию этого коллектива М.В.Гецен перенесла на деятельность Воркутинского полевого стационара, а также серию междисциплинарных конференций «Город в Заполярье и окружающая среда», проходивших при поддержке руководства республики и администрации г. Воркута в 1994–2003 гг.

Многолетний организаторский опыт Маргариты Васильевны позволили создать при Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми «Экологический центр по изучению и охране восточноевропейских тундр республиканского значения». Центр привлекал ведущих специалистов различных учреждений страны и республики, которые проводили экологический мониторинг за состоянием экосистем Воркутинской тундры. Она руководила центром с 1995 по 2010 гг.

М.В.Гецен оставалась неизменным координатором и редактором многотомных научных трудов северного форума по городам Заполярья, в которых была сформулирована научная проблематика, которая должна была стать основой для дальнейшего анализа проблем будущего развития ресурсных городов российского Севера.

Маргарита Васильевна много внимания уделяла педагогической и научно-просветительской деятельности. Она читала лекционные курсы по экологии студентам разных отделений ведущих вузов Республики Коми в Сыктывкаре, Ухте, Воркуте. Под ее руководством выполнено множество курсовых и дипломных работ студентов, а также защищены кандидатские диссертации. Важной вехой в приобщении молодого поколения к изучению природы тундры стало издание, а спустя семь лет переиздание научно-популярной книги энциклопедической направленности «Воркута – город на угле, город в Арктике» (2004, 2011 гг.). составителем и редактором которой выступила М.В.Гецен.

И сегодня Маргарита Васильевна в научном строю. Достояна уважения и ее активная общественная деятельность. Несколько лет она была членом «Женской палаты РК», стояла у истоков создания и возглавляла Общественный совет при Минприроды РК. Является экспертом «Общественной палаты РК», членом Экологического совета при Администрации г. Сыктывкара и зам. главного редактора журнала «Известия Коми научно-

го центра УрО РАН». Маргарита Васильевна всегда была и остается энергичной, фантастически трудолюбивой, широко эрудированной и доброжелательной.

Поздравляем дорогую Маргариту Васильевну с очередным юбилеем и желаем ей здоровья и успешного покорения новых творческих вершин.

редколлегия

ЭЛЕОНОРА АНАТОЛЬЕВНА САВЕЛЬЕВА



15 ноября 2012 г. исполнилось 75 лет известному специалисту по финно-угорской археологии, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, заслуженному деятелю науки Коми АССР, лауреату премии Коми комсомола, лауреату Государственной премии Республики Коми в области науки, лауреату Государственной премии Республи-

ки Коми в области образования, кавалеру ордена Дружбы, главному научному сотруднику отдела археологии Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, доктору исторических наук, доценту, почетному профессору Сыктывкарского государственного университета **Элеоноре Анатольевне Савельевой**.

Э.А.Савельева стояла у истоков археологической науки в Республике Коми. Более чем 50 лет она ведет археологические исследования на территории Европейского Северо-Востока. За это время ею открыты и исследованы десятки археологических памятников, которые стали обширной надежной источниковедческой базой по одному из важнейших периодов в истории народа коми – эпохе средневековья.

С 1961 г. Элеонора Анатольевна проводит самостоятельные полевые археологические исследования, в ходе которых открыты и исследованы памятники I – первой половины II тыс. н.э. на территории Республики Коми и Архангельской области, позволившие обеспечить новыми источниками период начального этапа формирования коми этноса. Благодаря ее исследованиям на основе новых многочисленных и разнообразных источников, полученных в экспедициях по таежному Привычегодью, было обосновано выделение вымской археологической культуры летописной перми вычегодской, всесторонне изучены все аспекты культуры перми вычегодской – предков современных коми.

Исключительно большой труд вложен Э.А.Савельевой в подготовку, ставших теперь уже классическими, академических изданий, в том числе коллективной монографии «Археология Республики Коми», ответственным редактором и

одним из авторов которого она является. Этот фундаментальный научный труд, вдохновителем которого стала Элеонора Анатольевна, первое в отечественном и зарубежном финно-угроведении обобщающее исследование по археологии, в котором отражены все основные результаты изучения материальной и духовной культуры древнего населения Северо-Востока европейской части России на протяжении огромного промежутка времени – от эпохи древнекаменного века (палеолита) до позднего средневековья (X–XIV вв. н.э.). Она являлась научным руководителем таких значимых для Республики Коми проектов, как «Историко-культурный атлас Республики Коми» и «Атлас Республики Коми».

Материалы и работы Э.А. Савельевой широко используются в обобщающих изданиях по истории нашей республики, отечественной археологии, в учебных пособиях для студентов и школьников. Кроме специальных работ по археологии Э.А.Савельева является инициатором, автором или соавтором научно-популярных и учебных изданий для школ и ВУЗов, пользующихся большой известностью: «Народное искусство коми», «Историко-культурный атлас Республики Коми», «Атлас Республики Коми» и «Исторический Атлас Республики Коми», «Археология Коми АССР», «Наш край в истории СССР», «История Коми АССР», «История Республики Коми», «История Коми с древнейших времен до современности», «История родного края», периодического краеведческого альманаха «Родники пармы», альманаха «Памятники Отечества», посвященного Республике Коми.

Элеонора Анатольевна обладает уникальным научно-организационным и педагогическим талантом. В 1972 г. в связи с комплектованием кадров нового высшего учебного заведения Э.А. Савельева была переведена в Сыктывкарский государственный университет. Здесь она прошла путь от старшего преподавателя (1972–1975 гг.) и доцента (1975–1977 гг.) до декана исторического факультета (1977–1979 гг.) и заведующей кафедрой истории СССР (1982–1985 гг.). В Сыктывкарском университете разработала и успешно читала лекционные курсы по таким важнейшим дисциплинам, как «История первобытного общества», «Основы археологии», «Основы этнографии», «Археология Коми АССР», а также цикл

спецкурсов по этногенезу финно-угорских народов. Итогом многолетних полевых исследований Северодвинской археологической экспедиции стала монография «Вымские могильники», вышедшая в издательстве ЛГУ в 1987 г., в которой опубликованы результаты раскопок памятников вымской археологической культуры, проведенные в 1960–1980-е гг.

В 1985 г. Э.А. Савельева вернулась в Институт языка, литературы и истории Коми филиала АН СССР и была избрана заведующим отделом археологии, в 1991 г. – заместителем директора Института по научной работе. Именно во второй половине 1990–2000-х гг. полностью раскрывается талант Элеоноры Анатольевны как организатора научных исследований в Республике Коми. В этот период она руководила разработкой научно-исследовательской тематики в Институте, координировала взаимодействие с исследовательскими центрами России и зарубежья, активно участвовала в организации и проведении международных, всесоюзных, всероссийских и региональных научных форумов: VI Международного конгресса финно-угроведов (1985 г.), Международного симпозиума «Проблемы историко-культурной среды Арктики» (1991 г.), Международной конференции «Христианизация Коми края и ее роль в развитии государственности и культуры» (1996 г.), Международной конференции «Коренные этносы Севера европейской части России на пороге нового тысячелетия: история, современность, перспективы» (2000 г.), XI Уральского археологического совещания (1989 г.), I Всероссийской научной конференции «Пермские финны: археологические культуры и этносы» (2007 г.).

Одной из характерных черт Э.А. Савельевой является постоянное стремление передать свои

знания другим. Эта грань ее личности ярко проявилась в активной деятельности по популяризации археологических знаний, руководстве подготовкой диссертационных исследований по археологии. В археологический кружок, которым она руководила работая в Сыктывкарском университете, регулярно выстраивалась очередь из желающих заниматься в нем студентов. Многие из выполненных под ее руководством дипломных работ ежегодно представлялись на всероссийские и всесоюзные конкурсы студенческих работ и удостоивались высоких наград. Кроме теоретических курсов, Э.А. Савельева в течение многих лет постоянно осуществляла руководство полевой археологической практикой студентов исторического факультета. По её инициативе в Институте в 2002 г. создан современный музей «Археологии Европейского Северо-Востока». Часть находок из богатейших коллекций археологических памятников, исследованных Э.А. Савельевой, демонстрируется в республиканских музеях и Эрмитаже.

Неуемная энергия и огромная работоспособность Элеоноры Анатольевны вызывают восхищение. Она стремится постоянно быть в центре научной и общественной жизни республики. С 2011 г. одновременно с работой в Институте, Э.А. Савельева возглавляет «Центр “Наследие” имени Питирима Сорокина», цель которого – сохранение, развитие, пропаганда и внедрение наследия этого выдающегося ученого в социально-культурную жизнь России. За короткий период своего существования фонд наладил издание журнала «Наследие», организовал две научные конференции, издал ряд монографий.

Пожелаем Элеоноре Анатольевне крепкого здоровья и дальнейшей плодотворной работы.

редколлегия

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ПОПОВ



24 декабря 2012 г. исполнилось 60 лет известному ученому и общественному деятелю, заслуженному работнику Республики Коми, лауреату Государственной премии Республики Коми в области науки, доктору исторических наук, профессору, и.о. зав. отделом истории и этнографии ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН, дей-

ствительному государственному советнику Российской Федерации 3-го класса **Александру Александровичу Попову**.

За последние десятилетия Александр Александрович инициировал и принимал активное участие в создании новых научных направлений в региональной отечественной исторической науке, посвященных национально-государственному

строительству финно-угорских народов Российской Федерации, истории культуры северной деревни и политической истории Республики Коми. В области исследований национально-государственного строительства им опубликованы (в соавторстве) такие, например, знаковые работы, как «В начале пути: очерки истории становления и развития Коми автономии» (Сыктывкар, 1996), «Национальный вопрос в Республике Коми в конце XX века: историческое исследование» (Сыктывкар, 2000), «Республике Коми – 80 лет» (Сыктывкар, 2001), множество статей, в т.ч. за рубежом; он один из ведущих специалистов в историографии национально-государственного строительства народов Российской Федерации в XX в. В одной из последних на сегодня работ по данной проблематике и посвященной современной трактовке понятия «федерализм» А.А. Попов (в соавторстве) делал справедливый вывод, что «...Бывшие автономные республики и все автономные области (за исключением одной)

стали просто республиками. Во всех округах коренное этническое население составляет абсолютное меньшинство... Нужны новые формы и механизмы защиты прав коренных малочисленных народов, сохранения их самобытности» (Национальные отношения на европейском Северо-Востоке: история и современность (социально-экономические, политические, культурные аспекты) / Труды ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН. Вып.66. Сыктывкар, 2009).

Александр Александрович признанный авторитет в сфере региональных социокультурных исследований. В 1996 г. им в Москве, Институте российской истории РАН защищена докторская диссертация на тему «Культура северной деревни в 60–80-е годы (на материалах Архангельской и Вологодской областей, Карельской и Коми АССР)», в которой был обобщен опыт культурной политики в российской северной деревне за три советских десятилетия XX столетия. В настоящее время А.А.Попов инициировал новую плановую тему академических исследований в ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН «Социокультурная динамика российской северной провинции: XIV–XXI вв. (на материалах Республики Коми)» на 2013–2015 гг., в которой четко сформулирована цель исследований: «История – это прежде всего свидетельство достигнутого обществом того или иного культурного уровня, показатель социально-экономических отношений в обществе, способности его обеспечивать право на образование и культурное развитие людей. Поэтому столь важно многоплановое глубокое изучение истории культуры».

Весьма интересное исследование ученый провел в начале 2000-х гг. о судьбе семьи А.Ф.Керенского (как известно, семья премьер-министра Временного правительства в 1918 г. проживала в Коми крае, в Усть-Сысольске – Сыктывкаре). Александр Александрович опубликовал свое исследование о судьбе семьи премьера Временного правительства в сборнике «Служим Отечеству: органы государственной безопасности Республики Коми (Документы, материалы, воспоминания: 1918–1998)» (Сыктывкар, 1998) и передал этот сборник потомкам А.Ф.Керенского, проживающим в Великобритании.

А.А.Попов автор и соавтор около 200 научных трудов (среди них шесть монографий и три учебных пособия); член редколлегий академических изданий Коми НЦ УрО РАН «Энциклопедия Республики Коми» (1997–2000 гг.), «История Коми с древнейших времен до современности» (2004 – 2011 гг.), научный редактор многотомных трудов «Книга Памяти Республики Коми» и «Фотолетопись Республики Коми: строками судеб».

Он пользуется заслуженным авторитетом в российском и международном научном сообществе как ученый и организатор. Одним из первых региональных историков А.А.Попов инициировал и был активным участником ряда таких международных проектов, как «Национальная государственность у финно-угорских народов Северо-Западной России: Карелия и Коми в сравнении с Финляндией в 1917–1940-е гг.»

(Россия – Финляндия), «Нормы и ценности советского общества и культуры в 1920–1950-е гг.» (Россия – Финляндия – Франция), «Циркумпольная международная этнографическая полевая школа» (Россия – Канада – Норвегия) и др. По итогам работы, например, циркумпольной международной этнографической полевой школы в научном сообществе была учреждена исследовательская сеть – «Северный семинар» (координаторы: с канадской стороны проф. Д. Макдональд, с российской стороны проф. А.А. Попов). В 2011 г. А.А.Попов возглавил рабочую группу оргкомитета Всероссийской научной конференции с международным участием «Республика Коми в составе Российской Федерации: история и современность» (к 90-летию Коми автономии). В своем докладе (в соавторстве) на конференции Александр Александрович выделил пять этапов в национально-государственном развитии Республики Коми за 1921–2011 гг.; конференция подвела итоги 90-летнего исторического пути развития Республики Коми в составе Российской Федерации. В настоящее время ученый – сопредседатель постоянно действующего российско-финляндского научного семинара «Северное измерение Евросоюза и Российский Север» и российско-канадского «Модели самоуправления народов Севера в двух типах федерации: Канадской и Российской».

Значительное место в научной биографии ученого занимает сотрудничество с вузами. Он мастер слова, его лекции интересны студентам; неоднократно Александр Александрович возглавлял государственные аттестационные комиссии на различных факультетах Коми государственного педагогического института, Сыктывкарского государственного университета (СГУ), Коми республиканской академии госслужбы и управления (КРАГСИУ), избирался членом Ученых советов СГУ и КРАГСИУ, плодотворно работал в составе Диссертационного совета истфака СГУ. Под научным руководством А.А.Попова защищены несколько диссертаций на соискание ученой степени кандидата исторических наук, в том числе в этом юбилейном году его ученик М.А.Петровский защитил диссертацию на тему «Исторический опыт функционирования службы крови в системе советского здравоохранения в 1935–1985 гг. (на материалах Республики Коми)» в Диссертационном совете государственного университета.

В фотоальбоме «Ученые Республики Коми: Портрет интеллекта» (СПб, 2001) об Александре Александровиче очень точно и емко сказано: «Одинаково комфортно чувствует себя и в науке, и в политике. Сделанное им поражает масштабностью и глубиной...». Это так. А.А.Попов широко известен как общественный, политический деятель. Он внес большой вклад не только в теорию, но и практику решения, например, национального вопроса в регионе. Используя свои научные знания, занимая активную гражданскую позицию, Александр Александрович сыграл чрезвычайно конструктивную роль в массовом национальном движении коми народа в 1990-е гг. Уже начиная со второй половины 1980-х гг. он активный участник подготовки пленумов ЦК и Коми ОК КПСС, принимавших программные докумен-

ты по национальной политике. В 1989 г. А.А.Попов вошел в число организаторов коми национального общества «Коми котыр», первого съезда коми народа в 1991 г., являлся советником Главы Республики Коми Ю.А.Спиридонова по национальным проблемам. В качестве эксперта Александр Александрович принимал участие в деятельности Рабочей группы ООН по правам коренных народов в Швейцарии в 1994 г., в разработке пакета законопроектов Государственного Совета Республики Коми. В 1997–2000 гг. он исполнял обязанности Полномочного представителя Президента России в Республике Коми.

Сегодня ученый представляет академическую науку в Коллегии Министерства культуры и

национальной политики Республики Коми, он руководитель Коми регионального экспертного совета Российского гуманитарного научного фонда «Русский Север: история, современность, перспективы», председатель Российского комитета историков финно-угроведов.

Эрудиция, высокая компетентностьнискали Александру Александровичу заслуженное уважение в научных и общественных кругах. Он и сегодня в постоянном творческом поиске, пишет новые книги, готовит в печать рукописи материалов научных конференций.

редколлегия

ПОТЕРИ



17 декабря 2012 г. на 81-м году ушел из жизни один из ярких представителей научной элиты не только Института геологии Коми научного центра УрО РАН, но и всего Российского геологического сообщества, высокопрофессиональный петрограф, доктор геолого-минералогических наук, профессор

ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ МАХЛАЕВ

Л.В. Махлаев родился 4 июня 1932 г. в г. Грязовце Вологодской области. В 1950 г. закончил с золотой медалью среднюю школу в г. Смоленске и поступил на геологический факультет Ленинградского государственного университета, который окончил с отличием в 1955 г. по специальности «Геология и поиски месторождений радиоактивных элементов».

С 1956 по 1963 г. Лев Васильевич работал в Институте геологии Арктики (НИИГА), где занимался изучением докембрия Таймыра, оценкой бериллоносности слюдяных пегматитов этого региона, а также участвовал в 200-тысячной съемке западного Прианабарья, в ходе которой им были открыты на Маймеча-Кутуйском водоразделе первые в Красноярском крае кимберлитовые трубки, составившие особую кимберлитовую провинцию – первую в СССР, расположенную за пределами Якутии.

В 1963 г. Л.В. Махлаев переехал в Красноярск и работал в местном отделении Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья.

Исследования этого периода привели Л. В. Махлаева к представлениям о наследовании гранитоидами особенностей состава первичных гранитообразующих субстратов, что стало основой разработанной им концепции изолигитогенных гранитных рядов, как о совокупности продуктов разных стадий ультраметаморфического преобразования литологически однотипных исходных пород, включая и формирование коровых палингенно-анатектических гранитных магм.

В 1963 г. в Новосибирском институте геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР ученый защитил кандидатскую диссертацию на тему «Метаморфические породы и гранитоиды Берега Харитона Лаптева (Таймыр)» и в 1980 г. в том же институте – докторскую диссертацию на тему «Гранитная серия докембрия Таймыра и проблема палеолитологических реконструкций ультраметаморфических комплексов».

В 1974 г. Л.В. Махлаев был приглашен в Красноярский институт цветных металлов (Цветмет) в качестве руководителя создававшейся там кафедры общей геологии, минералогии и петрографии. Он стал ее первым заведующим и оставался им до 1985 г. Лев Васильевич разрабатывал и читал на этой кафедре базовые курсы для студентов-геологов и студентов горных специальностей: общую геологию, кристаллографию, петрографию, литологию и геотектонику. В 1982 г. ему было присвоено звание профессора.

В 1985 г. Л.В. Махлаев переехал в г. Сыктывкар и поступил на работу в Институт геологии Коми филиала АН СССР (старший научный сотрудник, заведующий лабораторией петрографии (1986–2003 гг.), главный научный сотрудник). И в Республике Коми Лев Васильевич остался верен своему гранитному направлению. Он первым предложил использовать для гранитов севера Урала современную палеосубстратную классификацию, что позволило определить их место в геодинамической эволюции региона и с новых позиций оценить их вклад в рудоносность Урала.

Важным открытием было выявление нового для Урала типа эндогенных образований – интрузивных пирокластитов: туффизитов и валунных даек. Изучение этих образований приобрело особое значение в связи с установлением туффизитовой природы коренных источников алмазов – кимберлитов и лампроитов, и развертыванием поисков алмазов в Республике Коми. Л.В. Махлаев – лидер в петрологии псевдооживленных систем (принципиально отличающихся от магматитов и метаморфитов). Им была обоснована необходимость выделения флюидизатной петрологии в особое направление этой науки, получившее подтверждение в нововведениях в петрографический кодекс 2008 г. и широко обсуждавшееся на петрографическом совещании 2010 г. в Екатеринбурге.

Параллельно с работой в Институте геологии Лев Васильевич, как профессор Сыктывкарского государственного университета, со дня основания кафедры геологии вел курсы общей геологии, петрографии, метаморфизма горных пород. Дважды (1997, 2002 гг.) он становился Соровским профессором, являлся членом ГЭК кафедры геологии Сыктывкарского государственного университета, а также профессором кафедры прикладной геологии, минералогии и геохимии Ухтинского технического университета и председателем ГАК УГТТУ по специальности «прикладная геология, минералогия и геохимия». За годы работы Л.В. Махлаевым подготовлено два доктора наук и более 10 кандидатов.

За свою большую творческую жизнь Лев Васильевич реализовал множество научно-исследовательских проектов. Им написано и опубликовано более 270 трудов, 15 монографий и учебных пособий.

Л.В. Махлаев был членом ученого совета Института геологии, двух докторских диссертационных советов, членом межведомственного петрографического комитета РАН и его Коми региональной комиссии, действительным членом двух общественных академий – Российской академии естественных наук и Уральской академии геологических наук.

Многолетний и плодотворный труд Л.В. Махлаева отмечен почетными грамотами Министерства геологии СССР, Президиума Верховного Совета Республики Коми, Министерства образования РК, Почетной грамотой РАН и профсоюза работников РАН, благодарственным письмом Главы РК. Ему присвоены звания «Ветеран Коми НЦ» и «Заслуженный работник Республики Коми». Лев Васильевич награжден медалью «250-летие Ленинграда» и одним из первых удостоен высшей награды общественной организации «Российское геологическое общество» – медали «Геолог Игорь Грамберг».

Лев Васильевич состоялся не только как крупный ученый, но и как научный руководитель, отличительной особенностью которого была редкая черта – «Не навреди!». Все, кто посещал его лекции, отмечают блестящий талант замечательного рассказчика, обладавшего прекрасным литературным русским языком. Он как никто другой мог рассказать просто о сложном. Лев Васильевич был преподавателем от Бога: терпелив, отзывчив, корректен, мудр, с прекрасным чувством юмора. Мягкость, неконфликтность и доброта, так коллеги определяли главные человеческие качества Льва Васильевича. Он обладал и литературным талантом – его мемуарный роман «Полвека в геологии» написан совершенным художественным языком.

Светлая память о Льве Васильевиче Махлаеве, большом Учене, неутомимом Исследователе, безгранично преданном Науке, и прекрасном Человеке навсегда сохранится в наших сердцах.

редколлегия

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»*

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 25 м.с.), оригинальные статьи (до 15 м.с.) и краткие сообщения (до 6 м.с.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая новизну, научную значимость и актуальность представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются.

Общие требования к оформлению рукописей

Статьи должны сопровождаться направлением научного учреждения, где была выполнена работа. В необходимых случаях должно быть приложено экспертное заключение. Организация, направляющая статью, как и автор(ы), несет ответственность за её научное содержание, достоверность и оригинальность приводимых данных. Изложение материала статьи должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть хорошо отредактирована, тщательно проверена и подписана всеми авторами (автором) с указанием (полностью) фамилии, имени, отчества, домашнего адреса, места работы, служебного и сотового телефонов и e-mail.

В редакцию подается рукопись статьи в двух экземплярах – на бумаге и на диске в редакторе WinWord под Windows. Математические статьи могут подаваться в редакторе TEX. Электронная и бумажная версии статьи должны быть идентичны. Электронный вариант рукописи может быть прислан по электронной почте на адрес редакционной коллегии: journal@presidium.komisc.ru. Текст должен быть набран на компьютере (шрифт Times New Roman, кегль 14) в одну колонку через 1,5 интервала на бумаге форматом А4. По всей статье шрифт должен быть одинаковым. Поля страниц оригинала должны быть не менее: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Объем иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должен превышать 8-10, а список литературы – 15 наименований. Количество иллюстраций в кратких сообщениях не должно превышать, соответственно, 5.

Первая страница рукописи оформляется следующим образом: в начале статьи указывается индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); затем прописными буквами печатается название статьи, которое должно быть максимально кратким (информированным) и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Ниже печатается электронный адрес для переписки. При наличии авторов из нескольких организаций необходимо арабскими цифрами указать их принадлежность. Через один полуторный интервал следует краткая аннотация (8-10 строк), в которой сжато и ясно описываются основные результаты работы. После аннотации через полуторный интервал приводятся ключевые слова (не более 6-8). Далее идут название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

Текст статьи состоит, как правило, из введения, основного текста, заключения (резюме) и списка литературы. В статье, описывающей результаты экспериментальных исследований, рекомендуется выделить разделы: «Материал и методы», «Результаты и обсуждение». Отдельно прилагаются 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. Сокращения 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 подрисовочные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисовочных подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 рix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль –9-10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

Фотографии представляют нескрепленными на белой глянцевой бумаге в двух экземплярах (один из них чистый, без каких-либо надписей) в конверте. Желательно обрезать их до необходимого размера репродукции, чтобы они попадали в размеры страницы. На обратной стороне (на полях) фотографий простым карандашом указываются фамилии первого автора, название статьи, порядковый номер рисунка, его верх или низ. Подрисовочные подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

Математические и химические обозначения и формулы печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (с, k, j, p, u, v, w, x, y, ψ), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные – снизу (S), а строчные – сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j («йот») и l («эль»). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Знак суммы (Σ) красным не обводится. Название неясных букв желательно написать карандашом на полях (например, «эль», «кси», «дзета», «не эль», «и», «йот»).

Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, отмечаются снизу квадратной скобкой. Необходимо также дать расшифровку всех используемых в статье параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Следует соблюдать единообразие терминов. Нумерация формул (только тех, на которые есть ссылка в тексте) дается в круглых скобках с правой стороны арабскими цифрами.

В тексте цитированную литературу приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии со следующими правилами описания. Журнальные публикации: фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи журнала, название журнала (в соответствии с рекомендованным ВИНТИ списком сокращений), год, том, выпуск (номер), страницы (первая и последняя). Книги: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, инициалы и фамилии редакторов, город, год, страницы (если ссылка не на всю книгу) или число страниц в книге. Сборники: фамилия и инициалы авторов, полные названия статьи и сборника, первая и последние страницы. Если сборник содержит материалы конференций, необходимо указать их форму (труды, доклады, материалы) и название конференции. Диссертации: фамилия и инициалы автора, полное название диссертации, на соискание какой степени, каких наук, город, институт, в котором выполнена работа, год. Ссылки на авторефераты допускаются в исключительных случаях с указанием фамилии и инициалов автора, полного названия работы, места и года защиты, общего количества страниц. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Список литературы оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

1. Иванов И.И. Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18-26.

2. *Петров П.П.* Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).

3. *Казаков К.К.* Название диссертации: Дис. «...». канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.

4. *Мартыннюк З. П.* Патент RU № 92963 на полезную модель "Фотограмметрическое средство измерений объемов круглых лесоматериалов при проведении погрузо-разгрузочных работ". Патенто-обладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

При наличии четырех авторов в списке литературы указываются все, а более четырех – только первые три, а далее пишется «и др.».

Для статей журналов, имеющих русскую и английскую версию, необходимо давать в списке литературы двойную ссылку (под одним номером), например:

1. *Иванов И.И., Петров П.П.* Название статьи // Название журнала. 2008. Т. 47. № 1. (8-18). *Ivanov I., Petrov P.* Article name // Magazine name. 2008. Т. 47. № 1. (4-15).

При несоблюдении этих перечисленных правил статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а, следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную коллегия не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 7-10 дней должен вернуть ее в редакционную коллегия или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и дискета не возвращаются.

Требования к электронной версии статьи

При подготовке материалов для журнала с использованием компьютера рекомендуются следующие программы и форматы файлов.

Текстовые редакторы: Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается с соблюдением следующих правил:

- набирать текст без принудительных переносов;
- разрядки слов не допускаются;

- уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются **в порядке их упоминания в тексте**; нумеровать следует лишь те формулы и уравнения, на которые даются ссылки в тексте;

- в числовых значениях десятичные разряды отделяются запятой;
- вставка символов **Symbol**.

Графические материалы: *Растровые рисунки* должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi (точек на дюйм) для остальных рисунков (черно-белый). Использование других форматов нежелательно.

Векторные рисунки (не диаграммы) должны предоставляться в формате программы, в которой они созданы: CorelDraw, Adobe Illustrator. Если использованная программа не является распространенной, необходимо сохранить файлы рисунков в формате Enhanced Windows Metafile (EMF) или Windows Metafile (WMF).

Диаграммы: Рекомендуется использовать Microsoft Excel, Origin для Windows (до версии 6.0).

Не рекомендуется пользоваться при работе программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:

Ответственному секретарю редакционной коллегии
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»
Надежде Валериановне Ладановой
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24,
Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 209
Тел. (8212) 24-47-79; тел, факс (8212) 24-17-46
E-mail: journal@presidium.komisc.ru.
www.izvestia.komisc.ru

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ

Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып.4(12)

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 20.12.2012.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 16,75. Уч.-изд.л. 16,75. Тираж 300. Заказ № 56.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.