Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Коми научный центр УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№4(24) **2015**

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,* 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,*
к.т.н. *В.Е. Кулешов,* чл.-корр. РАН *А.В. Кучин,*
д.г.-м.н. *О.Б. Котова,* д.б.н. *Н.В. Ладанова* (отв. секретарь),
чл.-корр. РАН *В.Н. Лаженцев* (зам. главного редактора),
д.и.н. *П.Ю. Павлов,* чл.-корр. РАН *И.М. Рощевская,* д.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,*
проф. *Т.М. Бречко,* д.э.н. *В.А. Ильин,*
акад. *В.А. Коротеев,* к.т.н. *Н.А. Манов,*
акад. *В.П. Матвеенко,* акад. *Г.А. Месяц,* чл.-корр. РАН *Е.В. Пименов,*
проф. *Д. Росина,* акад. *М.П. Рощевский,* чл.-корр. РАН *А.Ф. Титов,*
д.и.н. *И. Фодор,* 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

Подписной индекс в каталоге «Почта России» 52047

ISSN 1994-5655

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

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Коми научный центр УрО РАН, 2015

Science Journal

Founded in 2010
Published 4 times a year

Established by
Federal State Budgetary
Institution of Science
the Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS

PROCEEDINGS

OF THE KOMI SCIENCE CENTRE URAL BRANCH RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

№4(24) **2015**

Editor-in-chief:

academician *A.M. Askhabov*

Editorial Board:

Dr.Sci. (Tech.) *I.N.Andronov,* Dr.Sci. (Med.) *E.R.Boyko,* Dr.Sci. (Econ.) *N.M.Bolshakov,*
Dr.Sci. (Geol.&Mineral.) *I.N.Burtsev,* Cand.Sci. (Hist.) *I.O.Vaskul,*
Cand.Sci. (Biol.) *V.V.Volodin,* Dr.Sci. (Biol.) *M.V.Getsen* (Deputy Chief Editor),
Dr.Sci. (Phys.&Math.) *N.A.Gromov,* Dr.Sci. (Biol.) *S.V.Degteva,*
Cand.Sci. (Geogr.) *T.E.Dmitrieva,* Dr.Sci. (Hist.) *I.L.Zherebtsov,*
Cand.Sci. (Tech.) *V.E.Kuleshov,* RAS corresponding member *A.V.Kuchin,*
Dr.Sci. (Geol.&Mineral.) *O.B.Kotova,*
Dr.Sci. (Biol.) *N.V.Ladanova (*Executive Secretary),
RAS corresponding member *V.N.Lazhentsev,* Dr.Sci. (Hist.) *P.Yu.Pavlov,*
RAS corresponding member *I.M.Roshchevskaya,* Dr.Sci. (Chem.) *S.A.Rubtsova,*
Cand.Sci. (Hist.) *A.V.Samarin* (Sub-Editor), Dr.Sci. (Philol.) *G.V.Fedyuneva,*
Dr.Sci. (Tech.) *Yu.Ya.Chukreev,* Dr.Sci. (Biol.) *D.N.Shmakov*

Editorial Council:

academician *V.V.Alekseev,* RAS corresponding member *V.N.Anfilogov,*
academician *V.I.Berdyshev,* academician *V.N.Bolshakov,* Prof. *T.M.Brechko,*
Dr.Sci. (Econ.) *V.A.Ilyin,* academician *V.A.Koroteev,*
Cand.Sci. (Tech.) *N.A.Manov,* academician *V.P.Matveenko,* academician *G.A.Mesyats,*
RAS corresponding member *E.V.Pimenov,* Prof. *D.Rosina,*
academician *M.P.Roshchevsky,* RAS corresponding member *A.F.Titov,*
Dr.Sci. (Hist.) *I.Fodor*, academician *V.N.Charushin,* Dr.Sci. (Technol.) *N.D.Tskhadaya*

Editorial Office:

Office 317, Presidium of the Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS
24, Kommunisticheskaya st., Syktyvkar 167982
Tel. +7 8212 244779 Fax +7 8212 242264
E-mail: journal@presidium.komisc.ru
www.izvestia.komisc.ru

The "Russian Post" catalogue subscription index 52047

ISSN 1994-5655

Registered by the Russian Federal Surveillance Service for Compliance with the Law in Mass Communications and Cultural Heritage Protection. The certificate of mass media registration – ПИ № ФС 77-26969 dated 11 January, 2007.

© Federal State Budgetary Institution of Science the Komi Science Centre, Ural Branch, RAS, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА 5

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

С.И. Колосов, В.И. Пунегов. Рекуррентные соотношения в динамической теории рентгеновской дифракции в латерально ограниченном кристалле..... 6
Н.А. Секушин. Частотные характеристики индуктивно-емкостной цепи.....17

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

И.М. Кузиванов, Р.А. Садыков, Д.В. Судариков, А.В. Кучин. Кинетика окисления диметилсульфоксида диоксидом хлора.....24

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

G.V. Zheleznova, T.P. Shubina, S.V. Degteva, Y.A. Dubrovsky, T.N. Pystina. On the moss flora of the Yugyd Va National Park (Malyi Patok river basin, Subpolar Urals) **(Г.В. Железнова, Т.П. Шубина, С.В. Дёгтева, Ю.А. Дубровский, Т.Н. Пыстина.** К флоре листостебельных мхов национального парка «Югыд ва» (бассейн р. Малый Паток, Приполярный Урал).....28
О.А. Лоскутова, О.Н. Кононова. Гидробиологическая характеристика тундровой реки Восточно-Европейского арктического региона 38
С.Л. Смирнова, И.М. Рощевская, М.П. Рощевский. Формирование кардиоэлектрического поля на поверхности тела рыб в период деполяризации предсердия 52

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.П. Калинин. Проблемы комплексного использования бокситов Тимана 56
Н.В. Сокерина, С.К. Кузнецов, С.И. Исаенко, В.Н. Филиппов. Минералогические особенности руд и флюидные включения в жильном кварце проявления Секущий (Чукотка) 61

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.Э. Готман, Г.П. Шумилова, Т.Б. Старцева. Верификация топологии электроэнергетической системы на основе нечетких нейронных сетей.....70

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Т.И. Дронова. Взаимоотношения усть-цилемских староверов с православным духовенством во второй половине XVIII– середине XIX века.....79
А.Н. Кустышев. Проблемы механизации ГУЛАГовского производства на европейском Севере России 86
Н.М. Игнатова. Использование труда спецпереселенцев-«бывших кулаков» в лесозаготовительной промышленности северного края в 1930-е гг. 93
О.А. Казанцева, С.Е. Перевощиков, Т.М. Сабирова. Состав изделий из цветного металла Красноярского I могильника 100
А.В. Панюков. Ижмо-Колвинский эпос: встреча традиций 108

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

М.М. Стыров, Д.В. Колечков. Инвестиционно-инновационная активность промышленности северных регионов России..... 120
В.И. Павленко, А.М. Торцев. Направления совершенствования государственной поддержки товарного рыбоводства на европейском Севере России 130

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А.А. Хомиченко, В.Г. Зайнуллин. Влияние острого облучения на Tradescantia (Clon 02), облученных в малых дозах γ-излучения.....140
С.М. Дуркин, И.Н. Меньшикова. Прогнозирование показателей разработки залежей высоковязких нефтей малой толщины 143

ЮБИЛЕИ 148

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2015 Г. 151

CONTENTS

FROM THE EDITOR 5

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

S.I. Kolosov, V.I. Punegov. Recurrence relations in the dynamical theory of x-ray diffraction in a lateral crystal 6
N.A. Sekushin. Frequency characteristics of inductance-capacitance network 17

CHEMICAL SCIENCES

I.M. Kuzivanov, R.A. Sadykov, D.V. Sudarikov, A.V. Kuchin. Kinetics of dimethylsulfoxide oxidation by chlorine dioxide 24

BIOLOGICAL SCIENCES

G.V. Zheleznova, T.P. Shubina,S.V. Degteva, V.A. Dubrovsky, T.N. Pystina. On the moss flora of the Yugyd Va National Park (Malyi Patok river basin, Subpolar Urals)..... 28
O.A. Loskutova, O.N. Kononova. Hydrobiological characteristics of a tundra river of the East European Arctic region 38
S.L. Smirnova, I.M. Roshchevskaya, M.P. Roshchevsky. The formation of the cardioelectric field on the fish body surface during atrial depolarization 52

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

E.P. Kalinin. Problems of integrated use of Timan bauxites 56
N.V. Sokerina, S.K. Kuznetsov, S.I. Isaenko, V.I. Filippov. Mineralogical features of ores and fluid inclusions in vein quartz of occurrence Sekushchy (Chukotka)..... 61

TECHNICAL SCIENCES

N.E. Gotman, G.P. Shumilova, T.B. Startseva. Power system topology verification using fuzzy neural networks 70

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

T.I. Dronova. From the history of relations between the Ust-Tsilma Old Believers and the Orthodox clergy in the second half of the XVIII-mid XIX centuries 79
A.N. Kustyshev. Problems of mechanization of GULAG production in the European North of Russia 86
N.M. Ignatova. The use of labour of forced migrants – "former kulaks" – in the logging industry of the northern territory in the 1930-s 93
O.A. Kazantseva, S.E. Perevoshchikov, T.M. Sabirova. Composition of objects from non-ferrous metals from Krasnoyarsky I burial ground 100
A.V. Panyukov. The Izhma-Kolva epos: meeting of traditions..... 108

SOCIAL SCIENCES

M.M. Styrov, D.V. Kolechkov. Investment and innovation activity of the industry in the northern regions of Russia 120
V.I. Pavlenko, A.M. Tortsev. Improvement of directions of state support of commodity piscuculture in the european North of Russia..... 130

PAPERS-IN-BRIEF

A.A. Khomichenko, V.G. Zainullin. Effects of acute irradiation of tradescantia (clone 02), irradiated at low doses of γ-radiation..... 140
S.M. Durkin, I.N. Menshikova. Forecasting of indicators of development of high-viscosity oil pools of small thickness..... 143

ANNIVERSARIES..... 148

MATERIALS PUBLISHED IN 2015 151

Уважаемые авторы! Уважаемые читатели!

С первого выпуска 2016 г. в журнале «Известия Коми научного центра УрО РАН» произойдет несколько важных изменений. Прежде всего журнал включен в новый переработанный перечень ВАК, но только по трем отраслям науки. В 2014 г. в соответствии с приказом Минобрнауки от 25 июля 2014 г. № 793, Департаменту аттестации научных и научно-преподавательских работников Министерства образования и науки РФ было поручено сформировать новый перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук. Этот же приказ определил требования, которым должно соответствовать научное издание. Среди прочего отмечалось, что журнал может входить в перечень по одной или нескольким (до трех) отраслям науки и/или (до пяти) группам специальностей научных работников*. Несмотря на это, редакция журнала в апреле 2015 г. обратилась в своей заявке к председателю Высшей аттестационной комиссии В.М.Филиппову с ходатайством включить издание с перечнем тех же восьми отраслей науки. В июне 2015 г. на это ходатайство редакция получила отрицательный ответ. Желая сохранить в журнале наибольшее число отраслей науки, редакция приняла решение в соответствии с вышеназванным приказом остановиться на пяти группах специальностей (по одной на каждую отрасль науки). Соответствующие документы были направлены в Минобрнауки. В октябре 2015 г. из Департамента был получен ответ «Журнал войдет в перечень ВАК только в том случае, если выбранные редакцией пять групп специальностей будут все же относиться к трем, а не пяти отраслям науки». В итоге редакция выбрала три отрасли, наиболее востребованные среди молодых ученых Коми научного центра:

03.00.00 Биологические науки;

07.00.00 Исторические науки и археология;

25.00.00 Науки о земле.

Представителям других отраслей науки (физика, математика, химия, технические науки, филология, экономика) сообщаем, что журнал продолжает публиковать статьи по всем существующим разделам. Издание по-прежнему остается рецензируемым, входит в базу данных РИНЦ, импакт-фактор журнала достойный, и редакция надеется, что в дальнейшем он будет только расти. Более того, для повышения конкурентоспособности издания и широкого распространения статей авторов журнала в сети Интернет в 2016 г. планируется подключить его к системе идентификации цифровых объектов (digital object identifier (DOI).

Кроме того, в начале 2015 г. журнал подал заявку на включение в базу данных Scopus. В сентябре редакция получила письмо от Scopus Title Evaluation Support Manager, в котором сообщается, что из-за большого объема поступивших заявок срок рассмотрения нашего журнала откладывается до марта – мая 2016 г. За время, прошедшее после подачи заявки, редакция «обкатала» новые правила оформления статей (в соответствии с требованиями Scopus), приступила к публикации статей на английском языке, планируется ввести DOI. Считаем, что невольная отсрочка только увеличит шансы журнала на его включение Б/Д Scopus.

После этого редакция журнала планирует обратиться в ВАК с просьбой включить «Известия...» в перечень по всем восьми отраслям науки, поскольку журнал был задуман как многоотраслевое научное издание, охватывающее все отрасли естественно-научных и общественных исследований.

Пожелаем нашему журналу успехов в осуществлении задуманных планов во имя процветания науки на Севере.

Главный редактор журнала
академик А.Асхабов

* Здесь и далее отрасли науки даны по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной приказами Минобрнауки РФ от 11.08.2009 № 294, от 10.01.2012. № 5.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 548.732

РЕКУРРЕНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ В ЛАТЕРАЛЬНО ОГРАНИЧЕННОМ КРИСТАЛЛЕ

С.И. КОЛОСОВ, В.И. ПУНЕГОВ

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

Получены рекуррентные соотношения, описывающие динамическую дифракцию рентгеновских лучей в латеральном кристалле. Разработан алгоритм вычислений кривых дифракционного отражения и карт распределения интенсивности рассеяния от кристалла прямоугольного сечения. Проведено численное моделирование рентгеновской Брэгг-Лауэ дифракции от кристаллов с разными латеральными размерами. Показано, что для толстых кристаллов с малыми латеральными размерами выполняется условие кинематической дифракции.

Ключевые слова: **динамическая теория дифракции, латерально ограниченный кристалл, рекуррентные соотношения**

S.I. KOLOSOV, V.I. PUNEGOV. **RECURRENCE RELATIONS IN THE DYNAMICAL THEORY OF X-RAY DIFFRACTION IN A LATERAL CRYSTAL**

Darwin's dynamical theory of X-ray diffraction is considered to the cases of plane-parallel and lateral (i.e., having a finite length in the lateral direction) crystals. Therefore this new approach can be widely used for non-destructive testing of lateral structures used in opto- and microelectronic devices, nonvolatile memory devices and X-ray optics. We provided a short review of Darwin's approach in the case of plane-parallel crystals and analyzed the exact solution of this problem. The main consideration is devoted to the dynamical X-ray diffraction in the lateral crystal. We restrict ourselves to the case of a symmetrical coplanar Bragg diffraction. Recurrence relations describing the dynamical X-ray diffraction in the lateral crystal is obtained. The angular distribution of X-ray scattering intensity in the reciprocal space is investigated. Phase changes of X-ray waves in the crystal are analyzed in detail. It is shown that this approach allows one to calculate rocking curves as well as Reciprocal Space Maps (RSMs) for lateral crystals having rectangular cross-section. An algorithm for computing of rocking curves and RSMs from the lateral crystal is developed. In accordance with the model, we used a rectangular lattice having a fixed distance between nodes to describe the dynamical diffraction process. The simulation procedure based on recurrence relations consists of the external and internal cycles. The external cycle starts with the first column and goes up to the last column. The internal cycle (from top to bottom) starts with the first reflecting plane and goes up to the last one. Then substituting the amplitudes calculated for the first column we can calculate the amplitudes for the second column and so on. At the end of the external cycle we obtain arrays of the reflected and transmitted amplitudes. We perform numerical modelling for crystals with different lateral sizes. The obtained simulation results are in good agreement with the solution obtained by integration of Takagi's equations. It is demonstrated that the kinematical approximation is valid for thick crystals having small length in the lateral direction. It is shown that this approach, being simple and transparent, is faster than the one based on Takagi's equations and allows simulations of RSMs. The obtained results can potentially be extended further to the three-dimensional case in both the Fourier space and real space.

Keywords: **dynamical diffraction theory, lateral crystal, recurrence relations**

Введение

В настоящее время существуют разные подходы для описания динамической дифракции рентгеновских лучей в кристаллах [1, 2]. Динамическая теория дифракции Дарвина [3, 4], основанная на методе рекуррентных соотношений, является наиболее простой и наглядной для решения конкретных задач рассеяния рентгеновских лучей и нейтронов от кристал-

лов. Продолжительное время теория Дарвина не использовалась, поскольку имела некоторые ограничения по сравнению с теорией Эвальда-Лауэ [1]. Бори [5] первым сделал попытку описать эффект Бормана с использованием системы разностных уравнений Дарвина. В рамках этого подхода Безирганяном и Навасардяном [6] показано, что эффект Бормана зависит от размера отражающих плоскостей. С помощью подхода Дарвина были исследованы важные особенности динамического рассеяния, включая дифракцию в асимметричной геометрии Лауэ [7,8], многоволновое рассеяние [9, 10], а также свойства дисперсионной поверхности [7]. Рекуррентные соотношения, описывающие амплитуды проходящей и отраженной волны, применялись для исследования дифракции нейтронов в полиатомных кристаллах [11] и рассеянии света в жидких кристаллах [12]. Кроме того, процедура Дарвина была реализована в оптике слоистых сред [13].

Для исследования приповерхностных областей кристалла разработан формализм, получивший название crystal truncation rod (CTR) [14]. Схема динамической теории Дарвина была применена для исследования структуры поверхности кристалла методом CTR [15–19].

Яширо и Такахаши [20] исследовали коэффициенты отражения и прохождения рентгеновских лучей одной атомной плоскостью кристалла в общем случае для произвольной двумерной решетки Бравэ. Ими получены формулы для коэффициентов, отличающиеся от ранее опубликованных результатов Дурбина [21], но подобные формулам Бори [7]. Выражения коэффициентов отражения и прохождения, полученные Яширо и Такахаши [20], которые справедливы в случае произвольных направлений падающего и отраженного рентгеновского пучка, использованы в теории Дарвина для скользящей геометрии [22].

Известно, что теория Дарвина первоначально разработана для совершенного кристалла. Детальный анализ был выполнен для полубесконечного кристалла, включая эффекты преломления и поглощения [23]. Точное решение уравнений Дарвина для кристалла с произвольным числом отражающих плоскостей получено с использованием полиномов Чебышева [24]. Чен и Бхаттачаря [25] показали тождественность алгебраических уравнений Дарвина и дифференциальных уравнений Такаги [26] при переходе от модели массива дискретных атомных плоскостей к континуальной среде.

Отметим, что в природе идеальных кристаллов не существует. Поэтому особое внимание следует уделить работам, в которых формализм рекуррентных соотношений был обобщен для описания дифракции на искаженных структурах. Предприняты попытки для описания методом Дарвина дифракции рентгеновских лучей на кристаллах, решетка которых искажена под влиянием тепловых колебаний атомов [27] или из-за присутствия статистически распределенных дефектов [28]. Существенное влияние на дифракцию рентгеновских лучей оказывают деформации кристаллической решетки. Первая попытка численного моделирования рентгеновской дифракции на кристалле с линейным изменением параметра решетки с использованием уравнений Дарвина была выполнена Фицгеральдом и Дарлингтоном [29]. Результаты численных расчетов кривых дифракционного отражения данной работы согласуются с позже полученными аналитическими решениями [30, 31]. Прудников аналитически обобщил подход Дарвина к описанию рентгеновской дифракции в деформированных кристаллах. В частности, с помощью рекуррентных соотношений исследована дифракция в кристаллах, промодулированных поверхностной акустической волной [32], и в несовершенных гетероструктурах [33].

Рекуррентные соотношения, аналогичные уравнениям Дарвина, получены для описания дифракции в многослойных структурах, при этом коэффициенты отражения и прохождения от атомных плоскостей заменены на соответствующие коэффициенты от отдельных слоев [34, 35]. Такой подход был обобщен на случай многоволновой дифракции [36, 37], резко асимметричной [38] и скользящей геометрии [39].

Все отмеченные выше теории, использующие формулы рекуррентных соотношений Дарвина, разработаны для планарных структур с отражающими атомными плоскостями бесконечных размеров в латеральном направлении. В последние годы заметно возрастает интерес к дифракции рентгеновских лучей на латеральных структурах [40]. Разные методы динамической дифракции в рамках уравнений Такаги [26] были использованы для вычисления кривых дифракционного отражения от совершенных кристаллов прямоугольного сечения [41–43]. Кинематическая теория дифракции применялась для описания дифракции в искаженных кристаллах трапецеидального [44, 45] и произвольного поперечного сечения [46].

Цель данной работы состоит в разработке подхода Дарвина для исследования дифракции рентгеновских лучей в латеральных кристаллах. На примере кристалла прямоугольного сечения будут рассчитаны кривые дифракционного отражения и карты распределения интенсивности рассеяния (Reciprocal Space Maps (RSM)) в зависимости от ширины и толщины кристалла.

В теории Дарвина кристалл рассматривается как совокупность бесконечно тонких атомных плоскостей, отстоящих друг от друга на расстоянии d. В отличие от теории Лауэ [1], в модели Дарвина вся электронная плотность вещества сосредоточена в этих плоскостях. Амплитудные коэффициенты отражения и прохождения отдельной атомной плоскостью вычисляются с использованием теории дифракции Френеля [7, 20]. С другой стороны, переходя от дискретной модели Дарвина к континуальной среде [25] амплитудные коэффициенты отражения и прохождения атомной плоскостью можно выразить через Фурье-коэффициенты рентгеновской поляризуемости $\chi_g = -r_0\lambda^2 F_g/(\pi V_c)$, где F_g – структурный фактор ($g = 0, h, \bar{h}$), λ – длина волны падающего излучения V_c – объем элементарной ячейки, $r_0 = e^2/(mc^2)$ – классический радиус электрона, где e, m – заряд и масса электрона, соответственно.

В результате коэффициенты, описывающие симметричные отражение и прохождение одной атомной плоскостью в рекуррентных соотношениях Дарвина, запишутся как $q_0 = \pi d\chi_0/(\lambda\sin\theta_B)$, $q = \pi d\chi_h/(\lambda\sin\theta_B)$, $\bar{q} = \pi d\chi_{-h}/(\lambda\sin\theta_B)$, где θ_B – угол Брэгга. В этой статье мы рассматриваем случай σ-поляризации.

Рассмотрим плоскопараллельный кристалл, имеющий конечную толщину $L_z = Nd$, где N – число отражающих атомных плоскостей. Пусть на этот кристалл падает плоская рентгеновская волна под углом $\theta = \theta_B + \Delta\theta$, где $\Delta\theta$ – малое отклонение от точного брэгговского положения. Согласно теории Дарвина, выражения для амплитуд, прошедшей T_n и отраженной S_n рентгеновских волн для атомной плоскости с номером n, где отсчёт идёт сверху вниз, запишутся в виде следующих рекуррентных соотношений [1, 4]

$$\begin{aligned} T_n &= (1-iq_0)e^{i\varphi}T_{n-1} - i\bar{q}e^{2i\varphi}S_n, \\ S_n &= (1-iq_0)e^{i\varphi}S_{n+1} - iqT_n. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь T_{n-1}, S_{n+1} – соответствующие амплитуды волн, относящиеся к плоскостям с номерами $n-1$ и $n+1$, соответственно. Экспоненциальные множители в (1) учитывают набег фазы при распространении рентгеновского поля между соседними атомными плоскостями. Поскольку поле может распространяться под углом, не равным углу Брэгга θ_B, то фаза $\varphi = (2\pi d/\lambda)\sin\theta$ при распространении рентгеновской волны от одной атомной плоскости до другой получает приращение, зависящее от угловой отстройки. Из-за малости отстройки $\Delta\theta$ фаза волны может быть представлена в виде $\varphi = (2\pi d/\lambda)\cos\theta_B\Delta\theta$. Решение системы (1) с граничными условиями $T_0 = 1$ и $S_N = 0$ описывается следующими аналитическими решениями [47]:

$$\begin{aligned} S_n &= -B\frac{u_2^N u_1^n - u_1^N u_2^n}{(Au_1-1)u_2^N - (Au_2-1)u_1^N}, \\ T_n &= \frac{(Au_1-1)u_2^N u_1^n - (Au_2-1)u_1^N u_2^n}{(Au_1-1)u_2^N - (Au_2-1)u_1^N}, \end{aligned} \tag{2}$$

где $u_{1,2} = \hat{x} \pm \sqrt{\hat{x}^2-1}$, $\hat{x} = \dfrac{1+(1-iq_0)^2e^{2i\varphi}+q\bar{q}e^{2i\varphi}}{2(1-iq_0)e^{i\varphi}}$, $A = (1-iq_0)e^{i\varphi}$, $B = -iq$. Из решения (2) при значениях $n = 0$ и $n = N$ получаем амплитудные коэффициенты отражения S_0 и прохождения T_N рентгеновских волн от кристаллической пластины

$$\begin{aligned} S_0 &= -B\frac{u_2^N - u_1^N}{(Au_1-1)u_2^N - (Au_2-1)u_1^N}, \\ T_N &= \frac{u_1 - u_2}{(Au_1-1)u_2^N - (Au_2-1)u_1^N}. \end{aligned} \tag{3}$$

Выражения (3) согласуются с точными аналитическими решениями, полученными ранее с использованием матричного подхода [24]. Учитывая, что для всех n в (2), $u_1^n u_2^n = 1$, получаем

$$\begin{aligned} S_0 &= \frac{-iq}{1-(1-iq_0)e^{i\varphi}\sin([N-1]\arccos\hat{x})/\sin(N\arccos\hat{x})}, \\ T_N &= \frac{(1-iq_0)e^{i\varphi}2\sqrt{\hat{x}^2-1}}{\sin(N\arccos\hat{x}) - (1-iq_0)e^{i\varphi}\sin([N-1]\arccos\hat{x})}. \end{aligned} \tag{4}$$

Формулы (4) совпадают с решениями, полученными ранее в работе [24]. Введя новый угловой параметр $\hat{y} = \dfrac{1-(1-iq_0)^2e^{2i\varphi}-q\bar{q}e^{2i\varphi}}{2q\bar{q}e^{i\varphi}}$ и обозначив $\chi = \arccos\hat{x}$, $\psi = \arccos\hat{y}$, амплитудные коэффициенты отражения и прохождения можно также записать в виде

$$\begin{aligned} S_0 &= \sqrt{\frac{q}{\bar{q}}}\,\frac{\sin N\chi}{\sin(N\chi+\psi)}\exp(-i\varphi), \\ T_N &= \frac{\sin\psi}{\sin(N\chi+\psi)}\exp(-iN\varphi). \end{aligned} \tag{5}$$

Решения в виде (5) являются компактными и по форме совпадают с решениями для идеальной одномерной сверхрешетки [48].

Рекуррентные соотношения для кристалла прямоугольного сечения

Используем подход Дарвина для описания дифракции от латерально ограниченного кристалла. Обозначим ширину кристалла L_x, а ее толщину L_z (рис.1). Выберем следующую систему координат: ось x направлена вдоль входной поверхности кристалла, ось z – вглубь кристалла. Для простоты рассмотрим симметричную дифракцию Брэгга. Левая грань кристалла, на которую падает рентгеновская волна под углом θ к оси x, проходит через начало координат (рис.1).

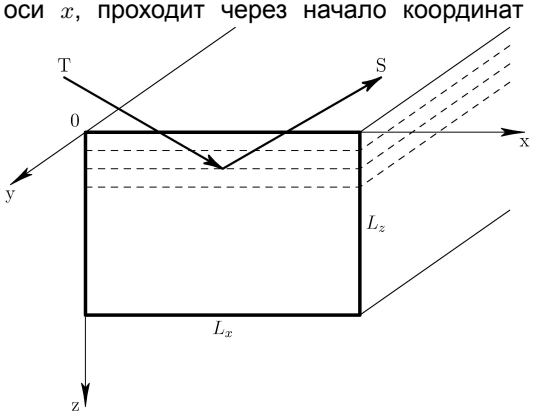


Рис. 1. Схематическое изображение рентгеновской дифракции на кристалле прямоугольного сечения.

Рассмотрим некоторый рентгеновский пучок, исходящий из начала координат. Этот пучок проходит расстояние $d/\sin\theta$ и дифракционно отражается от ближайшей атомной плоскости. Проекция этого расстояния на латеральное направление равна $\Delta x = d\,\mathrm{ctg}\,\theta$. Нанесем на атомные плоскости вдоль оси x разностную сетку с узлами $x_m = m\Delta x$, в которых этот рентгеновский пучок частично отражается и частично проходит к следующей плоскости.

Пусть T_n^m – значение амплитуды проходящей волны и S_n^m – соответствующее значение амплитуды отраженной волны непосредственно перед узлом $(m; n)$. Здесь индексы m и n нумеруют координаты узлов в горизонтальном и вертикальном направлениях, соответственно (рис.2). Число узлов решетки вдоль осей x и z, соответственно равное M_x и N_z, определяется размерами прямоугольного сечения кристалла $L_x = M_x\Delta x$ и $L_z = N_z d$.

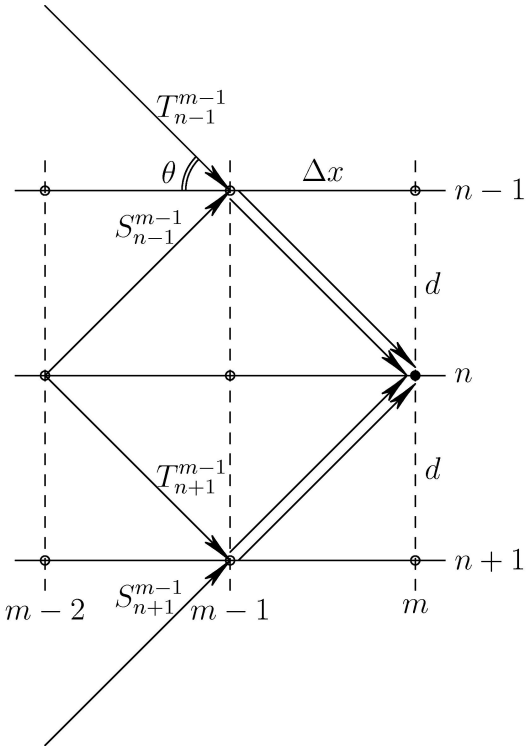


Рис. 2. Схематическое изображение отраженных и проходящих рентгеновских пучков в методе рекуррентных соотношений.

С учетом динамического рассеяния для отраженных S и проходящих T волн можно записать следующие рекуррентные соотношения:

$$\begin{aligned} T_{n+1}^{m} &= aT_{n}^{m-1} + b_1 S_{n}^{m-1}, \\ S_{n}^{m} &= aS_{n+1}^{m-1} + b_2 T_{n+1}^{m-1}, \end{aligned} \tag{6}$$

где $a = (1 - iq_0)\exp(i\phi_1)$, $b_1 = -i\bar{q}\exp(i\phi_1)$, $b_2 = -iq\exp(i\phi_1)$. Следует отметить, что мы используем здесь значения для q_0, q и $\bar{q}$, полученные для бесконечного кристалла, что, безусловно, является приближением. Параметр $\phi_1 = i\dfrac{2\pi d}{\lambda \sin\theta_B}$, входящий в выражения для коэффициентов a и $b_{1,2}$, учитывает разность фаз, возникающую при распространении рентгеновского пучка в кристалле от одного узла до другого. В системе алгебраических уравнений (6) индексы m и n нумеруют координаты узлов в горизонтальном и вертикальном направлениях, соответственно (рис.2).

Для кристаллической пластины бесконечного латерального размера распределение дифракционной интенсивности вблизи узла обратной решетки сосредотачивается в виде дельтаобразной линии в вертикальном направлении (вдоль вектора обратной решетки). Для латерального кристалла (то есть имеющего ограниченный размер в латеральном направлении) интенсивность рассеяния может распределяться вокруг узла обратной решетки как в вертикальном, так и в латеральном направлениях. Поэтому анализ распределения дифракционной интенсивности уместно проводить с использованием карт в обратном пространстве.

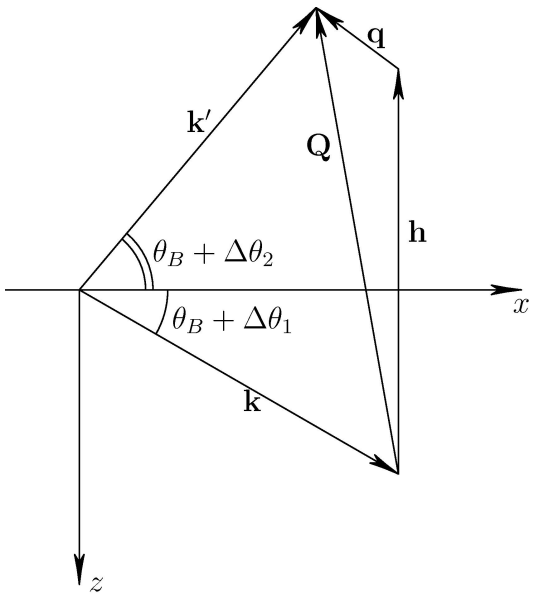


Рис. 3. Схематическое изображение рентгеновской дифракции в обратном пространстве.

Пусть на латеральный кристалл в направлении волнового вектора $\mathbf{k}$ падает рентгеновская волна под углом $\theta_1 = \theta_B + \Delta\theta_1$ к поверхности кристалла (рис.3.) Отраженная волна регистрируется в обратном пространстве в направлении вектора $\mathbf{k}'$ под углом $\theta_2 = \theta_B + \Delta\theta_2$ к поверхности кристалла, причем $|\mathbf{k}| = |\mathbf{k}'| = 2\pi/\lambda$. Углы $\Delta\theta_1$ и $\Delta\theta_2$ задают малые угловые отклонение от точного условия Брэгга падающего и отраженного пучка, соответственно. Отклонение вектора дифракции $\mathbf{Q} = \mathbf{k}' - \mathbf{k}$ от конца вектора обратной решетки $\mathbf{h}$ определяется вектором $\mathbf{q}$. Проекции q_x и q_z вектора $\mathbf{q}$ связаны с угловыми параметрами $\Delta\theta_{1,2}$ следующими соотношениями

$$\begin{aligned} q_x &= \quad k\sin\theta_B \cdot (\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2), \\ q_z &= -k\cos\theta_B \cdot (\Delta\theta_1 + \Delta\theta_2). \end{aligned} \tag{7}$$

Обозначив $\Delta\theta_1 = \omega$ и $\Delta\theta_2 = \varepsilon - \omega$, соотношения (7) преобразуются в выражения, используемые в трехкристальной рентгеновской дифрактометрии

$$\begin{aligned} q_x &= \quad k\sin\theta_B \cdot (2\omega - \varepsilon), \\ q_z &= -k\cos\theta_B \cdot \varepsilon, \end{aligned}$$

где ω и ε – параметры, определяющие угловое положение образца и кристалла-анализатора [49].

Рассмотрим алгоритм вычислений интенсивности рассеяния в зависимости от значений (q_x, q_z), или, что одно и то же, от углов $\theta_{1,2}$ (см. (7)). Угловые параметры $\Delta\theta_{1,2}$, согласно (7), связаны с проекциями вектора $\mathbf{q}$ следующими соотношениями: $\Delta\theta_{1,2} = (\pm 2k\cos\theta_B)^{-1}(q_x \operatorname{ctg}\theta_B \mp q_z)$.

Граничные условия

При прохождении и отражении рентгеновских лучей в кристалле происходит изменение фаз рентгеновских волн. За начало отсчета фазовых изменений выберем начало системы координат ($x = 0; z = 0$), совмещенное с верхним левым углом прямоугольного сечения кристалла (рис.1). Для рентгеновских волн, падающих на левую боковую грань кристалла

($x = 0$), разность хода растет с глубиной z по закону $z \sin\theta_1$ (рис. 4). Разность фаз для дискретных значений $z_n = nd$ вдоль вертикального направления равна $\varphi^n_{z,in} = (2\pi d/\lambda) nd \sin\theta_1$. Граничное условие на левой боковой поверхности латерально ограниченного кристалла ($x = 0$) запишется как $T^0_n = \exp(\varphi^n_{z,in})$ и $S^0_n = 0$, где $n = 0, 1, 2, \ldots, N_z$.

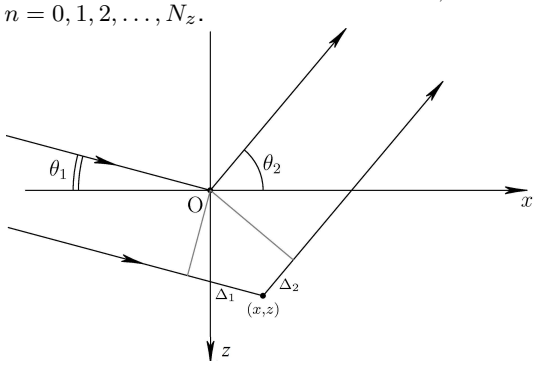


Рис. 4. К выводу фазовых изменений рентгеновских лучей в произвольной точке $(x; z)$ за счет возникновения разности хода $\Delta_1 = x\cos\theta_1 + z\sin\theta_1$ и $\Delta_2 = -x\cos\theta_2 + z\sin\theta_2$.

Для рентгеновских лучей, падающих на верхнюю поверхность латерального кристалла ($z = 0$), разность хода растет с ростом координаты x как $m\Delta x\cos\theta_1$. Следовательно, имеет место изменение фазы падающей рентгеновской волны в горизонтальном направлении в зависимости от угла θ_1. Граничное условие на верхней поверхности кристалла задается выражением $T^m_0 = \exp(\varphi^m_{x,in})$, где $\varphi^m_{x,in} = (2\pi/\lambda) m\Delta x\cos\theta_1$, $m = 1, 2, \ldots, M_x$.

Для выходящей рентгеновской волны в направлении вектора $\mathbf{k}'$ под углом $\theta_2 = \theta_B + \delta\theta_2$ необходимо учитывать разность фаз $\varphi^m_{x,ex} = -(2\pi/\lambda) m\Delta x\cos\theta_2$ на верхней поверхности кристалла (рис.4). Амплитуда рентгеновской волны, выходящей из правой боковой поверхности кристалла, приобретает фазовый набег $\varphi^m_{x,ex} = -(2\pi/\lambda)[nd\sin\theta_2 - M_x\Delta x\cos\theta_2]$. Второе слагаемое в квадратных скобках этого выражения учитывает смещение правой грани кристалла на расстояние $L_x = M_x\Delta x$ от начала координат.

Поскольку в рассматриваемой геометрии (рис.1) дифракционная волна выходит из верхней и правой боковой грани кристалла, граничные условия для отраженной волны S на нижней и левой боковой гранях кристалла запишутся, соответственно, как $S^m_{N_z} = 0$, $S^0_n = 0$.

Амплитудный коэффициент отражения рентгеновской волны от кристалла прямоугольного сечения находится суммированием рентгеновских волн:

$$S(q_x, q_z) = S(\theta_1, \theta_2) = \\ = \sum_{m=0}^{M_x} S^m_0 \exp(i\varphi^m_{x,ex}) + \sum_{n=1}^{N_z} S^{M_x}_n \exp(i\varphi^n_{z,ex}), \quad (8)$$

где амплитуды рентгеновских волн $S^m_0 = S^m_0(\theta_1, \theta_2)$ и $S^{M_x}_n = S^{M_x}_n(\theta_1, \theta_2)$ находятся с использованием рекуррентных соотношений (6) и зависят от углов падения рентгеновского пучка θ_1 и угла регистрации θ_2 отраженной волны. Действительно, для падающей волны на границах кристалла амплитуды $T^0_n = T^0_n(\theta_1)$ и $T^m_0 = T^m_0(\theta_1)$ зависят только от угла падения. Однако в силу того, что фаза отраженной волны $\varphi^n_{z,ex} = \varphi^n_{z,ex}(\theta_2)$ зависит от угла регистрации пучка, то в процедуре вычислений в рамках рекуррентных соотношений (6) амплитуды волн в направлении прохождения $T^m_n = T^m_n(\theta_1, \theta_2)$ и отражения $S^m_n = S^m_n(\theta_1, \theta_2)$ будут зависеть уже от двух углов или вертикальной и латеральной проекций вектора $\mathbf{q}$. Поэтому решение (8) позволяет рассчитывать карты распределения интенсивности рассеяния в обратном пространстве (RSM). Кривые дифракционного отражения (q_x-сканы или CTR) могут непосредственно получены на основе решения (8) при условии $\theta_1 = \theta_2$ ($2\omega = \varepsilon$).

Численное моделирование

Численное моделирование кривых дифракционного (КДО, CTR) и RSM проводилось на основе решения (8) с использованием рекуррентных соотношений (6). Расчеты выполнены с использованием параметров, соответствующих (111) отражению CuK_{α_1} излучения от монокристалла германия. Для всех вычислений толщина латерального кристалла L_z соответствовала 10000 межплоскостных расстояний ($L_z = 10000 d_{111} = 3{,}27\mu\mathrm{m}$).

Латеральный размер кристалла выбирался с учетом числа узлов Nx вдоль горизонтального направления (Nx = 1000, 4000, 10000, 40000; что соответствует латеральным размерам $L_x = 1{,}35\,\mu\mathrm{m}, 5{,}39\,\mu\mathrm{m}, 13{,}5\,\mu\mathrm{m}, 53{,}9\,\mu\mathrm{m},$). Максимумы кривых дифракционного отражения нормировались на величину максимума кривой Дарвина для плоскопараллельной пластинки той же толщины.

Кривые дифракционного отражения, изображенные на рис.5, вычислялись на основе решения (8) для случая $\omega - 2\theta$-сканирования ($\theta_1 = \theta_2$). Поскольку в этом режиме сканирования полная разность хода $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 2z\sin\theta$ ($\theta = \theta_1 = \theta_2$) (рис.4) не зависит от координаты x, то и полная разность фаз на верхней поверхности кристалла равна нулю: $\varphi^m_x = \varphi^m_{x,in} + \varphi^m_{x,ex} = 0$. Отметим, что длина экстинкции на отражении (111) для полубесконечного кристалла кремния равна 0,67 μm, полуширина дарвиновской кривой – 15,4 угл. сек. (см. [50] и адрес сайта "X-Ray Server").

Для малой латеральной ширины кристалла ($L_x = 1{,}35\,\mu$m) кривая отражения соответствует кинематической дифракции (рис.5a). С увеличением латеральной ширины наблюдается постепенный переход к динамической дифракции (рис.5b,c), при этом толщинные осцилляции накладываются на профиль КДО даже в области полного отражения.

На рис.6. представлены RSM от кристаллов разной ширины. В случае кристалла с малым латеральным размером RSM имеет вид, отвечающий кинематической дифракции (рис.6a), и распределение дифракционной интенсивности соответствует известному закону [1]

$$I(q_x, q_z) = S(q_x, q_z) \propto \left|\frac{\sin q_x L_x/2}{q_x L_x/2}\right|^2 \left|\frac{\sin q_z L_z/2}{q_z L_z/2}\right|^2.$$

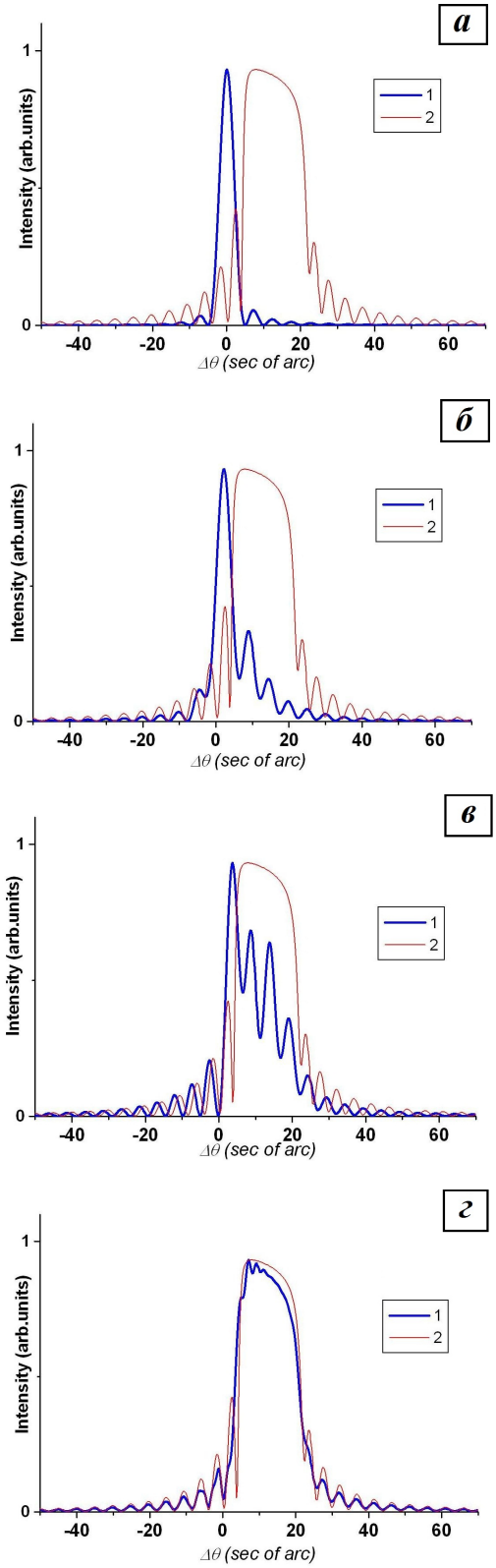


Рис. 5. Кривые дифракционного отражения для кристалла прямоугольного сечения толщиной $L_z = 3{,}27\,\mu$m и разной ширины L_x: а) 1,35 μm; б) 5,39 μm; в) 13,5 μm; г) 53,9 μm. Для сравнения тонкой красной линией 2 изображена кривая дифракционного отражения от плоскопараллельной пластинки ($L_x = \infty$) той же толщины L_z.

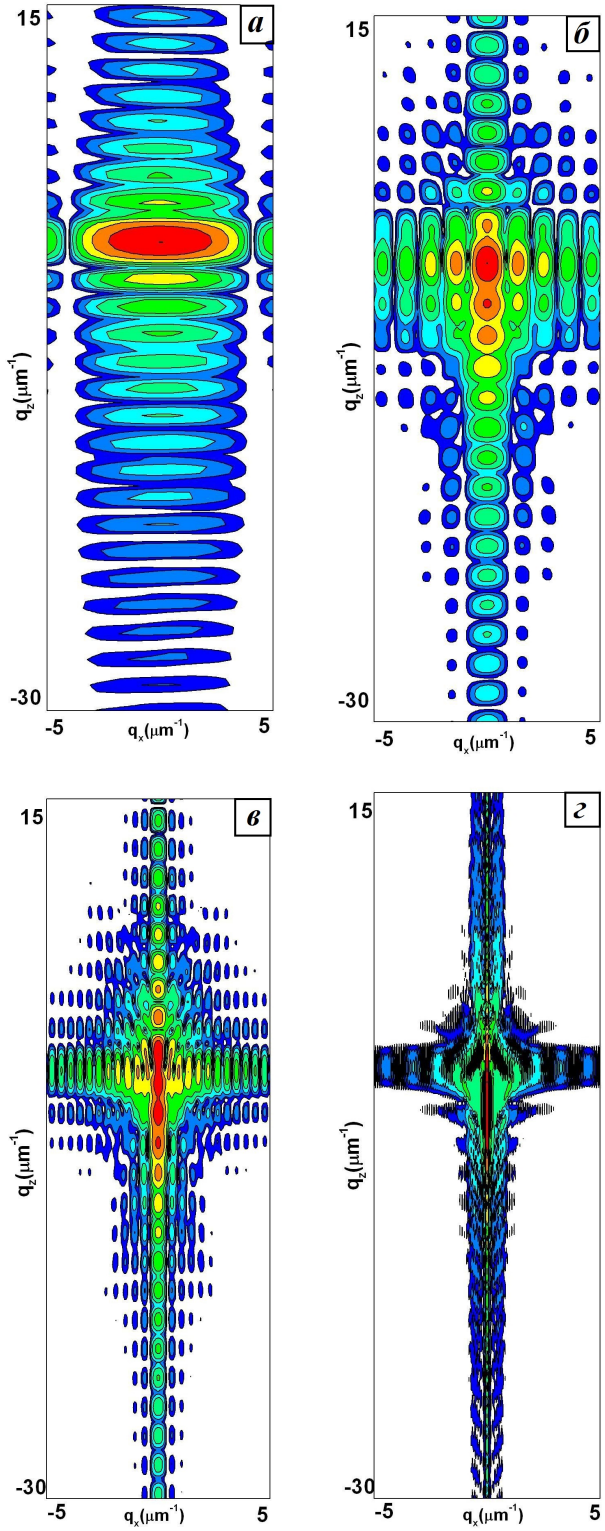


Рис. 6. RSM от кристалла прямоугольного сечения толщиной $L_z = 3{,}27\,\mu$m и разной ширины L_x: а) 1,35 μm; б) 5,39 μm; в) 13,5 μm; г) 53,9 μm.

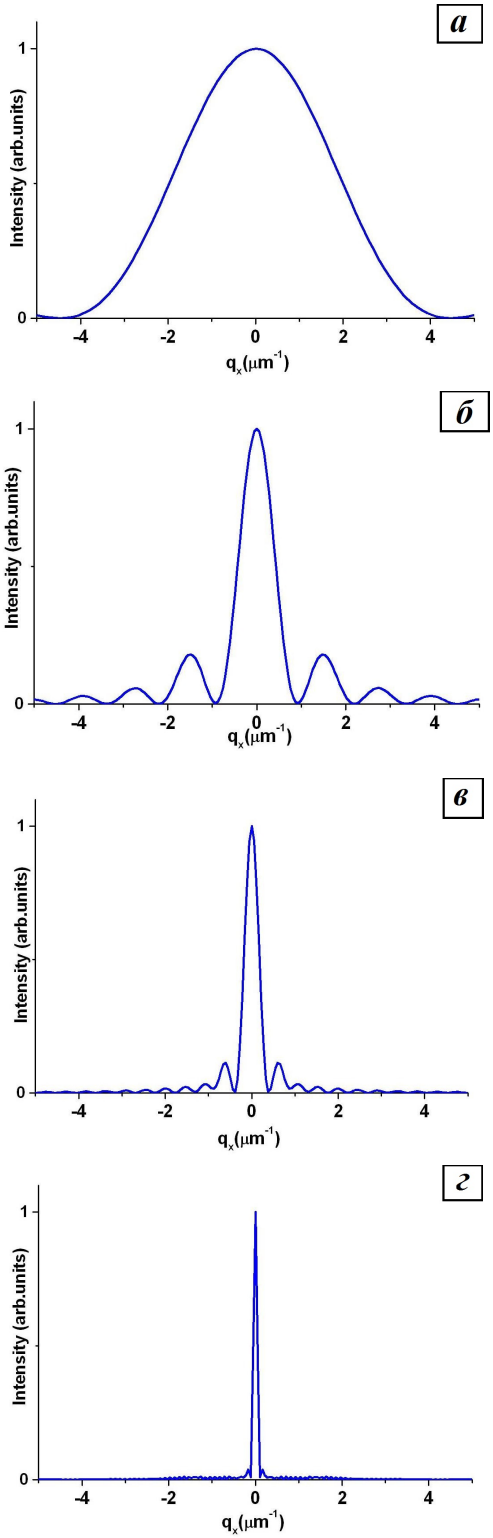


Рис. 7. Кривые качания (q_x-сканирования) от кристалла прямоугольного сечения толщиной $L_z = 3{,}27\ \mu$m и разной ширины L_x: а) 1,35 μm; б) 5,39 μm; в) 13,5 μm; г) 53,9 μm.

С увеличением латерального размера кристалла угловое распределение интенсивности рассеяния на RSM в q_x-направлении становится все более узким, уменьшается также период латеральных осцилляций. Этот период обратно пропорционален латеральному размеру кристалла. На это непосредственно указывают q_x-сканы RSM для значений q_z, соответствующих максимальному значению дифракционной интенсивности (рис.7).

Результаты полностью согласуются с теми, что получены решением данной задачи путем интегрирования уравнений Такаги-Топена.

Заключение

Таким образом, мы показали, что теория Дарвина, в основе которой лежат алгебраические рекуррентные соотношения, в геометрии Брэгга может описывать не только дифракцию на плоскопараллельных пластинках, но и на латерально ограниченных кристаллах. Рассмотренный подход является не только наиболее простым и наглядным, но и требует существенно меньших временных затрат на вычисления кривых дифракционного отражения и RSMs. Поскольку в настоящее время латеральные структуры, создаваемые методами литографии и электрохимического травления, широко применяются в приборах микро- и оптоэлектроники, энергонезависимых запоминающих устройствах (nonvolatile memory devices), элементах рентгеновской оптики и т.д., разработанный подход может быть эффективно использован для неразрушающего рентгенодифракционного анализа таких материалов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-02-00272-а).

Литература

1. *Authier A.* Dynamical Theory of X-Ray Diffraction. New York: Oxford University Press, 2001. 661 p.
2. *Pietsch U., Holy V., and Baumbach T.* High resolution X-ray scattering: from thin films to lateral nanostructures. 2nd edition. New York: Springer-Verlag, 2004.
3. *Darwin C.G.* The Theory of X-Ray Reflexion // Philos. Mag. 1914. Vol. 27. P. 315–333.
4. *Darwin C.G.* The Theory of X-Ray Reflexion. Part II // Philos. Mag. 1914. Vol. 27. P. 675–691.
5. *Borie B.* The Theory of the Borrmann Effect in Terms of Difference Equations // Acta Cryst. 1966. Vol. 21. P. 470–472.
6. *Безирганян П.А., Навасардян М.А.* Теория эффекта Бормана для конечного кристалла // Изв. АН Арм. ССР. Физика. 1969. Т. 3. С. 269–274.
7. *Borie B.* The Darwin dynamical theory of x-ray diffraction // Acta Cryst. 1967. Vol. 23. P. 210–216.
8. *Кузнецов А.В., Фофанов А.Д.* Дарвиновская теория рассеяния идеальными кристаллами в асимметричном положении // Известия ВУЗов. Физика. 1970. № 10. С. 12–18.
9. *Кузнецов А.В., Фофанов А.Д.* О тождественности методов Дарвина и Эвальда-Лауэ (обобщение метода Дарвина на любое число сильных волн) // Известия ВУЗов. Физика. 1972. № 4. С. 108–113.

10. *Игнатович В.К.* Многоволновой алгебраический метод Дарвина в динамической теории дифракции // Кристаллография. 1992. Т. 37. № 5. С. 1100–1112.
11. *Игнатович В.К.* Алгебраическое описание динамической дифракции на многоатомных идеальных кристаллах // ЖЭТФ. 1990. Т. 97. № 5. С. 1616–1625.
12. *Chandrasekhar S., Srinivasa Rao K. N.* Optical rotatory power of Liquid crystals // Acta Cryst. 1968. Vol. A24. P. 445–451.
13. *Dub P., Litzman O.* The Darwin procedure in optics of layered media and the matrix theory // Acta Cryst. 1999. Vol. A55. P. 613–620.
14. *Robinson I.K.* Crystal truncation rods and surface roughness // Phys. Rev. B. 1986. Vol. 33. No. 6. P. 3830–3836.
15. *Caticha A.* Diffraction of x rays at the far tails of the Bragg peaks. II. Darwin dynamical theory // Phys. Rev. B. 1994. Vol. 49. No. 1. P. 33–38.
16. *Durbin S. M., Follis G.C.* Darwin theory of heterostructure diffraction // Phys. Rev. B. 1995. Vol. 41. №15. P. 10127–10133.
17. *Nakatani S., Takahashi T.* Dynamical treatment of x-ray reflection from crystal surface // Sur. Sci. 1994. Vol. 311. P. 433–439.
18. *Takahashi T., Nakatani S.* Dynamical theory of X-ray diffraction for the study of crystal surfaces// Surface science, 1995. Vol. 326. P.347-360
19. *Takahashi T., Yashiro W., Takahasi M., Kusano S.* Effect of surface structure on crystal-truncation-rod scattering under the Bragg condition // Physical Review B. 2000. Vol. 62. P. 3630–3638.
20. *Yashiro W., Takahashi T.* X –ray diffraction from an atomic plan // Acta Cryst. 2000. Vol. A56. P. 163–167.
21. *Durbin S. M.* Darwin spherical-wave theory of kinematic surface diffraction // Acta Cryst. 1995. Vol. A51. P. 258–268.
22. *Yashiro W., Ito Y., Takahasi M, Takahashi T.* Darwin's theory for the grazing incidence geometry // Surface science. 2001. Vol. 490. P. 394–408.
23. *Prins J. A. Die* Reflexion von Rontgenstrahlen an absorbierenden idealen Kristallen // Zeitschrift fur Physik. 1930. Vol. 63. No. 7-8. P. 477–493.
24. *Perkins R.T., Knight L.V.* An exact analytic solution of Darwin's difference equations // Acta Cryst. 1984. Vol. A40. P. 617–619.
25. *Chen, Y.C. Bhattacharya, P.K.* Determination of critical layer thickness and strain tensor in $In_xGa_{1-x}As/GaAs$ quantum-well structures by x-ray diffraction // Journal of Applied Physics. 1993. Vol. 73. No. 11. P. 7389–7394.
26. *Takagi S.* A Dynamical theory of diffraction applicable to crystals with any kind of small distortion // Acta Cryst. 1962. Vol. 15. № 12. P. 1311–1312.
27. *Chung J.S., Durbin S.M.* Temperature-dependent X-ray dynamical diffraction: Darwin theory simulations // Acta Cryst. (1999). Vol. A55. P. 14–19.
28. *Li M., Ress H., Gerhard T., Landwehr G., Cui S.F., Mai Z.H.* A semi-kinematic approach to x-ray diffraction of real crystals with small defects // J. Appl. Phys. 1997. Vol. 81. P. 2143-2147.
29. *Fitzgerald W.J., Darlington C.N.W.* A numerical study of the dynamical theory of scattering from a distorted crystal // Acta Cryst. 1976. Vol. A32. P. 671–672.
30. *Kolpakov A.V., Punegov V.I.* X-ray diffraction in a crystal with a linear lattice parameter variation // Solid State Communications. 1985. Vol. 54. No. 7. P.573-578.
31. *Punegov V.I., Vishnjakov Yu.V.* Dynamical theory of X-ray diffraction from damaged epitaxial layers with constant strain gradient // J. Phys. D: Appl. Phys. 1995. Vol. 28. No. 4A. P. A184–A188.
32. *Prudnikov I.R.* Darwin's approach to X-ray dynamical diffraction in distorted crystals // Acta Cryst. 1998. Vol. A54. P. 1034–1036.
33. *Prudnikov I.R.* X-Ray Diffraction in Distorted Crystals and Imperfect Multilayered Structures. A Theoretical Approach Based on Resursion Equations // Phys. Stat. Sol. (b). 2000. Vol. 217. P. 725–735.
34. *Bartels W.J., Hornstra J., Lobeek D.J.W.* Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Crystallogr. 42, 539 (1986).
35. *Belyaev Yu.N., Kolpakov A.V.* On the theory of x-ray diffraction in a perfect crystal with distorted surface layer // Phys.Stat.Sol.(a). 1983. Vol. 76. P. 641–645.
36. *Ladanov A.V., Punegov V.I.* A new approach to the problem of multiple X-ray diffraction in multilayer crystals // Twelfth Europen Crystallographic meeting. Moscow, USSR, August 20-29, 1989 / Collected Abstracts. Moscow. 1989. Vol. 3. P. 137.
37. *Punegov V.I.* X-ray diffraction from multilayer structures with statistically distributed microdefects. // Physica status solid (a). 1993. Vol. 136. No. 1. P. 9–19.
38. *Пунегов В.И., Ладанов А.В.* Теория дифракции рентгеновских лучей в многослойных кристаллах в условиях полного внешнего отражения // Поверхность. Физика. Химия. Механика. 1990. № 4. С. 45–50.
39. *Пунегов В.И., Ладанов А.В.* О дифракции рентгеновских лучей на многослойной пленочной структуре в скользящей геометрии // Журнал технической физики. 1989. Т. 59. № 11. С. 188–189.
40. *Lee K., Yi H., Park W.-H., Kim Y.K. Baik S.* Lateral size effects on domain structure in epitaxial PbTiO3 thin films // J. Appl. Phys. 2006. Vol. 100. P. 051615 (1–10).
41. *Колосов С.И., Пунегов В.И.* Методы численного интегрирования уравнений Такаги-Топена для кристалла прямоугольного сечения // Кристаллография. 2005.

Т. 50. Вып. 3. С. 401–406.
42. *Olekhnovich N.M., Olekhnovich A.I.* Primary Extinction for Finite Crystals. Square-Section Parallelepiped // Acta Cryst. 1978. Vol. A34. № 2. P. 321–326.
43. *Thorkildsen G., Larsen H.B.* X-ray diffraction in perfect crystals. Rocking curves // Acta Cryst. 1999. Vol. A55. P. 840–854.
44. *Пунегов В.И., Колосов С.И., Павлов К.М.* К теории дифракции рентгеновских лучей на латеральном кристалле с упруго изогнутыми атомными плоскостями // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. Вып. 18. С. 65–72.
45. *Пунегов В.И., Колосов С.И.* Теория дифракции рентгеновских лучей на неидеальном кристалле трапецеидального сечения // Кристаллография. 2007. Т. 52. № 2. С. 215–222.
46. *Пунегов В.И., Максимов А.И., Колосов С.И., Павлов К.М.* К расчету дифракции рентгеновских лучей от многослойных латеральных кристаллических структур произвольных композиционного состава и формы // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. Вып. 3. С. 64–71.
47. Пунегов В.И. Рентгеновская дифракция на полупроводниковой сверхрешетке с микродефектами // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. № 4. С. 66–70.
48. *Vardanyan D.M., Manoukyan H.M., Petrosyan H.M.* The dynamic theory of x-ray diffraction by the one-dimensional ideal superlattice. I. Diffraction by the arbitrary superlattice // Acta Cryst. 1985. Vol. A41. P. 212–217.
49. *Iida A., Kohra K.* Separate measurements of dynamical and kinematical x-ray diffractions from silicon crystals with a triple crystal diffractometer // Phys. Stat. Sol. (a). 1979. Vol. 51. P. 533–542.
50. *Stepanov S., Forrest R.* Fitting dynamical X-ray diffraction data over the World Wide Web // Journal of Applied Crystallography. 2008. Vol. 41. P. 958–962, http://sergey.gmca.aps.anl.gov/.

References

1. *Authier A.* Dynamical Theory of X-Ray Diffraction. New York: Oxford University Press, 2001. 661 p.
2. *Pietsch U., Holy V., and Baumbach T.* High resolution X-ray scattering: from thin films to lateral nanostructures, 2nd edition. New York: Springer-Verlag, 2004.
3. *Darwin C.G.* The Theory of X-Ray Reflexion // Philos. Mag. 1914. Vol. 27. P. 315–333.
4. *Darwin C.G.* The Theory of X-Ray Reflexion. Part II // Philos. Mag. 1914. Vol. 27. P. 675–691.
5. *Borie B.* The Theory of the Borrmann Effect in Terms of Difference Equations // Acta Cryst. 1966. Vol. 21. P. 470–472.
6. *Bezirganian P.H., Navasardian M.A.* Teoria efekta Bormana dlja konechnogo kristalla [The theory of the Borrmann effect for the finite crystal] // Izv. AN Arm. CCR, Fizika (1969) Vol. 3. P. 269–274.
7. *Borie B.* The Darwin dynamical theory of x-ray diffraction // Acta Cryst. 1967. Vol. 23. P. 210–216.
8. *Kuznetsov A.V., Fofanov A.D.* Darvinovskaja teorija rassejanija ideal'nymi kristallami v asimmetrichnom polozhenii [The Darwin theory for scattering by an ideal crystal in the asymmetric case] // Izvestia VUZov, Fizika. 1970. No. 10. P. 12–18.
9. *Kuznetsov A.V., Fofanov A.D.* O tozhdestvennosti metodov Darvina i Jeval'da-Lauje (obobshhenie metoda Darvina na ljuboe chislo sil'nyh voln) [On the equivalence of methods of Darwin and Ewald-Laue] // Izvestia VUZov, Fizika. 1972. No. 4. P. 108–113.
10. *Ignatovich V.K.* Mnogovolnovoj algebraicheskij metod Darwina v dinamicheskoj teorii difrakcii [The multiwave algebraic method of Darwin in the dynamic theory of diffraction] // Kristallografija. 1992. Vol. 37. No. 5. P. 1100–1112.
11. *Ignatovich V.K.* Algebraicheskoe opisanie dinamicheskoi difrakcii na mnogoatomnyh idealnyh kristallah [Algebraic description of dynamic diffraction by ideal polyatomic crystals] // JETF. 1990. Vol. 97. No. 5. P. 1616–1625.
12. *Chandrasekhar S., Srinivasa Rao K.N.* Optical rotatory power of Liquid crystals // Acta Cryst. Vol. A24. 1968. 445–451.
13. *Dub P., Litzman O.* The Darwin procedure in optics of layered media and the matrix theory // Acta Cryst. 1999. Vol. A55. P. 613–620.
14. *Robinson I.K.* Crystal truncation rods and surface roughness // Phys. Rev. B. 1986. Vol. 33. No. 6. P. 3830–3836.
15. *Caticha A.* Diffraction of x rays at the far tails of the Bragg peaks. II. Darwin dynamical theory // Phys. Rev. B. 1994. Vol. 49. No. 1. P. 33–38.
16. *Durbin S.M., Follis G.C.* Darwin theory of heterostructure diffraction // Phys. Rev. B. 1995. Vol. 41, No. 15. P. 10127–10133.
17. *Nakatani S., Takahashi T.* Dynamical treatment of x-ray reflection from crystal surface // Sur. Sci. 1994. Vol. 311. P. 433–439.
18. *Takahashi T., Nakatani S.* Dynamical theory of X-ray diffraction for the study of crystal surfaces // Surface science. 1995. Vol. 326. P. 347–360.
19. *Takahashi T., Yashiro W., Takahasi M., Kusano S.* Effect of surface structure on crystal-truncation-rod scattering under the Bragg condition // Phys. Rev. B. 2000. Vol. 62. P. 3630–3638.
20. *Yashiro W., Takahashi T.* X–ray diffraction from an atomic plan // Acta Cryst. 2000. Vol. A56. P. 163–167.
21. *Durbin S.M.* Darwin spherical-wave theory of kinematic surface diffraction // Acta Cryst. 1995. Vol. A51. 258–268.
22. *Yashiro W., Ito Y., Takahasi M, Takahashi T.* Darwin's theory for the grazing incidence geometry // Surface science. 2001. Vol. 490. P. 394–

408.
23. *Prins J.A. Die* Reflexion von Rontgenstrahlen an absorbierenden idealen Kristallen // Zeitschrift fur Physik. 1930. Vol. 63. No. 7–8. P. 477–493.
24. *Perkins R.T., Knight L.V.* An exact analytic solution of Darwin's difference equations // Acta Cryst. 1984. Vol. A40. P. 617–619.
25. *Chen Y.C., Bhattacharya P.K.* Determination of critical layer thickness and strain tensor in $In_xGa_{1-x}As/GaAs$ quantum-well structures by x-ray diffraction // J. Appl. Phys. 1993. Vol. 73. No. 11. P. 7389–7394.
26. *Takagi S.* A Dynamical theory of diffraction applicable to crystals with any kind of small distortion // Acta Cryst. 1962. Vol. 15. No. 12. P. 1311–1312.
27. *Chung J.S., Durbin S.M.* Temperature-dependent X-ray dynamical diffraction: Darwin theory simulations // Acta Cryst. 1999. Vol. A55, 14–19.
28. *Li M., Ress H., Gerhard T., Landwehr G., Cui S.F., Mai Z.H.* A semi-kinematic approach to x-ray diffraction of real crystals with small defects // J. Appl. Phys. 1997. Vol. 81. P. 2143–2147.
29. *Fitzgerald W.J., Darlington C.N.W.* A numerical study of the dynamical theory of scattering from a distorted crystal // Acta Cryst. 1976. Vol. A32. P. 671–672.
30. *Kolpakov A.V., Punegov V.I.* X-ray diffraction in a crystal with a linear lattice parameter variation // Solid State Communications. 1985. Vol. 54. No. 7. P. 573–578.
31. *Punegov V.I., Vishnjakov Yu.V.* Dynamical theory of X-ray diffraction from damaged epitaxial layers with constant strain gradient // J. Phys. D: Appl. Phys. 1995. Vol. 28. No. 4A. P. A184–A188.
32. *Prudnikov I.R.* Darwin's approach to X-ray dynamical diffraction in distorted crystals // Acta Cryst. 1998. Vol. A54. P. 1034–1036.
33. *Prudnikov I.R.* X-Ray Diffraction in Distorted Crystals and Imperfect Multilayered Structures. A Theoretical Approach Based on Resursion Equations // Phys. Stat. Sol. (b). 2000. Vol. 217. P. 725–735.
34. *Bartels W.J., Hornstra J., Lobeek D.J.W.* X-ray Diffraction of Multilayers and Superlattices // Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Crystallogr. 1986. Vol. 42, P. 539.
35. *Belyaev Yu.N., Kolpakov A.V.* On the theory of x-ray diffraction in a perfect crystal with distorted surface layer // Phys.Stat.Sol.(a). 1983. Vol. 76. P. 641–645.
36. *Ladanov A.V., Punegov V.I.* A new approach to the problem of multiple X-ray diffraction in multilayer crystals. // Twelfth Europen Crystallographic meeting.- Moscow, USSR, August 20-29,1989. / Collected Abstracts. Moscow. 1989. Vol. 3. P. 137.
37. *Punegov V.I.* X-ray diffraction from multilayer structures with statistically distributed microdefects // Physica status solidi (a). 1993. Vol. 136. No. 1. P. 9–19.
38. *Punegov V.I., Ladanov A.V.* Teoria difrakcii rentgenovskih luchei v mnogosloinyh kristallah v usloviah polnogo vneshnego otrajenija [The theory of X-ray diffraction in multilayer crystals under total external reflection] // Poverhnost. Fizika. Himija. Mehanika. 1990. No. 4. P. 45–50.
39. *Punegov V.I., Ladanov A.V.* O difrakcii rentgenovskih luchey na mnogosloinoi plenochnoi strukture v skolzashei geometrii [X-ray diffraction under specular reflection conditions on multilayers] // J. techn. fiz. 1989. Vol. 59. No. 11. P. 188–189.
40. *Lee K., Yi H., Park W.-H., Kim Y.K. Baik S.* Lateral size effects on domain structure in epitaxial PbTiO3 thin films // J. Appl. Phys. 2006. Vol. 100. P. 051615 (1-10)
41. *Kolosov S.I., Punegov V.I.* Metody chislennogo integrirovanija uravnenii Takagi-Topena dla kristalla pramougolnogo sechenia [Numerical integration methods for the Takagi-Taupin equations for crystals of rectangular cross section] // Kristallografija. 2005. Vol. 50. Vyp. 3. P. 401–406.
42. *Olekhnovich N.M., Olekhnovich A.I.* Primary Extinction for Finite Crystals. Square-Section Parallelepiped // Acta Cryst. 1978. Vol. A34. No. 2. P. 321–326.
43. *Thorkildsen G., Larsen H.B.* X-ray diffraction in perfect crystals. Rocking curves // Acta Cryst. 1999. Vol. A55. P. 840–854.
44. *Punegov V.I., Kolosov S.I., Pavlov K.M.* K teorii difrakcii rentgenovskih luchej na lateral'nom kristalle s uprugo izognutymi atomnymi ploskostjami [Theory of X-Ray Diffraction on a Lateral Crystal with Elastically Bent Lattice Planes] // Pis'ma v JTF. 2006. Vol. 32. Vyp. 18. P. 65–72.
45. *Punegov V.I., Kolosov S.I.* Theory of x-ray diffraction from a nonideal crystal with a trapezoidal cross section // Crystallography Reports. 2007. Vol. 52. No. 2. P. 191–198.
46. *Punegov V.I, Maksimov A.I., Kolosov S.I., Pavlov K.M.* K raschetu difrakcii rentgenovskih luchej ot mnogoslojnyh lateral'nyh kristallicheskih struktur proizvol'nyh kompozicionnogo sostava i formy [Calculating x-ray diffraction from multilayer lateral structures with arbitrary shapes and composition profiles] // Pis'ma v JTF. 2007. Vol. 33. Vyp. 3. No. 2. P. 125–127.
47. *Punegov V.I.* Rentgenovskaja difrakcija na poluprovodnikovoj sverhreshetke s mikrodefektami [X-ray diffraction by semiconductor superlattice with microdefects] // Pis'ma v JTF. 1992. Vol. 18. No. 4. P. 66–70.
48. *Vardanyan D.M., Manoukyan H.M., Petrosyan H.M.* The dynamic theory of x-ray diffraction by the one-dimensional ideal superlattice. I. Diffraction by the arbitrary superlattice // Acta Cryst. 1985. Vol. A41. P. 212–217.
49. *Iida A., Kohra K.* Separate measurements of dynamical and kinematical x-ray diffractions from

silicon crystals with a triple crystal diffractometer // Phys. Stat. Sol. (a). 1979. Vol. 51. P. 533–542.

50. *Stepanov S., Forrest R.* Fitting dynamical X-ray diffraction data over the World Wide Web // J. Appl. Crystallography. 2008. Vol. 41. P. 958–-962.

Статья поступила в редакцию 06.04.2015.

УДК 544.6.001.57:621.372.43

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНДУКТИВНО-ЁМКОСТНОЙ ЦЕПИ

Н.А. СЕКУШИН

Институт химии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар
sekushin-na@chemi.komisc.ru

Представлены результаты теоретического исследования частотных зависимостей емкости $C_u(\omega)$ и проводимости $\sigma_u(\omega)$ индуктивно-ёмкостной цепи (ИЕЦ). Показано, что в зависимости от соотношения между величинами элементов, входящих в схему ИЕЦ, существует 12 визуально различимых видов $C_u(\omega)$ и $\sigma_u(\omega)$. Установлено, что особые точки по-разному располагаются относительно друг друга, часть из них или все могут отсутствовать. Предложено отображать состояние ИЕЦ на $\rho\beta$-плоскости, где ρ и β – безразмерные параметры, зависящие от элементов ИЕЦ. Определены уравнения границ, разделяющих $\rho\beta$-плоскость на 12 зон. Приведен пример использования ИЕЦ для моделирования процесса запаздывания тока по отношению к напряжению.

Ключевые слова: **индуктивно-емкостная цепь, частотные характеристики двухполюсника, емкость, проводимость, индуктивность, электрохимический импеданс, электрическая эквивалентная схема**

N.A. SEKUSHIN. FREQUENCY CHARACTERISTICS OF INDUCTANCE-CAPACITANCE NETWORK

The results of theoretical studies of the frequency dependencies of the capacitance $C_u(\omega)$ and conductivity $\sigma_u(\omega)$ of inductance-capacitance network (ICN) are presented. The aim of the work was to determine the frequency at which $C_u(\omega)$ and $\sigma_u(\omega)$ have an extremum (maximum or minimum), as well as the frequency of inversion of the sign of the capacitance where $C_u(\omega)=0$. The above singular points on the frequency scale can serve as benchmarks that facilitate the construction of electrochemical equivalent circuits when processing data impedance spectroscopy. It is shown that depending on the ratio between the values of the elements included in the scheme ICN, there are 12 visually distinct species $C_u(\omega)$ and the $\sigma_u(\omega)$. It is established that the singular points are differently located relative to each other, some or all of them may be missing. It is proposed to display the status of the ICN on the $\rho\beta$-plane, where ρ and β are dimensionless parameters that depend on elements of the ICN. Equations of the boundaries separating the $\rho\beta$-plane into 12 zones are defined. Example of the use of ICN for modeling the delay of current with respect to voltage is given.

Keywords: **inductance-capacitance network, frequency dependencies of the network, capacitance, conductivity, inductance, electrochemical impedance, electrical equivalent circuit**

Введение

Электрические эквивалентные схемы (ЭЭС) широко применяются при моделировании механических [1], радиотехнических [2] и электрохимических [3–5] систем. При исследовании биологических объектов электрическими методами также нередко строят ЭЭС [6]. В электрохимических ЭЭС используют как известные радиотехнические элементы: резисторы (R), конденсаторы (C), так и ряд элементов с распределенными параметрами: импедансы Варбурга и Геришера, элементы постоянной фазы и другие [4, 5]. Что касается индуктивности (L), то существует общее мнение о нецелесообразности использования этого элемента при построении электрохимических моделей. Принято считать, что индуктивность связана с наличием магнитного поля, которое пренебрежимо мало, так как при исследовании применяют слабый электрический ток. В электрохимических системах энергия накапливается в виде электрического и магнитного полей, а также иногда в виде химических структур [4, 5]. Последние образуются на границе электрод – электролит при определенной полярности напряжения. При противоположной полярности идет распад этих структур с выделением свободных носителей заря-

да. Этот электрохимический процесс, как правило, идет с запаздыванием. Вследствие этого при измерении импеданса данной ячейки может быть зарегистрирована индуктивность (или отрицательная емкость). Для учета данного эффекта в ЭЭС было бы целесообразно ввести элемент, который можно назвать «электрохимической индуктивностью». Однако в настоящее время большинство исследователей для моделирования таких процессов вводят в ЭЭС отрицательные емкости (-С). Периодически возникают дискуссии о физическом смысле «-С». По мнению автора, этот элемент является математической абстракцией. У любого элемента дол-жна быть строго определена связь между током и напряжением в виде алгебраического или дифференциального (иногда в частных производных) уравнения. Такая связь для элемента «-С» неизвестна. Вследствие этого не ясно, как проводить расчеты электрических цепей, в которых имеются «-С».

В работе [7] для моделирования задержки электрического тока, проходящего через межзеренную границу в поликристаллических полупроводниках, мы, вопреки общепринятому в электрохимии подходу, ввели в эквивалентную схему индуктивность. Для частотной области, где наблюдается эффект запаздывания тока, была предложена ЭЭС в виде индуктивно-емкостной цепи (ИЕЦ), схема которой изображена на рис. 1а.

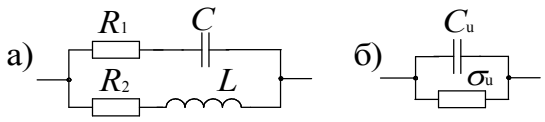


Рис. 1. Схемы двухполюсников: а – индуктивно-емкостная цепь (ИЕЦ); б – параллельная схема замещения образца.

Параметры ИЕЦ (R_1, R_2, C и L) можно определить из импеданс спектров с помощью программы ZView. Эта программа осуществляет варьирования параметров двухполюсника, рассчитывает теоретическое значение импеданса и находит ошибку. Как только достигается минимум ошибки, расчет заканчивается. Однако из-за присутствия в экспериментальных данных шумов может оказаться несколько локальных минимумов ошибки. В этой связи необходимо максимально сужать область варьирования параметров двухполюсника и уметь оценивать правильность расчетов независимым способом. Для этого нужно знать свойства ИЕЦ. В настоящей работе нам удалось провести анализ ИЕЦ достаточно оригинальным способом, который при построении теории других *LCR*-двухполюсников ранее не использовался. В качестве основных характеристик ИЕЦ взяты частотные зависимости емкости $C_u(\omega)$ и проводимости $\sigma_u(\omega)$, где подстрочный индекс «u» означает, что при расчете этих величин или их измерении с помощью моста переменного тока использована параллельная схема замещения (рис. 1б).

Показано, что функция $\sigma_u(\omega)$ может иметь один экстремум на частоте ω_σ. Функция $C_u(\omega)$ может один раз изменить знак на частоте ω_{inv}, а также иметь один экстремум на частоте ω_c. В первом разделе статьи приведены вывод и первичный анализ уравнений, позволяющих определить ω_σ, ω_c и ω_{inv}. Во втором – предложено геометрическое построение в виде $\rho\beta$-плоскости, что позволило провести более глубокий анализ ИЕЦ. В третьем разделе уточнены свойства особых точек (ω_σ, ω_c, ω_{inv}), имеющихся на кривых $C_u(\omega)$ и $\sigma_u(\omega)$. В результате проведенного анализа было выявлено 12 экспериментально различимых видов ИЕЦ. Кроме этого, определены уравнения границ, отделяющих один вид ИЕЦ от другого на $\rho\beta$-плоскости. Это позволяет проводить первичный анализ экспериментальных данных. В частности, имея результаты измерений в виде кривых $C_u(\omega)$ и $\sigma_u(\omega)$, можно на основе проведенных расчетов быстро определить не только соответствие экспериментальных данных ИЕЦ, но и ограничения, накладываемые на параметры ρ и β.

Определение частот особых точек на зависимостях $C_u(\omega)$ и $\sigma_u(\omega)$

Функции $C_u(\omega)$ и $\sigma_u(\omega)$ для ИЕЦ имеют следующий вид [8]:

$$\sigma_u = \frac{1}{R_1}\frac{\omega^2\tau_1^2}{\omega^2\tau_1^2+1} + \frac{1}{R_2}\frac{1}{\omega^2\tau_2^2+1}, \qquad (1)$$

$$C_u = \frac{1}{R_1}\frac{\tau_1}{\omega^2\tau_1^2+1} - \frac{1}{R_2}\frac{\tau_2}{\omega^2\tau_2^2+1}, \qquad (2)$$

где $\tau_1 = R_1C; \quad \tau_2 = \frac{L}{R_2}$ – постоянные времени.

Из соотношений (1, 2) получим уравнения, связывающие параметры ИЕЦ с частотами особых точек. Для нахождения экстремумов необходимо продифференцировать (1) и (2) по частоте. Приравняв производные к нулю, получаем уравнения для нахождения частот ω_σ и ω_c:

$$\frac{1}{R_1}\frac{\tau_1^2}{(\omega_\sigma^2\tau_1^2+1)^2} = \frac{1}{R_2}\frac{\tau_2^2}{(\omega_\sigma^2\tau_2^2+1)^2}, \qquad (3)$$

$$\frac{1}{R_1}\frac{\tau_1^3}{(\omega_c^2\tau_1^2+1)^2} = \frac{1}{R_2}\frac{\tau_2^3}{(\omega_c^2\tau_2^2+1)^2}. \qquad (4)$$

Уравнение для нахождения частоты ω_{inv} найдем из выражения (2):

$$\frac{1}{R_1}\frac{\tau_1}{\omega_{inv}^2\tau_1^2+1} = \frac{1}{R_2}\frac{\tau_2}{\omega_{inv}^2\tau_2^2+1}. \qquad (5)$$

Следует обратить внимание на присутствие во всех уравнениях (3 – 5) одной и той же функции частоты:

$$f(\omega)=\frac{\tau_2(\omega^2\tau_1^2+1)}{\tau_1(\omega^2\tau_2^2+1)}=\frac{\tau_1}{\tau_2}\left(1+\frac{\frac{1}{\tau_1^2}-\frac{1}{\tau_2^2}}{\omega^2+\frac{1}{\tau_2^2}}\right)=\beta\left(1+\frac{1-\beta^2}{\omega^2\tau_1^2+\beta^2}\right) \quad (6)$$

где $\beta=\frac{\tau_1}{\tau_2}$ – параметр ИЕЦ.

Упростим уравнения (3 – 5), воспользовавшись функцией (6):

$$\sqrt{\rho}=f(\omega_\sigma), \quad (7)$$

$$\sqrt{\rho\beta}=f(\omega_C), \quad (8)$$

$$\rho=f(\omega_{inv}), \quad (9)$$

где $\rho=\frac{R_2}{R_1}$ – параметр ИЕЦ.

Таким образом, взаимное расположение особых точек ИЕЦ относительно друг друга зависит только от параметров ρ и β, что существенно облегчает задачу.

Дальнейший анализ уравнений (7 – 9) проведем графическим методом. Функция $f(\omega)$ не имеет экстремумов, так как является суммой константы и гиперболы. Предельные значения этой функции равны:

$$\lim_{\omega\to 0} f(\omega)=\frac{1}{\beta}; \qquad \lim_{\omega\to\infty} f(\omega)=\beta. \quad (10)$$

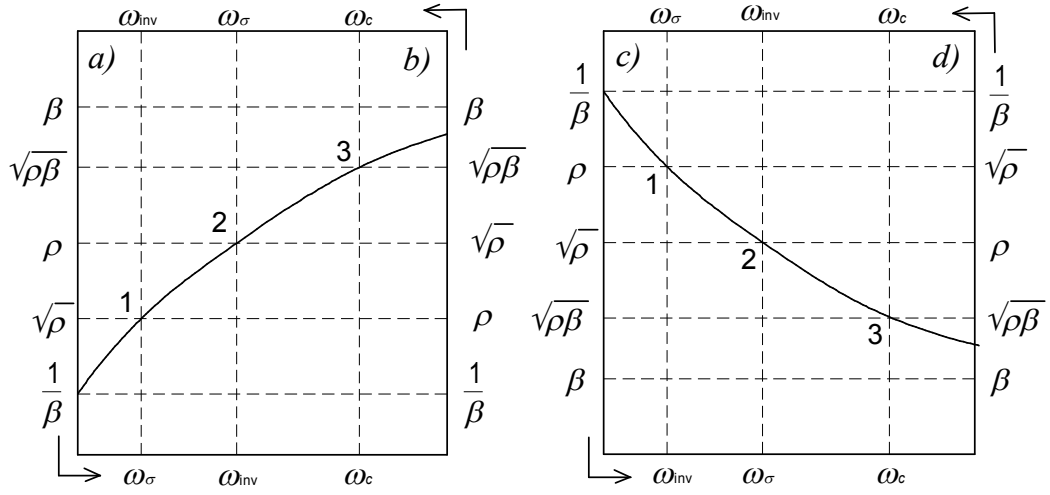
Из (10) следует, что при $\beta>1$ функция $f(\omega)$ монотонно растет, а при $\beta<1$ – монотонно падает. Оба типа функции $f(\omega)$ в приближенном виде изображены на рис. 2, где на горизонтальных осях (сверху и снизу) отмечены частоты, а на вертикальных осях – безразмерные величины, входящие в левые части уравнений (7 – 9): $\sqrt{\rho}, \sqrt{\rho\beta}, \rho$. На рис.2 для каждого из этих параметров ИЕЦ проведена горизонтальная пунктирная линия. Если эта линия пересекает кривую $f(\omega)$, то соответствующая особая точка существует. Опуская перпендикуляры на ось абсцисс из точек пересечения, обозначенных на рис. 2 цифрами 1 – 3, находим частоты особых точек. На рис. 2 отражены четыре частных случая, когда все особые точки присутствуют. В графиках *a* и *c* использованы левая и нижняя оси, а в графиках b и d – правая и верхняя оси системы координат. Вместе с тем часть или все особые точки могут отсутствовать, поэтому необходимо провести более подробный анализ всех возможных видов ИЕЦ.

Уравнения границ зон на $\rho\beta$-плоскости

Результаты дальнейшего анализа ИЕЦ собраны в табл. 1. Известно, что для трех объектов: $\sqrt{\rho\beta}$, $\sqrt{\rho}$, ρ существуют шесть перестановок. Поэтому в столбце 1 имеется шесть ячеек, в каждой из которых приведено неравенство, характеризующее данный вид ИЕЦ.

Для дальнейшего анализа рассмотрим систему координат, у которой по оси ординат будем откладывать ρ, а по оси абсцисс – β. Таким образом, получаем плоскость параметров ИЕЦ или $\rho\beta$-плоскость. Приведенные в столбце 1 неравенства задают области $\rho\beta$-плоскости, границы которых нам необходимо определить. Неравенства в столбце 1 можно упростить, если воспользоваться следующими правилами:

$$\left.\begin{array}{l}\text{Если } \sqrt{\rho\beta}>\sqrt{\rho}, \quad \text{то } \beta>1.\\ \text{Если } \sqrt{\rho\beta}<\sqrt{\rho}, \quad \text{то } \beta<1.\\ \text{Если } \rho>\sqrt{\rho}, \quad \text{то } \rho>1.\\ \text{Если } \rho<\sqrt{\rho}, \quad \text{то } \rho<1.\\ \text{Если } \sqrt{\rho\beta}>\rho, \quad \text{то } \beta>\rho.\\ \text{Если } \sqrt{\rho\beta}<\rho, \quad \text{то } \beta<\rho.\end{array}\right\} \quad (11)$$



А) Б)

Рис. 2. Графики функции $f(\omega)$ при $\beta>1$ (А) и $\beta<1$ (Б). Более подробное описание приведено в тексте.

Таблица 1

Определение границ зон на $\rho\beta$-плоскости

№ вида ИЕЦ	Перестановки параметров ИЕЦ	Положение на $\rho\beta$-плоскости	Сравнение параметров ИЕЦ с предельными значениями функции $f(\omega)$ (рис. 2)		Уравнения границ зон на $\rho\beta$-плоскости		Номер зоны на рис. 3	Присутствие особых точек в зоне
			Позиции линий	Детализация	Сверху	Снизу		
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$\rho > \sqrt{\rho\beta} > \sqrt{\rho}$	$\beta > 1; \rho > 1; \rho > \beta$	$\sqrt{\rho\beta} > \beta; \sqrt{\rho} > \frac{1}{\beta}$	a) $\sqrt{\rho} > \beta$	нет	$\rho = \beta^2$	4	нет
				b) $\sqrt{\rho} < \beta$	$\rho = \beta^2$	$\rho = \beta$	5	ω_σ
2	$\sqrt{\rho\beta} > \rho > \sqrt{\rho}$	$\beta > 1; \rho > 1; \rho < \beta$	$\sqrt{\rho\beta} < \beta; \sqrt{\rho} > \frac{1}{\beta}$		$\rho = \beta$	$\rho = 1$	6	$\omega_C > \omega_{inv} > \omega_\sigma$
3	$\sqrt{\rho\beta} > \sqrt{\rho} > \rho$	$\beta > 1; \rho < 1; \rho < \beta$	$\sqrt{\rho\beta} < \beta$	a) $\rho > \frac{1}{\beta}$	$\rho = 1$	$\rho = \frac{1}{\beta}$	7	$\omega_C > \omega_\sigma > \omega_{inv}$
				b) $\rho < \frac{1}{\beta}; \sqrt{\rho} > \frac{1}{\beta}$	$\rho = \frac{1}{\beta}$	$\rho = \frac{1}{\beta^2}$	8	$\omega_C > \omega_\sigma;$
				c) $\sqrt{\rho} < \frac{1}{\beta}; \sqrt{\rho\beta} > \frac{1}{\beta}$	$\rho = \frac{1}{\beta^2}$	$\rho = \frac{1}{\beta^3}$	9	ω_C
				d) $\sqrt{\rho\beta} < \frac{1}{\beta}$	$\rho = \frac{1}{\beta^3}$	нет	10	нет
4	$\rho > \sqrt{\rho} > \sqrt{\rho\beta}$	$\beta < 1; \rho > 1; \rho > \beta$	$\sqrt{\rho\beta} > \beta$	a) $\rho < \frac{1}{\beta}$	$\rho = \frac{1}{\beta}$	$\rho = 1$	1	$\omega_C > \omega_\sigma > \omega_{inv}$
				b) $\rho > \frac{1}{\beta}; \sqrt{\rho} < \frac{1}{\beta}$	$\rho = \frac{1}{\beta^2}$	$\rho = \frac{1}{\beta}$	2	$\omega_C > \omega_\sigma$
				c) $\sqrt{\rho} > \frac{1}{\beta}; \sqrt{\rho\beta} < \frac{1}{\beta}$	$\rho = \frac{1}{\beta^3}$	$\rho = \frac{1}{\beta^2}$	3	ω_C
				d) $\sqrt{\rho\beta} > \frac{1}{\beta}$	нет	$\rho = \frac{1}{\beta^3}$	4	нет
5	$\sqrt{\rho} > \rho > \sqrt{\rho\beta}$	$\beta < 1; \rho < 1; \rho > \beta$	$\sqrt{\rho\beta} > \beta; \sqrt{\rho} < \frac{1}{\beta}$		$\rho = 1$	$\rho = \beta$	12	$\omega_C > \omega_{inv} > \omega_\sigma$
6	$\sqrt{\rho} > \sqrt{\rho\beta} > \rho$	$\beta < 1; \rho < 1; \rho < \beta$	$\sqrt{\rho\beta} < \beta; \sqrt{\rho} < \frac{1}{\beta}$	a) $\sqrt{\rho} > \beta$	$\rho = \beta$	$\rho = \beta^2$	11	ω_σ
				b) $\sqrt{\rho} < \beta$	$\rho = \beta^2$	нет	10	нет

С помощью соотношений (11) определены области $\rho\beta$-плоскости для каждого вида ИЕЦ, что отражено во втором столбце табл. 1.

На рис. 2 представлены четыре частных случая, когда все параметры ИЕЦ: $\sqrt{\rho\beta}$, $\sqrt{\rho}$, ρ оказались по величине между предельными значениями функции $f(\omega)$: β и β^{-1}. Вместе с тем рассматриваемые параметры ИЕЦ могут выходить за указанные пределы. Сравнение параметров ИЕЦ и предельных значений функции $f(\omega)$ выполнено с помощью неравенств из столбцов 1 и 2 (табл.1) и соотношений (11). Результаты этого анализа помещены в столбец 3 табл. 1. У второго вида ИЕЦ наибольший параметр $(\sqrt{\rho\beta})$ меньше максимального значения $f(\omega)$ (β), а наименьший параметр $(\sqrt{\rho})$ больше минимального значения $f(\omega)$ (β^{-1}). Следовательно, в этом случае будут существовать все три особые точки, что и показано на рис. 2 (система координат *a*).

У ИЕЦ третьего вида наибольший параметр $(\sqrt{\rho\beta})$ меньше максимального значения $f(\omega)$ (β) (столбец 3). Это означает существование верхней границы параметров $\sqrt{\rho\beta}$, $\sqrt{\rho}$, ρ. Вместе с тем, из неравенств, находящихся в первых двух столбцах табл. 1, не следует каких-либо ограничений на нижнюю границу этих параметров. Таким образом, по мере уменьшения параметров возникает четыре частных случая, что и отражено в столбце 4 табл. 1. В случае 3a наименьший параметр больше минимального значения $f(\omega)$. Следовательно, здесь будут наблюдаться все три особые точки, что показано на рис. 2 (система координат b). В случае 3b (столбец 4, табл. 1) наименьший параметр ИЕЦ меньше, а средний параметр больше минимального значения $f(\omega)$. Здесь пропадает точка инверсии ω_{inv}, остаются лишь экстремумы проводимости и емкости. В частном случае 3c средний параметр ИЕЦ меньше минимального значения $f(\omega)$, а старший параметр ИЕЦ больше этого значения. Из рис. 2 (система координат *b*) следует, что в этом случае будет присутствовать только экстремум емкости. И, наконец, в случае 3d (табл. 1) все параметры ИЕЦ меньше минимального значения $f(\omega)$, что означает отсутствие особых точек в этой зоне.

Точно таким же образом можно проанализировать ИЕЦ четвертого вида. Случай 4a изображен на рис. 2 (система координат *c*). Здесь имеется нижняя граница параметров ИЕЦ и отсутствует верхняя граница. Таким образом, при увеличении параметров ИЕЦ сначала пропадет точка инверсии емкости, затем экстремум проводимости и далее исчезнет экстремум емкости.

У ИЕЦ пятого вида верхняя и нижняя границы параметров $\sqrt{\rho\beta}$, $\sqrt{\rho}$, ρ оказываются между предельными значениями $f(\omega)$, что свидетельствует о присутствии всех особых точек в этой зоне $\rho\beta$-плоскости (рис. 2, система координат d). Анализ показал, что первый и шестой виды ИЕЦ разбиваются на два подвида. Таким образом, из столбца 4 табл. 1 следует, что на $\rho\beta$-плоскости можно выделить 14 зон, различающихся по особым точкам ИЕЦ.

Уравнения границ зон можно найти из неравенств, помещенных в столбцах 2 и 4 (табл. 1). Если имеются два неравенства, указывающие ограничение (сверху или снизу), то необходимо брать наиболее сильное из них. Результаты этого анализа обобщены в столбцах 5 и 6 (табл. 1), где приведены уравнения верхней и нижней границы зоны для каждого подвида ИЕЦ.

На рис. 3 изображена $\rho\beta$-плоскость ИЕЦ с границами зон, уравнения которых взяты из табл. 1 (столбцы 5 и 6).

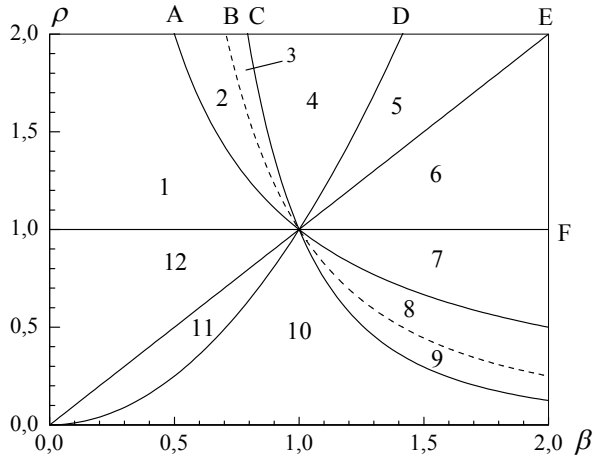


Рис. 3. $\rho\beta$-плоскость состояний ИЕЦ. Показаны 6 пограничных линий:

$$A)\ \rho=\frac{1}{\beta};\quad B)\ \rho=\frac{1}{\beta^2};\quad C)\ \rho=\frac{1}{\beta^3};\quad .$$

$$D)\ \rho=\beta^2;\quad E)\ \rho=\beta;\quad F)\ \rho=1$$

В столбце 7 (табл. 1) и на рис. 3 приведены номера 12 зон. Подвиды ИЕЦ 1a и 4d образовали одну зону 4, не имеющую верхней границы. Точно так же подвиды 3d и 6b сформировали зону 10, которая не имеет нижней границы. Таким образом, число зон уменьшилось на два. В столбце 8 табл. 1. приведены сведения об особых точках и их частотах. Следует отметить, что проведенный анализ не является полным, поскольку не содержит информации о типах экстремумов емкости и проводимости (максимумах или минимумах). Вследствие этого в столбце 8 табл. 1 имеются одинаковые соотношения между частотами особых точек.

Дополнительные свойства особых точек

Найдем область частот, в которой $\sigma_u(\omega)$ монотонно растет. В этом случае производная $\sigma'_u(\omega)>0$. Из уравнения (7) получаем неравенство:

$$f(\omega)<\sqrt{\rho}\ . \qquad (12)$$

Соответственно, область частот, в которой $\sigma_u(\omega)$ монотонно падает, будет определяться неравенством:

$$f(\omega) > \sqrt{\rho}\ . \qquad (13)$$

На основе (12) и (13) определим вид экстремумов проводимости. Для этого воспользуемся рис. 2. На рис. 2А согласно (12) проводимость в области низких частот монотонно нарастает, а на рис. 2Б согласно (13) проводимость на низких частотах монотонно падает. Следовательно, если β >1, то на зависимостях $\sigma_u(\omega)$ все экстремумы будут максимумами. При β <1 все экстремумы проводимости являются минимумами.

Аналогичным способом найдем области частот, в которых $C_u(\omega)$ монотонно растет. В этом случае производная $C'_u(\omega) > 0$. В результате уравнение (8) превращается в неравенство:

$$f(\omega) > \sqrt{\rho\beta}\ . \qquad (14)$$

Частоты, при которых $C_u(\omega)$ монотонно падает, находим из неравенства:

$$f(\omega) < \sqrt{\rho\beta}\ . \qquad (15)$$

С помощью (14) и (15) определим сначала вид экстремума на $C_u(\omega)$ (рис. 2А). Слева от точки 3, в соответствии с (15), емкость монотонно падает, а справа, в соответствии с (14), она монотонно растет. Следовательно, если β>1, то на зависимостях $C_u(\omega)$ все экстремумы будут минимумами. Аналогичный анализ графика на рис. 2Б позволяет сделать обратный вывод. Если β<1, то на зависимостях $C_u(\omega)$ все экстремумы будут максимумами. Следует также отметить, что ω_c всегда больше ω_σ и ω_{inv}.

В итоге проведем анализ знака емкости. В области частот, где C_u>0, из (9) получаем неравенство: $f(\omega) < \rho$. Область частот, где C_u<0, будет определяться неравенством: $f(\omega) > \rho$. Таким образом, при увеличении частоты знак емкости меняется с плюса на минус, если β >1 и с минуса на плюс, если β <1.

Окончательные результаты анализа частотных свойств ИЕЦ обобщены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства функций $C_u(\omega)$ и $\sigma_u(\omega)$ в зонах на $\rho\beta$ - плоскости (рис. 3)

Номер зоны	Знак емкости (ω)	Экстремум емкости $C(\omega)$	Вид зависимости $\sigma(\omega)$
1	C<0 при $\omega\to 0$; C>0 при $\omega\to\infty$	Максимум	Имеет минимум $\omega_{inv} < \omega_{\sigma\min}$
2	C>0 при любых ω	Максимум	Имеет минимум
3	C>0 при любых ω	Максимум	Монотонный рост
4	C>0 при любых ω	Монотонное падение	Монотонный рост
5	C>0 при любых ω	Монотонное падение	Имеет максимум
6	C>0 при $\omega\to 0$; C<0 при $\omega\to\infty$	Минимум	Имеет максимум $\omega_{inv} > \omega_{\sigma\max}$
7	C>0 при $\omega\to 0$; C<0 при $\omega\to\infty$	Минимум	Имеет максимум $\omega_{inv} < \omega_{\sigma\max}$
8	C<0 при любых ω	Минимум	Имеет максимум
9	C<0 при любых ω	Минимум	Монотонное падение
10	C<0 при любых ω	Монотонный рост	Монотонное падение
11	C<0 при любых ω	Монотонный рост	Имеет минимум
12	C<0 при $\omega\to 0$; C>0 при $\omega\to\infty$	Максимум	Имеет минимум $\omega_{inv} > \omega_{\sigma\min}$

Примечание. $\omega_{\sigma\max}$ и $\omega_{\sigma\min}$ – частоты, на которых наблюдается максимум и минимум проводимости, соответственно.

Левую часть в (21) запишем для параллельной схемы замещения (рис. 1б), а экспоненту в правой части (21) преобразуем по формуле Эйлера:

$$Y(j\omega) = \sigma_u + j\omega C_u = k\cos(\omega\tau) - jk\sin\omega\tau)\ . \qquad (22)$$

Из (22) вытекают частотные зависимости C_u и σ_u:

$$C_u = -\frac{k\sin\omega\tau}{\omega};\quad \sigma_u = k\cos\omega\tau\ . \qquad (23)$$

При ω=0 емкость отрицательна и минимальна, а проводимость положительна и максимальна. При увеличения частоты $C_u(\omega)$ растет, а $\sigma_u(\omega)$ – падает. Подобный вид зависимостей $C_u(\omega)$ и $\sigma_u(\omega)$ реализуется на границе 8 и 9 зон $\rho\beta$-плоскости, что следует из табл. 2. Таким образом, с помощью ИЕЦ можно в небольших пределах моделировать запаздывание тока. Важно отметить, что переходы «резистор – конденсатор – индуктивность – запаздывающий элемент» происходят без изменения структуры ЭЭС. Это позволяет моделировать с помощью ИЕЦ электрические свойства поликристаллических материалов со сложным характером проводимости в широком температурном диапазоне. В противном случае потребовалось бы менять структуру эквивалентной схемы при переходе от одной температуры к другой.

Заключение

Проведенный анализ показал, что двухполюсник ИЕЦ является универсальным элементом, который может быть как емкостью, так и индуктивностью. При $\tau_1 = \tau_2$ и $R_1 = R_2 = R$ ИЕЦ представляет собой чисто активный элемент (резистор), сопротивление которого равно *R*. Кроме этого, с помощью ИЕЦ можно моделировать запаздывание тока. Известно, что адмиттанс идеального запаздывающего элемента имеет следующий вид [7]:

$$Y(j\omega) = k\exp(-j\omega\tau)\ , \qquad (21)$$

где k – константа с размерностью проводимости, j – мнимая единица.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 15-03-09173А.

Литература

1. *Джонсон Р.* Механические фильтры в электронике. М. : Мир, 1986. 406 с.
2. *Манаев Е.И.* Основы радиоэлектроники. М.: Радио и связь, 1985. 504 с.
3. *Графов Б.М., Укше Е.А.* Электрохимические цепи переменного тока. М.: Наука, 1973. 128 с.
4. *Lasia A.* Electrochemical Impedance Spectroscopy and its Application. Springer: New York, 2014. 369 p.
5. *Barsoukov E., Macdonald J.R.* Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment and Application. Wiley – Interscience. 2005. 606 p.
6. *Grimnes S., Martinsen O.G.* Bioimpedance and Bioelectricity Basics. Academic Press. 2000. 360 p.
7. *Секушин Н.А., Истомин П.В., Рябков Ю.И., Голдин Б.А.* Электрические свойства керамики, синтезированной из ильменитсодержащего природного сырья // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2012. №2(8). С. 20–28.
8. *Секушин Н.А.* Двухчастотный критерий присутствия индуктивной составляющей в импедансе электрохимической ячейки // Электрохимия. 2010. Т. 46. № 3. С. 362–370.

References

1. *Johnson R.A.* Mekhanicheskie filtry v elektrinike [Mechanical filters in electronics]. Wiley-Interscience. New York, 1983. 390 p.
2. *Manaev E.I.,* Osnovy radioelektroniki [Principles of Electronics], Moscow: Radio i Svyaz. 1985. 504 p.
3. *Grafov B.M., Ukshe E.A.,* Elektrohimicheskie tsepi peremennogo toka [Electrochemical AC Circuits], Moscow: Nauka, 1973. 128 p.
4. *Lasia A.* Electrochemical Impedance Spectroscopy and its Application. Springer: New York, 2014. 369 p.
5. *Barsoukov E., Macdonald J.R.* Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment and Application. Wiley – Interscience. 2005. 606 p.
6. *Grimnes S., Martinsen O.G.* Bioimpedance and Bioelectricity Basics. Academic Press. 2000. 360 p.
7. *Sekushin N.A., Istomin P.V., Ryabkov Y.I., Golgin B.A.* Elektricheskie svotstva keramiki, sintezirovannoi iz il'menitsoderzhaschego prirodnogo syrya [Electrical properties of ceramics synthesized from natural ilmenite-containing raw materials]//Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2012. № 2(8). P. 20-28.
8. *Sekushin N.A.* Dvukhchastotnii kriterii prisutstviya induktivnoi sostavlyayuschei v impedanse elektrokhimicheskoi yacheiki [Two-Frequency Criterion of the Presence of Inductive Component in the Electrochemical Cell Impedance] // J. Electrochem. 2010. Vol. 46. № 3. P. 345–353.

Статья поступила в редакцию 15.04.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 544.42:546.143:547.279.52

КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА ДИОКСИДОМ ХЛОРА

И.М. КУЗИВАНОВ, Р.А. САДЫКОВ, Д.В. СУДАРИКОВ, А.В. КУЧИН

Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
kuzivanov-im@chemi.komisc.ru

Изучена кинетика реакции диоксида хлора ClO_2 с диметилсульфоксидом (ДМСО) в растворе тетрахлорметана. Временные зависимости расхода ClO_2 в ходе реакции получены методом ЭПР по изменению интегральных интенсивностей сигнала ЭПР. Показано, что термический распад диоксида хлора и реакция с ДМСО протекают параллельно с сопоставимыми скоростями. При малых концентрациях ClO_2 ($< 0{,}02$ моль/дм^3) распад происходит по мономолекулярному механизму, при увеличении концентрации основным становится бимолекулярный распад. Измерены константы скорости термического распада ClO_2 при малых концентрациях и взаимодействия с ДМСО.

Ключевые слова: **диоксид хлора, диметилсульфоксид, кинетика реакции, метод ЭПР, термический распад**

I.M. KUZIVANOV, R.A. SADYKOV, D.V. SUDARIKOV, A.V. KUCHIN. **KINETICS OF DIMETHYLSULFOXIDE OXIDATION BY CHLORINE DIOXIDE**

The kinetics and mechanism of reaction between chlorine dioxide and dimethyl sulfoxide were studied in the tetrachloromethane solution. Time-dependent changes of ClO_2 concentration were obtained with ESR method by measurement of integral intensities of ESR signals. It was shown that the thermal decomposition of chlorine dioxide and its reaction with DMSO take place simultaneously with comparable rates. At low concentrations ClO_2 decomposes by the monomolecular mechanism, but the bimolecular decomposition becomes predominant as the concentration is increased. The rate constants of the thermal decomposition of ClO_2 ($1{,}4\cdot10^{-5}$ с$^{-1}$, 28 ºС) and the interaction with DMSO were determined at low concentrations of ClO_2 ($0{,}6\cdot10^{-5}$ с$^{-1}$, 28 ºС). Probable mechanism of interaction between ClO_2 and DMSO was proposed.

Keywords: **chlorine dioxide, dimethylsulfoxide, reaction kinetics, ESR method, thermal decomposition**

Введение

Интерес к химии сераорганических соединений вызван перспективами использования тиолов, сульфидов, сульфоксидов и сульфонов в качестве экстрагентов и комплексообразователей металлов, флотореагентов, лекарственных средств, а также их применением в тонком органическом синтезе. Сульфоксиды и сульфоны чаще всего получают окислением тиолов и сульфидов различными окислителями. Одним из интересных и доступных окислителей, выпускаемых в промышленных масштабах, является диоксид хлора (ClO_2). Отдельные примеры изучения кинетики и механизма окисления тиолов, сульфидов и дисульфидов диоксидом хлора в органических растворителях можно найти в обзорах [1,2]. Несмотря на широкое применение ClO_2 в водоочистке и отбелке целлюлозы [3], сведения о его реакциях с органическими соединениями практически отсутствуют. Реакции диоксида хлора с органическими соединениями серы изучены в основном в водных растворах при малых концентрациях реагентов [4]. Несомненно, оценка возможности использования этого реагента в химии органических соединений серы представляет интерес. Поэтому исследование механизмов реакций и кинетических закономерностей процессов окисления сераорганических соединений диоксидом хлора является актуальным направлением органической и физической химии. Выполненная работа посвящена исследованию кинетики окисления диметилсульфоксида (ДМСО) диоксидом хлора в тетрахлорметане.

Материалы и методы

Диметилсульфоксид (х.ч.) и тетрахлорметан (х.ч.) перед использованием очищали в соответст-

вии с известными методиками [5]. Газообразный диоксид хлора получали барботированием его водного раствора аргоном. Полученный таким образом газ очищали от хлора пропусканием через насыщенный раствор карбоната натрия. Для удаления следов воды газ пропускали через концентрированную серную кислоту и хлористый кальций. Раствор диоксида хлора готовили насыщением охлажденного в ледяной бане тетрахлорметана очищенным ClO_2. Для определения концентрации полученный раствор титровали иодометрическим способом [6].

Изучение кинетики расхода диоксида хлора в процессе реакции с ДМСО и термического распада проводили методом ЭПР. Для этого раствор диоксида хлора с известной концентрацией (0,01 – 0,16 моль/дм^3) в тетрахлорметане или реакционную смесь с ДМСО помещали в стеклянную ампулу диаметром 3 мм. Запаянную ампулу устанавливали в резонатор спектрометра ЭПР с заранее настроенной температурой. Спектры ЭПР диоксида хлора регистрировали через определенные промежутки времени. Концентрацию ClO_2 рассчитывали методом двойного интегрирования с помощью программы управления спектрометром и обработки сигналов. Для измерений использовался спектрометр ЭПР X-диапазона ESR 70-03 XD/2 (Минск).

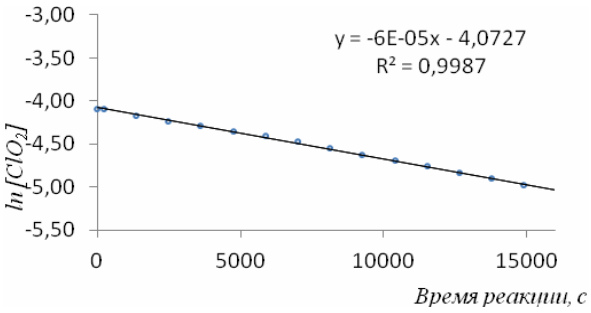


Рис. 1. Кинетика расхода диоксида хлора в координатах «ln[ClO_2] – время» при концентрации $[ClO_2]_0$=0,016 моль/дм^3, 50 ^{0}C.

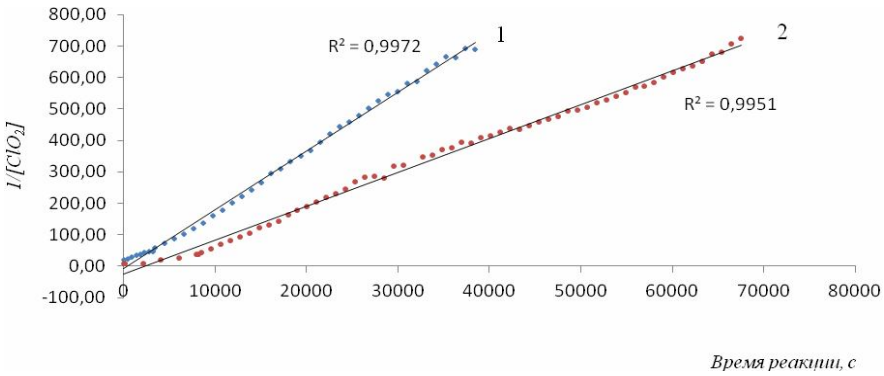


Рис. 2. Зависимость 1/[ClO_2] от времени реакции в CCl_4: (1) – 50 °C, начальная концентрация $[ClO_2]_0$ = 0,16 моль/дм^3; (2) – 28 °C, начальная концентрация $[ClO_2]_0$ = 0,16 моль/дм^3.

Результаты и обсуждение

Для кинетических исследований расход ClO_2 обычно измеряют методом УФ спектроскопии и потенциометрически [1,7]. По условиям эксперимента начальная концентрация в этом случае не должна превышать значения около $5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм^3. Для изучения кинетики расходования диоксида хлора в реакции с ДМСО нами был выбран метод ЭПР спектроскопии, который позволяет определять кинетику изменения концентрации диоксида в растворе от 0,006 моль/дм^3 до ≈ 0,16 моль/дм^3. Нами установлено, что взаимодействие диоксида хлора с ДМСО в тетрахлорметане протекает медленно и термический распад диоксида хлора происходит с соизмеримой скоростью. По этой причине сначала была изучена кинетика термического распада диоксида хлора в тетрахлорметане при 50°C. Опыты показали, что при малых концентрациях, примерно 0,016 моль/дм^3, термический распад происходит по реакции первого порядка, о чем свидетельствует график, приведенный на рис. 1.

При концентрации диоксида хлора 0,16 моль/дм^3 график его расхода приблизительно спрямляется в координатах «1/[ClO_2] – время» (рис. 2).

Следовательно, при увеличении концентрации диоксида хлора к мономолекулярному пути его распада параллельно добавляется еще бимолекулярный и становится основным. В таком случае кинетический анализ значительно усложняется. Поэтому дальнейшие исследования проводили при концентрации диоксида хлора 0,016 моль/дм^3.

Кинетику реакции диоксида хлора с ДМСО при концентрации ClO_2, равной 0,016 моль/дм^3, изучали в условиях $[ClO_2]_0$ << $[ДМСО]_0$, где $[ClO_2]_0$ и $[ДМСО]_0$ – начальные концентрации. Полулогарифмические анаморфозы кинетических кривых расходования диоксида хлора при различных концентрациях ДМСО с высоким коэффициентом корреляции 0,990–0,999 описываются уравнением первого порядка (рис. 3).

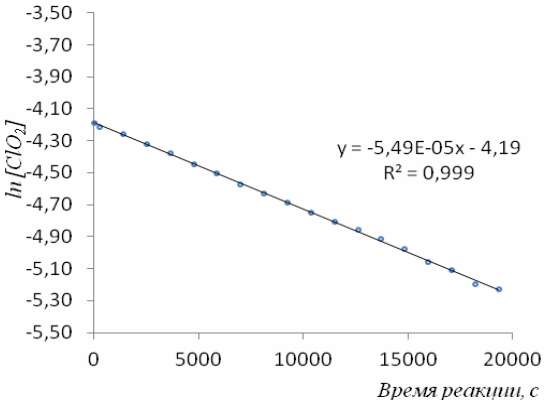


Рис. 3. График расхода диоксида хлора в координатах «ln[ClO_2] – время» в реакции с ДМСО в CCl_4, $[ClO_2]_0$ = 0,015 моль/дм^3, $[ДМСО]_0$ = 1,3 моль/дм^3, T=50 ^{0}C.

Из кинетических кривых определены эффективные константы скорости первого порядка k_{eff} (см. таблицу).

$$k_{eff} = k[ДМСО]^n, \quad (1)$$

где k – константа скорости реакции, n – порядок реакции по ДМСО. В данном случае n = 1.

Константы скорости распада диоксида хлора при различных условиях

Константа скорости		28 ºС	50 ºС
Эффективная	k_{eff}, $с^{-1}$	$1{,}85\cdot10^{-5}$	$1{,}7\cdot10^{-4}$
Термического распада	k_d, $с^{-1}$	$1{,}4\cdot10^{-5}$	$3{,}2\cdot10^{-5}$
Реакции с ДМСО	k, $с^{-1}$	$0{,}6\cdot10^{-5}$	$2{,}2\cdot10^{-5}$

На рис. 4 представлена линейная зависимость константы скорости k_{eff} от концентрации ДМСО. Она соответствует уравнению:

$$k_{eff} = k_d + k[DMSO], \quad (2)$$

где k – константа скорости с ДМСО и k_d – константа скорости термического разложения ClO_2 при малых концентрациях. Зависимость, представленная на рис. 4, хорошо иллюстрирует, что значение k_d, рассчитанное из зависимости k_{eff} - $[ДМСО]_0$, совпадает с величиной k_d, полученной при термическом распаде диоксида хлора в CCl_4 без ДМСО, и равна $3\cdot10^{-5}$ $с^{-1}$.

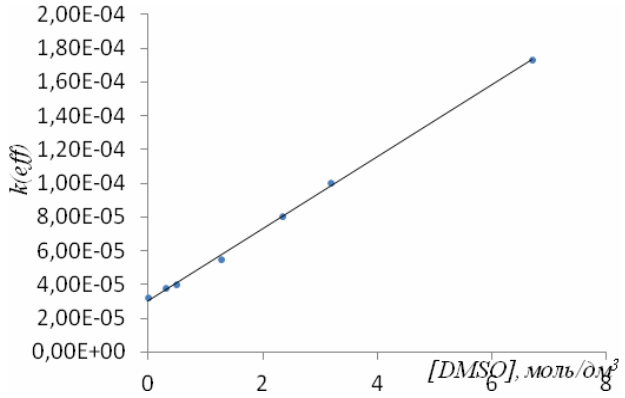


Рис. 4. Зависимость эффективной константы скорости окисления ДМСО диоксидом хлора k_{eff} от концентрации ДМСО в CCl_4 при 50ºС. $[ClO_2]_0$ = 0,016 моль/дм^3.

Как видно из рис. 4, значение k_{eff} линейно зависит от концентрации диметилсульфоксида, что свидетельствует о первом порядке реакции по ДМСО и об отсутствии влияния какой-либо ассоциации ДМСО на реакционную способность диоксида хлора. Величина отрезка, отсекаемого на оси ординат, равна константе термического распада диоксида хлора. Кинетическое уравнение имеет вид:

$$-\frac{d[ClO_2]}{dt} = (k_d + k[DMSO])[ClO_2], \quad (3)$$

где $k_d + k[DMSO] = k_{eff}$;

k_d – константа термического распада диоксида хлора;

$[ClO_2]$ – концентрация диоксида хлора.

Публикации о механизме термического распада диоксида хлора в органических растворителях практически отсутствуют. Известны только работы 1931 г. [8,9], в которых обсуждается механизм термического распада диоксида хлора, и отмечается, что кинетика термического распада диоксида хлора в тетрахлорметане подчиняется уравнению:

$$-d[ClO_2]/dt = k\,[ClO_2]^{4/3}, \quad (4)$$

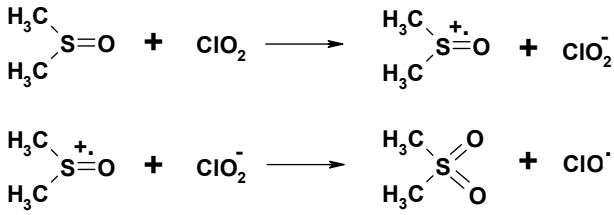
т.е. порядок реакции по диоксиду хлора равен 4/3. Этот результат согласуется с нашим выводом о том, что в тетрахлорметане распад протекает по двум каналам: мономолекулярному и бимолекулярному. Учитывая инертность растворителя по отношению к диоксиду хлора, можно полагать, что его термический распад будет во многом аналогичен распаду в газовой фазе. В работе [10] нами согласуется сделанный вывод о протекании реакции термического распада по второму порядку согласно схеме:

$$2ClO_2 \rightarrow ClO^{\cdot} + ClO_3$$
$$ClO^{\cdot} + ClO_2 \rightarrow Cl_2O_3$$
$$ClO^{\cdot} + Cl_2O_3 \rightarrow 2Cl + O_2 + ClO_2$$
$$Cl + ClO_2 \rightarrow 2ClO^{\cdot}$$
$$Cl + ClO_2 \rightarrow Cl_2 + O_2$$
$$Cl \rightarrow {}^1/_2\,Cl_2.$$

По первому порядку реакция может начинаться с распада молекулы диоксида хлора на атом кислорода и радикал $ClO^{\cdot}$:

$$ClO_2 \rightarrow ClO^{\cdot} + O.$$

Из наших кинетических исследований в CCl_4 расходование ClO_2 при окислении ДМСО при малых концентрациях диоксида хлора и избытка ДМСО протекает по первому порядку. Следовательно, можно предложить следующий механизм окисления, аналогичный окислению сульфидов до сульфоксидов (см. схему).



Заключение

Предложена схема взаимодействия диоксида хлора с ДМСО в тетрахлорметане. Установлено, что взаимодействие диоксида хлора с диметилсульфоксидом и термический распад протекают параллельно. Методом ЭПР изучена реакция термического распада диоксида хлора в тетрахлорметане. Установлено, что в тетрахлорметане термическое разложение диоксида хлора протекает по двум каналам. При малых концентрациях (< 0,02 моль/дм^3) наблюдается мономолекулярная реакция распада по первому порядку. При увеличении концентрации ClO_2 основным становится бимолекулярный механизм распада по реакции второго порядка. Опреде-

лены константы скорости термического распада диоксида хлора при малых концентрациях и константы скорости реакции с ДМСО.

Работа выполнена при поддержке РФФИ №13-03-98807 р_север_а. Исследования проводились с использованием оборудования ИКП «Химия» Института химии Коми НЦ УрО РАН.

Литература

1. *Ganiev I.M., Timergazin K.K., Kabalnova N.N. et. al.* Reactions of Chlorine Dioxide with Organic Compounds // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2005. Vol. 7. №1. P. 1–31.
2. *Kabalnova N.N., Grabovskiy S. A.* Interaction of the Chlorine Dioxide with Some Organic Compounds // In Chlorine: Properties, Application and Health Effects. Editor: Roger Mangione and Dana Carlyle. 2011. Nova Science Publishers, Inc.
3. *Рахманин Ю.А., Гоженко А.И., Мокиенко А.В., Петренко Н.Ф.* Диоксид хлора как средство оптимизации питьевой водоподготовки // Гигиена и санитария. 2007. Вып. 6. С. 3.
4. *Кучин А.В., Рубцова С.А., Судариков Д.В., Демакова М.Я.* Диоксид хлора в реакциях хемо- и стереоселективного окисления сульфидов // Изв. АН. Сер. хим. 2013. №1. С. 1–5.
5. *Гордон А., Форд Р.* Спутник химика. М.: Мир, 1976. С. 541.
6. *Masschelein W.J.* Chlorine Dioxide: Chemistry and Enviromental Impact of Oxychlorine Compounds., Ann Arbor Publishers, Inc. 1979. 418 с.
7. *Липин И. В., Демин В. А.* Кинетика реакции диоксида хлора с остаточным лигнином лиственной сульфатной целлюлозы // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2013. Вып. 4 (16). С. 21–24.
8. *Luther, Hoffman, Z.* Physical. Chem. Bodenstein-Festband, 1931. 755 с.
9. *Luther, Hoffman, Z.* Physical. Chem. Abt. A Bd, 1936. Heft 1. 177 s.
10. *Грицан В.И., Панфилов В.Н.* Определение стационарной скорости термического распада газообразной двуокиси хлора // Кинетика и катализ. 1975. Т. 16. Вып. 2. С. 316.

References

1. *Ganiev I.M., Timergazin K.K., Kabalnova N.N., Shereshovets V.V., Tolstikov G.A.*. Reactions of Chlorine Dioxide with Organic Compounds // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2005. Vol. 7. №1. P. 1–31.
2. *Kabalnova N.N., Grabovskiy S.A.* Interaction of the Chlorine Dioxide with Some Organic Compounds // In Chlorine: Properties, Application and Health Effects. Editor: Roger Mangione and Dana Carlyle. 2011. Nova Science Publishers, Inc.
3. *Rakhmanin Yu.A. Gozhenko A.I. Mokienko A.V. Petrenko N.F.* Dioksid hlora kak sredstvo optimizacii pit'evoj vodopodgotovki [Chlorine dioxide as a means of optimizing drinking water treatment] // Gigiena i sanitarija [Hygiene and sanitation]. 2007. Issue 6 P. 3.
4. *Kuchin A.V., Rubtsova S.A., Sudarikov D.V., Demakova M.Ya.* Dioksid hlora v reakcijah hemo- i stereoselektivnogo okislenija sul'fidov [Chlorine dioxide in reactions of chemo- and stereoselective oxidation of sulfides] // Izvestija Akademii Nauk. Serija Himicheskaja. [Proc. of Ac. Sci. Chemical series.] 2013. №1. P.1–5.
5. *Gordon A., Ford R.* Sputnik himika. [The chemist's companion]. Moscow: Mir, 1976. P. 541.
6. *Masschelein W.J.* Chlorine Dioxide: Chemistry and Enviromental Impact of Oxychlorine Compounds., Ann Arbor Publishers, Inc. 1979. 418 p.
7. *Lipin I. V., Demin V. A.* Kinetika reakcii dioksida hlora s ostatochnym ligninom listvennoj sul'fatnoj celljulozy [Kinetics of reaction of chlorine dioxide with residual lignin of hardwood sulphate pulp] // Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN [J. "Proceedings" of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS]. 2013. Issue 4 (16). P. 21-24.
8. *Luther, Hoffman, Z.* Physical. Chem. Bodenstein-Festband, 1931. 755 p.
9. *Luther, Hoffman, Z.* Physical. Chem. Abt. A Bd, 1936. Heft 1. 177 p.
10. *Gritsan V.I., Panfilov V.N.* Opredelenie stacionarnoj skorosti termicheskogo raspada gazoobraznoj dvuokisi hlora. [Determination of stationnary speed of thermal decomposition of gaseous chlorine dioxide] // Kinetika i kataliz. [Kinetics and Catalysis] 1975. Vol. 16. Issue 2. P. 316.

Статья поступила в редакцию 09.07.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 574.472

ON THE MOSS FLORA OF THE YUGYD VA NATIONAL PARK (MALYI PATOK RIVER BASIN, SUBPOLAR URALS)

G.V. ZHELEZNOVA, T.P. SHUBINA, S.V. DEGTEVA, Y.A. DUBROVSKY, T.N. PYSTINA

Institute of Biology, Komi Science Centre, UB RAS, Syktyvkar
zheleznova@ib.komisc.ru, tshubina@ib.komisc.ru, degteva@ib.komisc.ru, dubrovsky@ib.komisc.ru, pystina@ib.komisc.ru

An annotated list of mosses from the basin of the Malyi Patok River (Yugyd Va National park, Subpolar Urals) is presented. It includes 80 species from 43 genera and 22 families. Data on habitats of the mosses and brief description of natural conditions and main types of vegetation are given. The following rare and protected in the Komi Republic species are registered: *Ochyraea norvegica* (Bruch et al.) Ignatov et Ignatova, *Pohlia ludwigii* (Spreng. ex Schwdgr.) Broth. and *Polytrichastrum sexangulare* (Floerke ex Brid.) G. L. Sm.

Keywords: **mosses, the Malyi Patok River basin, Yugyd Va National Park, Subpolar Urals**

Г.В. ЖЕЛЕЗНОВА, Т.П. ШУБИНА, С.В. ДЕГТЕВА, Ю.А. ДУБРОВСКИЙ, Т.Н. ПЫСТИНА. **К ФЛОРЕ ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫХ МХОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЮГЫД ВА» (БАССЕЙН Р. МАЛЫЙ ПАТОК, ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

Представлены сведения об основных типах растительности и видовом составе листостебельных мхов труднодоступной части национального парка «Югыд ва» в пределах верхнего, среднего и нижнего течения р. Малый Паток (Приполярный Урал). Впервые приведен аннотированный список видов мхов, насчитывающий 80 видов из 43 родов и 22 семейств, включающий редкие и охраняемые в Республике Коми виды: *Ochyraea norvegica* (Bruch et al.) Ignatov et Ignatova, *Pohlia ludwigii* (Spreng. ex Schwdgr.) Broth., *Polytrichastrum sexangulare* (Floerke ex Brid.) G. L. Sm. Показана роль мохообразных в сложении напочвенного покрова растительных сообществ. Полученные данные расширяют представление о бриофлоре национального парка «Югыд ва», изученность которой к настоящему моменту оценивается как недостаточная.

Ключевые слова: **листостебельные мхи, река Малый Паток, национальный парк «Югыд ва», Приполярный Урал**

Introduction

The «Yugyd Va» National Park with the total area of about 1894,1 thousand ha is situated in the Subpolar and Northern Urals [1] and has the status of protected natural territory of Federal level. Analysis of the currently available information about the biological diversity of the natural complexes of the park suggests that its flora is investigated insufficiently. First data on the bryophytes of the Park were contained in the works of R.R.Pole [2]. Then the Sablya Mountain Range attracted the greatest attention of the botanists [3, 4, 5]. Since 2005 scientists from the Institute of Biology of the Komi Science Centre, Ural Branch, RAS, carry out detailed study of the bryoflora of the northern part of the Park. At present the leafy mosses of the «Yugyd Va» National Park includes 301 species of 110 genera and 37 families [6, 7]. This is 60 % of the entire moss flora of the Komi Republic. With obtaining of new data the list of mosses is periodically reconsidered. This paper contains research results of the bryoflora of the Malyi Patok River basin – a part of the underinvestigated southern area of the National Park.

Studies were carried out in 2005-2006 in the remote areas of the Malyi Patok River basin at the key sites in the upper, middle and lower reaches of the river (Figure). The studied landscapes being a part of the largest national protected area (NPA) of the Komi Republic – the Yugyd Va National Park, are not impacted by anthropogenic pressure. Plant communities develop in the regime of spontaneous dynamics. Natural successions in forest communities are disturbed by such exogenous factors as the impact of wind and fire. There are no significant areas of windfalls and burnt areas.

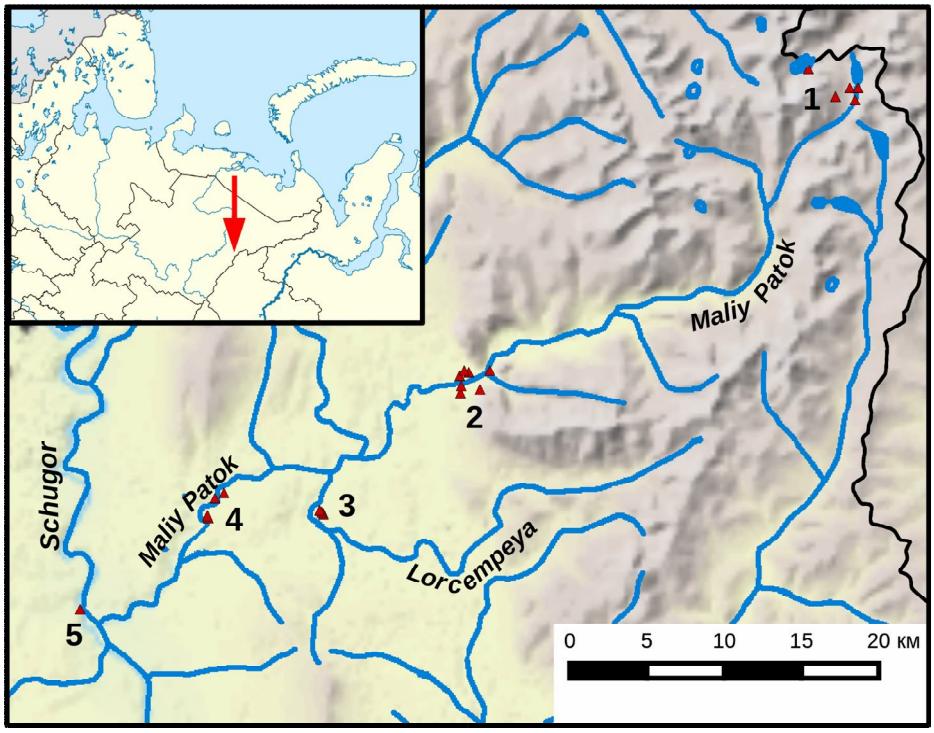


Figure. Study area and collecting localities in the Malyi Patok River basin (Yugyd va national park, Subpolar Urals).
Locality 1 – Vicinities of the lakes Patok and Bolshoye (64°28' N, 59°33' E); **Locality 2** – The Malyi Patok River, vicinities of environmental station «Uschelye» (64°18' N, 59°03' E); **Locality 3** – Mouth of the Lorcempeya River (64°14' N, 58°51' E); **Locality 4** – The Malyi Patok River, 7,3 km downstream the mouth of the Lorcempeya River (64°14' N, 58°42' E); **Locality 5** – Island in the riverbed of the Schugor River, 2 km downstream the mouth of the Malyi Patok River (64°10' N, 58°31' E).
▲ – Places of collecting of mosses.

The studied part of the Malyi Patok River basin is located in mountains and foothills of the Subpolar Urals. The river mainly flows in a narrow valley where the floodplain is often poorly expressed. The bottom of the river is covered by pebbles and rocks. Large rounded boulders brought by ancient glacier are often found in the riverbed. Water has low mineralization, clear and cold. River flow is fast. Riverbed meanders strongly and is characterized by alternating reaches and sand spits.

The region has severe climatic conditions. Average annual temperature – 3.5°C. The temperatures of the coldest month (January) often fall to – 40°C. During the warmest month (July) air temperatures may reach +25-30°C, but mean temperature + 14°C. The vegetation period lasts from 60 to 120 days with late spring early autumn frosts. On the highest mountain tops the stable snow cover forms since September and completely melts in May. Meridional Ural ridges redistribute precipitations brought by moist northwest winds. Annual precipitation is up to 1500 mm [8].

Mountain-taiga landscapes of the Subpolar Urals and northern taiga landscapes of its western foothills located in the middle and lower reaches of the Malyi Patok River basin belong to the Novozemelsky-Ural mountain country [9]. In mountain landscape area the absolute heights vary from 230 m (in the valley of the river Malyi Patok) to 600-1035 m (on the tops of ridges) above sea level. Altitudinal belts are presented by mountain stony belt, mountain tundra belt and mountain forest belt. Within rather small territory fragments of landscapes of stony deserts, mountain tundra, birch crooked forests of *Betula tortuosa* (nomenclature according to S.K. Cherepanov [10]), mountain dark coniferous forests are combined with complexes of mountain valleys drained by rivers and mountain streams. Mountain forest belt is formed by spruce (*Picea obovata*), fir-spruce (*Abies sibirica*) and, to a lesser extent, fir spruce-birch vegetation mainly of green moss type. High-grass and high-grass-moss dark coniferous forests developed along the streambed. *Larix sibirica* often occurs in the stands. Oligotrophic and mesotrophic mires occur at the foothills and on the terraces of the Malyi Patok River valley and its large tributaries, around mountain lakes marsh areas with peat deposits of the transitional and upland types are spread. For the river valleys small areas of high-grass meadows, birch and willow stands along the stream bed and interspersed with arrays of dark coniferous herb-green moss forests, are usual.

Foothills are covered by northern taiga landscape complexes of elevated ridges and large undulating depressions. Depressions are cut by valleys of semi-mountain rivers often swampy. Plateau-like tops of the highest ridges, pre-top terraces, extensive depressions within the plateau are occupied with stony gravels alternating with areas of mountain tundra, and in the depressions of the relief – small upland dwarf-

shrub grass-sphagnum mires with *Betula nana*. More low on the slopes the strip of foothill forests is located. Dark coniferous forests dominate here as in the mountain landscape zone. Stands are formed mainly by Siberian tree species – *Picea obovata* and *Abies sibirica*, *Pinus sibirica* and *Betula pubescens* often occur in the stands. At the watershed, forests alternate with hummock-ridge mires. Valleys of the rivers are covered by coniferous and birch forests and small meadows. Mesotrophic mires and spring bogs occur in the floodplains and depressed terraces.

Results and discussion

Vegetation of the river valley has high coenotical and species diversity. Communities from perennial herbs, spruce, birch and willow stands often of herbal type and mires establish here.

Thickets of *Petasites radiatus* changing by meadows are usual for shallow waters and towpath habitats of the Malyi Patok River and its largest tributary - the Lorcempeya River. *Fontinalis antipyretica* (nomenclature follows «Check-list of mosses of East Europe and North Asia»[11]) is the most common species in the Malyi Patok River. It often forms thickets on the bottom of shallow parts of the riverbed. This species is typical for the rivers of most regions of the Northern hemisphere and was registered in all the studied rivers of the Timan and the Urals. *Ochyraea duriusculaand* and *O. norvegica* were found on the flooded gravels. *Warnstorfia exannulata* was always found in the meander lakes. The following species occur along the water edge: *Philonotis fontana, Calliergonella lindbergii, Calliergon cordifolium, Pseudobryum cinclidioides, Warnstorfia exannulata, Brachythecium mildeanum, Brachythecium rivulare, Rhizomnium pseudopunctatum* and *Sphagnum riparium*. *Niphotrichum canescens* was found many times at dry sandbanks. This species is actively involved in overgrowth of sloping sandbanks as well as *Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens* and *Rhytidiadelphus subpinnatus*.

High grasses (*Calamagrostis purpurea, Phalaroides arundinacea*, and *Alopecurus pratensis*), herbs (*Aconitum septentrionale, Angelica archangelica, Cirsium hetrophyllum, Crepis sibirica, Filipendula ulmaria* and *Thalictrum minis*) and sedges (*Carex atherodes*) dominate in the meadow communities. *Climacium dendroides, Calliergonella lindbergii, Brachythecium mildeanum, Plagiomnium ellipticum, Pohlia wahlenbergii*, *Philonotis fontana* and species of genus *Bryum* are characteristic for floodplain meadows cenoses. *Calliergonella lindbergii* and *Aulacomnium palustre* grow in overwet places of the meadows. Meadows are not mowed down and so are gradually replaced by shrub and tree vegetation. We noted establishing of trees *Picea obovata*, *Betula pubescens* and shrubs (more often *Salix phylicifolia* and other *Salix* species) at many investigated meadows. But these trees and shrubs do not form a closed canopy. In a narrow valley of the Malyi Patok River woody plants are damaged or destroyed during the ice drift.

Birch forests from *Betula tortuosa* and *B. pubescens* are usual for the valley of the Malyi Patok River. Moss cover is underdeveloped, fragmented and has, as a rule, low total projective cover (1-5 %) under the canopy of herb birch forests. Inhibition of bryophytes in these plant communities is due to the dense herb cover and abundant annual leaves falling off trees and shrubs. In these ecosystems, mosses inhabit mainly such substrates as rotting wood, butts and trunks of living trees and small areas of soil. *Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens, Ptilium crista-castrensis* and *Rhytidiadelphus triquetrus* grow on soil in small clumps, *Plagiomnium ellipticum, Climacium dendroides* and *Brachythecium mildeanum* often grow in wet depressions (on the bottom of windfall hollows). Butts of trees are typical habitats for *Dicranum fuscescens, D. scoparium, Rhytidiadelphus subpinnatus, Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens, Ptilium crista-castrensis* and *Polytrichastrum alpinum.* Decaying fallen trunks, stumps and various wood residues in birch grass are entirely covered with mosses including species occurring only on floodplain ecotopes – *Dicranum montanum, Myrinia pulvinata* and *Pylaisia polyantha*. The last two are common epiphytes in the southern and middle taiga.

Herb-sphagnum birch forests associated with depressions on the terraces have similar moss diversity comparing with birch herb forests. We noted the increase and strengthening of the role of hygrophytes – *Brachythecium mildeanum, Sphagnum girgensohnii* and *S. majus.* Projective cover of mosses reached 80 %.

Moss layer in birch forests of green moss type emerging on the above the floodplain terraces in ecotopes with poor soils is formed by very few species – *Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens, Polytrichum commune, Dicranum scoparium.* Trunks of fallen trees and stumps are often covered by *Brachythecium* spp., *Dicranum scoparium, D. fuscescens, Sanionia uncinata, Polytrichum juniperinum,* and *Ptilium crista-castrensis.* Trunks of birch are covered by mosses only in the lower parts.

Moss cover of willows is underdeveloped and is mainly presented by narrow strips along the banks of the Malyi Patok River, streams and lakes and on the edges of mires. Projective cover of mosses varied from 5 to 30-40 %. Dominants are not clear, bryophytes grow fragmentarily and form clumps. The following Sphagnum mosses are abundant in willow communities in stream valleys on the swampy banks of lakes besides the typical taiga green mosses: *Sphagnum squarrosum, S. riparium, S. girgensohnii, S. capillifolium, S. magellanicum, S. angustifolium*, as well as the species tolerant to temporary flooding – *Calliergon cordifolium, C. giganteum, Straminergon stramineum, Calliergonella lindbergii, Aulacomnium palustre.*

Willow communities growing in conditions of flowing humidification show another species diversity of bryophites. Projective cover of mosses there increased and sometimes reached 60 %. Soil surface is covered by *Climacium dendroides, Plagiomnium ellipticum, Brachythecium rivulare, B. mildeanum* and *Philonotis fontana.* Rotting wood is covered by clumps from *San-*

ionia uncinata, Brachythecium mildeanum, Plagiomnium ellipticum, Rhythidiadelphus triquetrus, R. subpinnatus, Calliergonella lindbergii, Ptilium crista-cast-rensis, Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens, Dicranum fuscescens, D. scoparium and some other moss species. Moss cover is less developed in more drained sites (total projective cover 5-10 %). Such oligomesotrophic and mesotrophic species as *Pleurozium schreberi, Dicranum scoparium, D. fuscescens* and *Hylocomium splendens* were registered in these communities as well as the species preferring richer soils – *Rhodobryum roseum* and *Rhythidiadelphus triquetrus* growing on rotting wood, on the butts of trees and more rare on soil.

The core of floristic complex of vascular plants in dark coniferous forests in the valley of the Malyi Patok River is formed by the species typical for the taiga picea forests. *Gymnocarpium dryopteris* is the most constant and abundant among them. *Vaccinium myrtillus, Trientalis europaea, Maianthemum bifolium, Linnaea borealis, Dryopteris expansa, Rubus arcticus, Equisetum sylvaticum* and *Carex globularis* also have high constancy. Sufficiently high illuminance under the canopy of northern open spruce forests contributes to the growth of light-demanding marginal and meadow species. Many of them meet suitable conditions in valley spruce forests. *Calamagrostis purpurea, Chamae-nerion angustifolium, Cirsium heterophyllum, Geranium albiflorum, Solidago virgaurea, Veratrum lobelianum* are most constant species of these groups. Moss cover is dominated by green mosses. *Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi* are most abundant among them. *Ptilium crista-castrensis*, *Sanionia uncinata*, *Dicranum fuscescens* and species from genus *Brachythecium* usually grow on fallen stems and butts of trees. The role of sphagnum mosses, especially *Sphagnum girgensohnii*, increases with the increase in stagnant humidification.

Fir forests are located in the valley of the river and prefer sites with well drained soils. Moss cover is well developed and its total projective cover reaches 90 %. *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens* dominate here. Such common moss species as *Sanionia uncinata, Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens*, *Dicranum fuscescens*, *Ptilium crista-castrensis* and species from genus *Brachythecium* cover lower parts of tree stems, fallen trees and stumps. Roots and butts of trees in fir forests are covered by mosses growing on soil surface and rotting wood. Mosses-indicators of stagnant humidification are not abundant. We found *Polytrichum commune, P. strictum, Sphagnum girgensohnii* and *Calliergon cordifolium*.

Wetland complexes have high diversity in the valley of the Maliy Patok River. This is largely due to their different origin. A lot of lakes were formed in the valley during post-glacial time. Their overgrowth during the primary succession promoted the formation of mires. Most of mires are mesotrophic, sedge-sphag-num or cotton grass-sphagnum with stagnant humidification.

Cold springs are common in the valley of the river. Such ecotopes are also waterlogged, but there is fundamentally different structure of wetlands – herb-sphagnum-hypnum communities prevail here. *Paludella squarrosa, Helodium blandowii* and *Tomentypnum nitens* that grow on small elevations within the wetter sites or in moderately humid sites within the evtrophic mires are indicators of rich mineral nutrition of mires often associated with spring humidification. *Plagiomnium ellipticum, Pseudobryum cinclidioides, Climacium dendroides, Rhodobryum roseum, Warnstorfia exannulata,* species from genus *Calliergon,* and sphagnum mosses – *Sphagnum girgensohnii, S. squarrosum* and *S. riparium* are abundant at the edges of lowland bogs. Species of the mosses less selective to the soil richness are found near the central part of the bogs – *Aulacomnium palustre, Sphagnum angustifolium.* Such forest species as *Hylocomium splendens, Rhythidiadelphus triquetrus* and *Ptilium crista-castrensis* grow on rotting wood and butts of trees at the edges of the bogs.

Lower part of mountain slopes and slopes of moraine hills and river terraces at altitudes 200-250 m above sea level are covered mainly by spruce-fir, fir and spruce-birch forests of green moss type. Herb-dwarf shrub layer is well developed and dense. Its species composition widely varies depending on conditions of the habitats. The most abundant species are *Vaccinium myrtillus* and *Gymnocarpium dryopteris*, in moss cover – *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens* as well as *Aulacomnium palustre, Polytrichum commune, Sphagnum girgensohnii*, *Sanionia uncinata, Dicranum fuscescens, Ptilium crista-castrensis* and species from genus *Brachythecium* grow on rotting wood and butts of trees.

Spruce and fir-spruce forests of herb type occur in water flow depressions. *Dryopteris expansa* dominates in herb-dwarf shrub layer of such communities. Other species that demand to richness and humidification of soil increase their abundance comparing with species typical for spruce green moss forests: *Angelica archangelica, Athyrium filix-femina, Cirsium heterophyllum, Crepis paludosa, Geranium albiflorum, Milium effusum, Phegopteris connectilis, Rubus chamaemorus* and *Stellaria bungeana*. Mosses cover up to 30 % of soil surface. *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* and *Plagiomnium ellipticum* are most abundant on soil, on fallen trees – species from genus *Brachythecium*. *Calliergon richardsonii, Pohlia wahlenbergii, Plagiomnium ellipticum, Rhizomnium magnifolium, Brachythecium mildeanum* and *Sphagnum russowii* occur on soil in the overlogged sites.

Brachythecium rivulare, Calliergon cordifolium, Rhizomnium pseudopunctatum, Bryum weigellii, Climacium dendroides and *Warnstorfia exannulata* are often registered in overlogged depressions in spruce herb-sphagnum forests in the valleys of the streams. Sphagnum mosses can also form closed cover on the soil surface: *Sphagnum capillifolium, S. squarrosum* and *S. russowii*. Total projective cover of the mosses reached 75–80 %. Butts of stems of spruce and birch are often covered by *Climacium dendroides, Pleurozium schreberi, Hylocomium splendens, Sanionia uncinata, Rhythidiadelphus subpinnatus, Aulacomnium palustre, Sphagnum capillifolium* and some other species. *Pleurozium schreberi, Sanionia uncinata, Dicranum fuscescens* and *Hylocomium splendens* cover stumps and fallen trees.

Birch-spruce and spruce forests of green moss-sphagnum type are common on the watersheds in

List of mosses species of the Malyi Patok River basin (Yugyd Va National Park, Subpolar Urals)

№/№	Species	Collecting localities*	Habitats	Geographical element	Ecological element
1.	*Andreaea rupestris* Hedw.	**1**	on stones	aa	mx
2.	*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr	**1, 2, 3, 4**	sedge-herb-sphagnum mires and spring bogs; spruce-birch sedge-sphagnum forest, on tussocks; floodplain willow community	b	hg
3.	*Bartramia ithyphylla* Brid.	**1**	vicinities of the lake, along the water's edge	aa	m
4.	*Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp.	**2, 3**	floodplain birch forest, herb-moss spruce forest, on soil	b	mhg
5.	*Brachythecium rivulare* Bruch et al.	**1**, **2, 3, 4**	birch-spruce herb-grass forest near the stream, on stones; large herb-moss spruce forest; stony herb-sedge-moss towpath community with streams; on bank of the stream	b	hg
6.	*Bryum weigelii* Spreng.	**1, 2**	birch-spruce herb-grass forest near the stream, on stones; on the bank of the stream	b	hg-hd
7.	*Bucklandiella heterosticha* (Hedw.) Bednarek-Ochyra et Ochyra	**1**	near the stream, open willow stand of grass-herb green moss type; vicinities of the lake, on stones	m	mhg
8.	*Bucklandiella sudetica* (Funck) Bednarek-Ochyra et Ochyra	**1**	near the stream, open willow stand of grass-herb green moss type; vicinities of the lake, along the water's edge	aa	mhg
9.	*Calliergon* cordifolium (Hedw.) Kindb.	**1**	on the bank of the stream	b	hg
10.	*Calliergon richardsonii* (Mitt.) Kindb.	**3**	spruce herb-moss forest, on soil	ham	hd
11.	*Calliergonella cuspidata* (Hedw.) Loeske	**4**	stony herb-sedge-moss towpath community with streams	b	hd
12.	*Calliergonella lindbergii* (Mitt.) Hedenäs	**3, 4, 5**	stony towpath communities	b	hg
13.	*Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr	**2, 4, 5**	floodplain birch forest, stony herb-sedge-moss towpath community with streams; island in the watercourse, upstream the towpath	b	hgm
14.	*Codriophorus aquaticus* (Brid. ex Schrad.) Bednarek-Ochyra et Ochyra	**1**	vicinities of the lake, along the water's edge; near the river, swampy site, dwarf shrub community dominated by willow and *Betula nana*	m	hd-hg
15.	*Dicranella grevilleana* (Brid.) Schimp.	**3**	towpath communities	ham	m
16.	*Dicranum acutifolium* (Lindb. et Arnell) C. E. O. Jensen	**1**	vicinities of the lake, along the water's edge	aa	m
17.	*Dicranum scoparium* Hedw.	**3**	bilberry-fern green moss spruce forest, on soil; bilberry-fern green moss spruce-birch forest, on soil	ham	m
18.	*Dicranum flexicaule* Brid.	**1**	near the river, swampy site, dwarf shrub community dominated by willow and *Betula nana*	b	m
19.	*Dicranum fuscescens* Turner	**1, 2**	bedrock bank of the lake, on the butt; birch-spruce herb-grass forest near the stream, on stones; floodplain willow stand	b	m
20.	*Dicranum montanum* Hedw.	**2**	floodplain birch forest	b	m
21.	*Dicranum polysetum* Sw.	**3**	bilberry-fern green moss spruce forest, on soil	b	m
22.	*Dicranum spadiceum* J. E. Zetterst.	**1**	near the river, swampy site and on the bank of the stream, dwarf shrub community dominated by willow and *Betula nana*	aa	m
23.	*Fontinalis antipyretica* Hedw.	**4**	stony herb-sedge-moss towpath community with streams	m	hd
24.	*Helodium blandowii* (F. Weber et D. Mohr) Warnst.	**2, 3, 4**	sedge-herb-sphagnum mires with streams; valley spruce forest	ham	hg
25.	*Hygrohypnella ochracea* (Turner ex Wilson) Ignatov et Ignatova	**1**	along the water's edge, flooded sites	ham	hd
26.	*Hylocomiastrum pyrenaicum* (Spruce) M. Fleisch	**1**	vicinities of the lake	m	hgm
27.	*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.	**1**, **2**	birch-spruce herb-grass forest near the stream, on stones; on the bank of the lake	b	m
28.	*Hymenoloma crispulum* (Hedw.) Ochyra	**1**	vicinities of the lake, along the water's edge; near the waterfalls	aa	hgm

29.	*Kiaeria starkei* (F. Weber et D. Mohr) I. Hagen	**1**	vicinities of the lake, near the stream, open willow stand of grass-herb green moss type; on the bank of the stream and along the water's edge; near the waterfalls	aa	hgm
30.	*Myrinia pulvinata* (Wahlenb.) Schimp.	**2**	floodplain birch forest	nm	hgm
31.	*Niphotrichum canescens* (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra	**1**	on the bank of the stream	m	mx
32.	*Ochyraea duriuscula* (De Not.) Ignatov & Ignatova	**1**	in the water and on stones	aa	hd
33.	*Ochyraea norvegica* (Bruch et al.) Ignatov & Ignatova	**1**, **2**	birch-spruce herb-grass forest near the stream, on stones; in the water, on stones	aa	hd-hg
34.	*Paludella squarrosa* (Hedw.) Brid.	**2, 3**	sedge-sphagnum mire with streams	ham	hd-hg
35.	*Palustriella decipiens* (De Not.) Ochyra	**4**	stony herb-sedge-moss towpath community with streams	m	hd-hg
36.	*Philonotis caespitosa* Jur.	**1**	on the bank of the stream; flooded sites on the bank of the lake; near the waterfalls	b	hg
37.	*Philonotis fontana* (Hedw.) Brid.	**4**	stony herb-sedge-moss towpath community with streams	b	hg
38.	*Philonotis tomentella* Molendo	**1**	near the stream, open willow stand of grass-herb green moss type; on the bank of the lake	aa	hg
39.	*Plagiomnium ellipticum* (Brid.) T. J. Kop.	**1**, **2, 3, 4**	floodplain birch forests, birch-spruce and spruce herb-moss forests, on soil, on stones; stony towpath with streams; floodplain willow stand	b	hgm
40.	*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.	**2**	birch-spruce herb-grass forest near the stream, on stones; bedrock bank of the lake, on butts of trees	b	m
41.	*Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb.	**1**	on the bank of the lake	b	m
42.	*Pohlia ludwigii* (Spreng. ex Schwägr.) Broth.	**1**	near the stream, open willow stand of grass-herb green moss type; along the water's edge	m	m
43.	*Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb.	**1**	on the bank of the lake	b	m
44.	*Pohlia wahlenbergii* (F. Weber et D. Mohr) A. L. Andrews	**1, 3**, **4**	stony herb-sedge-moss towpath community with streams; spruce herb-moss forest, on soil; open willow grass-herb green moss community near the stream; on the bank of the stream, along the water's edge; in the water, on stones, in flooded sites	ham	hg-hd
45.	*Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G. L. Sm.	**1, 2**	floodplain birch forest; open willow grass-herb green moss community near the stream	aa	m
46.	*Polytrichastrum sexangulare* (Floerke ex Brid.) G. L. Sm.	**1**	on the bank of the stream and along the water's edge, on stones; near the waterfalls	aa	m
47.	*Polytrichum commune* Hedw.	**1**, **2**	floodplain birch forest; on the bank of the stream	b	hgm
48.	*Polytrichum juniperinum* Hedw.	**1**	swampy site, dwarf shrub community dominated by willow and *Betula nana*	b	xm
49.	*Polytrichum piliferum* Hedw.	**1**	on the bank of the stream and along the water's edge	b	mx
50.	*Polytrichum strictum* Brid.	**2**	spruce-birch sedge-sphagnum forest, on hummocks	b	hgm
51.	*Pseudobryum cinclidioides* (Huebener) T. J. Kop.	**3, 4**	floodplain spruce and birch-spruce herb-moss forests; stony herb-sedge-moss towpath community with streams	ham	hd-hg
52.	*Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.	**2**	bedrock bank of the lake, on butts of trees	b	m
53.	*Pylaisia polyantha* (Hedw.) Bruch et al.	**2**	floodplain forest, on stems of trees	nm	m
54.	*Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid.	**1**	along the water's edge	aa	xm
55.	*Rhizomnium magnifolium* (Horik.) T. J. Kop.	**3**	spruce herb-moss forest	ham	hgm
56.	*Rhizomnium pseudopunctatum* (Bruch et Schimp.) T. J. Kop.	**2**	birch-spruce herb-grass forest near the stream, on stones	ham	hg
57.	*Rhodobryum roseum* (Hedw.) Limpr.	**2**	birch-spruce herb-grass forest, herb-moss forest, on soil	b	m
58.	*Rhytidiadelphus subpinnatus* (Lindb.) T. J. Kop.	**2**	floodplain birch and spruce-birch herb-grass forests, on soil, on stones	b	m

59.	*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.	**5**	island in the watercourse, on soil	b	m
60.	*Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb.	**5**	island in the watercourse, on stones	ham	xm
61.	*Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske	**2**	floodplain birch forest; bedrock bank of the lake, on butts of trees	b	m
62.	*Sphagnum angustifolium* (C. E. O. Jensen ex Russow) C. E. O. Jensen	**2, 3**	sphagnum mires, on hummocks, in swampy hollows; spruce-birch swampy and valley spruce forests, on hummocks	b	hg
63.	*Sphagnum balticum* (Russow) C. E. O. Jensen	**2**	spruce-birch sedge-sphagnum forest, on hummocks	b	hg
64.	*Sphagnum capillifolium* (Ehrh.) Hedw.	**2, 3, 4**	sphagnum mire, spring bog, on hummocks, in swampy hollows; birch-spruce herb-grass forest, herb-moss forest, floodplain spruce forest, on stones, on hillocks	b	hg
65.	*Sphagnum centrale* C. E. O. Jensen	**3**	watershed mire dominated by *Eriophorum*, *Carex* and mosses, in swampy hollows	b	mhg
66.	*Sphagnum flexuosum* Dozy et Molk.	**2**	hummock-ridge sphagnum mire, on hillocks	b	hg
67.	*Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr.	**2**	spruce-birch sedge-sphagnum forest, on hillocks; hummock-ridge sphagnum mire, on hillocks	b	hg
68.	*Sphagnum girgensohnii Russow*.	**1, 2, 3, 4, 5**	spruce-birch herb-grass forest, on soil; spruce dwarf shrub green moss forest, on soil; birch-spruce dwarf shrub sphagnum forest near the mire, on soil; birch-spruce fen green moss forest, on soil; edge of lowland bog; on the bank of the stream; near the waterfalls	b	hg
69.	*Sphagnum jensenii* H. Lindb.	**3**	floodplain spruce forest; watershed mire dominated by *Eriophorum*, *Carex* and mosses, in swampy hollows	ha	hd
70.	*Sphagnum lindbergii* Schimp.	**1**	on the bank of the lake	ha	hg
71.	*Sphagnum magellanicum* Brid.	**2, 3**	sedge-sphagnum mire, spruce-birch sedge-sphagnum forest, valley spruce forest, on soil, on hillocks	b	hg
72.	*Sphagnum majus* (Russow) C. E. O. Jensen	**2**	hummock-ridge sphagnum mire, on hillocks	b	hd
73.	*Sphagnum riparium* Angstr.	**2**	hummock-ridge sphagnum mire, on hillocks	b	hg-hd
74.	*Sphagnum russowii* Warnst.	**2, 3, 4**	sphagnum mires; birch-spruce herb-grass forest near the stream; spruce herb-moss forest, on stones, on hillocks	b	hg
75.	*Sphagnum squarrosum* Crome	**4**	birch-spruce herb-moss	b	hd
76.	*Sphagnum teres* (Schimp.) Ángstr. ex Hartm.	**4**	herb-sphagnum mire	b	hg
77.	*Sphagnum warnstorfii* Russow	**1**	on the bank of the lake	b	hg
78.	*Straminergon stramineum* (Dicks. ex Brid.) Hedenäs	**1, 2, 3, 4**	spruce-birch sedge-sphagnum forest, on hillocks, watershed swampy mire dominated by *Eriophorum*, *Carex* and mosses, in swampy hollows; stony herb-sedge-moss towpath community with streams; on the bank of the stream, on the bank of the lake, along the water's edge, in flooded sites	b	hg-hd
79.	*Tomentypnum nitens* (Hedw.) Loeske	**2, 3**	sedge-sphagnum mire, spring bog	ham	hg
80.	*Warnstorfia exannulata* (Bruch et al.) Loeske	**1, 3, 4**	watershed swampy mire dominated by *Eriophorum*, *Carex* and mosses, swampy hollows; birch-spruce herb-moss forest, valley spruce forest; stony herb-sedge-moss towpath community with streams; open willow grass-herb green moss community near the stream; on the bank of the lake; near the waterfalls	b	hg-hd

Geographical element: aa – arctic-alpine, b – boreal, m – mountain, ha – hypoarctic, ham – hypoarcto-montain, nm – nemoral.
Ecological element: hd – hydrophyte (гидрофит), hd-hg – hydro-hygrophyte (гидрогигрофит), hg – hygrophyte (гигрофит), hg-hd – hygro-hydrophyte (гигрогидрофит), hgm – hygromesophyte (гигромезофит), xm – xeromesophyte (ксеромезофит), m – mesophyte (мезофит), mhg – mesohygrophyte (мезогигрофит), mx – mesoxerophyte (мезоксерофит).
*Collecting localities are given in figure

habitats with stagnant humidification for example at the edges of mires. These communities have well developed herb-dwarf shrub layer, but not as diverse as in herbal or herb-sphagnum forests. The main dominants of such communities are *Vaccinium myrtillus* and *Chamaepericlimenum suecicum* as well as *Equisetum sylvaticum* and *Gymnocarpium dryopteris*. Other species mostly belonging to the "spruce" eco-coenotical group are found with low abundance. Mosses cover 40-50 % of soil surface. Large clumps of *Sphagnum girgensohnii* interchange with clumps of green mosses dominated by *Pleurozium schreberi*.

Flat and depressed areas of the watersheds are characterized by overlogging that result in inundating of different intensity. In such sites, spruce forests of green moss-sphagnum and herb-hypnum types are mixed with arrays of hummock-ridge mesotrophic mires. Dwarf shrubs in lower layers are displaced by hydrophilous herbs (*Calamagrostis purpurea*, *Equisetum sylvaticum, Carex globularis, C. cespitosa, Filipendula ulmaria, Bistorta major* and *Ranunculus repens*). *Polytrichum commune, Plagiomnium ellipticum* and sphagnum mosses increase their coenotical role.

Mires can be open or afforested. Single stagheaded trees *Betula pubescens*, *Picea obovata и Pinus sibirica* were noted at the edges of mires. Central parts of mires are often treeless. Shrub layer is well developed in the elevated sites and dominated by *Betula nana* with mixture of *Salix lapponum* and *S. myrtilloides*. Dwarf shrub-herb layer is often dominated by *Carex rostrata* or *C. lasiocarpa*. *Oxycoccus palustris*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium uliginosum* and *Empetrum hermaphroditum* are also abundant. Moss layer is dominated by sphagnum mosses. The most common dominant is *Sphagnum angustifolium*. The following species can be met in sites with average humidification as well as on the elevated sites (often near stems of *Betula nana*): *Sphagnum angustifolium, S. fuscum, S. magellanicum, S. capillifolium, S. russowii, Aulacomnium palustre, Straminergon stramineum, Polytrichum commune* and *P. strictum,* rarely – *Sphagnum. flexuosum.* All the species also grow in watered depressions where they form closed moss cover with *Sphagnum jensenii, S. majus, S. flexuosum, Straminergon stramineum, Warnstorfia exannulata* and *Polytrichum commune.* Swampy hollows are filled with water. Herb layer is not as dense as on the ridges. *Carex limosa*, *C. paupercula*, *Eriophorum russeolum*, *Scheuchzeria palustris* and *Menyanthes trifoliata* are the most abundant species here. Such species as *Carex chordoriza*, *C. elongata*, *Cicuta virosa*, *Drosera anglica* and *Pedicularis palustris* are common in the depressions of relief. Hummocks up to 60 cm in height are formed mostly by *Sphagnum fuscum* with a mixture of *S. angustifolium, S. magellanicum, S. capillifolium, S. russowii, Polytrichum strictum, Aulacomnium palustre* and *Straminergon stramineum*. Species diversity of mosses growing on rotting wood is lower in mesotrophic and oligotrophic mires comparing with lowland bogs. This substrate is mainly covered by *Pleurozium schreberi, Polytrichum strictum* and *Pohlia nutans.*

The Lake Patok is located in the upper course of the Malyi Patok River at 770 m above sea level where mountain stony belt and mountain tundra belt occur. Stony gravels are common here. Among them, dwarf shrub-moss-lichen tundra communities can be met. The most common mosses of these tundra communities are *Hylocomium splendens, Pleurozium schreberi, Racomitrium lanuginosum, Polytrichum piliferum* and *Dicranum fuscescens*. Shrub tundra communities from *Betula nana* and Salix are spread in lower parts of the slopes, saddles and valleys. *Pleurozium schreberi, Sanionia uncinata, Sphagnum russowii, S. squarrosum, Aulacomnium palustre, Warnstorfia exannulata* dominate in moss cover. *Dicranum spadiceum, Kiaeria starkei, Rhizomnium pseudopunctatum, Pohlia wahlenbergii* and *Polytrichastrum alpinum* are also often. Grass-herb meadow communities cover banks of the rivers and streams in the valleys and on the slopes. These sites are often inhabited by *Brachythecium rivulare, Bryum weigelii, Calliergonella lindbergii, Climacium dendroides* and *Kiaeria starkei*. Species composition of mosses of spring bogs and towpaths is similar and presented by *Climacium dendroides, Helodium blandowii, Tomentypnum nitens, Paludella squarrosa, Palustriella decipiens, Brachythecium rivulare, Calliergonella cuspidata, Pseudobryum cinclidioides, Pohlia wahlenbergii* and *Warnstorfia exannulata*. Small arrays of mesotrophic and oligotrophic mires are located at foothills and on the terraces of the river Nyamga. Here *Sphagnum russowii, Sphagnum capillifolium, S. angustifolium* and *Aulacomnium palustre,* on the hummocks – *S. fuscum,* in hollows – *S. jensenii, S. majus* are abundant.

The annotated list of mosses from the basin of the Malyi Patok River includes 80 species from 43 genera and 22 families (Table).

Studies of eco-coenotical structure of mosses showed the highest taxonomic diversity in forest communities – 55 species. The largest number of the mosses was revealed in spruce forests – 49, in communities of green moss type 8 species were found, in forests of herb type – 13 species. 42 species were registered in willow communities, 21 species – in birch forests and 16 species – in fir forests. Epigeos of ground mosses are common in all the studied forests. 42 moss species were found in mires, 13 species – in meadows.

The discovered moss species are divided into nine groups relative to the humidity of the substrate. Most of the species belong to two groups – mesophytes (22 species or 27,5 %) and hygrophytes (21 species or 26,2 %).

Boreal moss species are the most abundant in the Malyi Patok River basin (44 species or 55 %). They are dominants of soil surface cover in many vegetation communities. Soil surface cover in spruce and deciduous forests of green moss and herb types are dominated by *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens*, green moss-sphagnum – *Sphagnum girgensohnii* and *Pleurozium schreberi*, herb-sphagnum – *Plagiomnium ellipticum*, *Sphagnum girgensohnii* and *S. squarrosum*, meadows – *Climacium dendroides* and *Plagiomnium ellipticum*, towpath communities – *Calliergonella lindbergii* and *Calliergon cordifolium*, spring bogs and mesotrophic mires – *Sphagnum capillifolium* and *Sphagnum russowii*.

Arcto-alpine species present 16,3 % of the list (13 species), hypoarctic-mountain species – 15 % or 12 species. Mountain species are not numerous, amount 8,7 % (7 species) and prefer stony substrates in the riverside habitats. Hypoarctic and nemoral elements are not abundant and are presented by 2 species in both cases.

Three species of the mosses found in the basin of the Malyi Patok River are included in the Red Data Book of the Komi Republic [12]. The finding of these species adds new information about distribution of these species in the Komi Republic. For example, *Ochyraea norvegica* was found earlier only in the basins of the Ilych river, the Elima river (Northern Urals). The species is included in the Red Data Book of European bryophytes [13]. *Pohlia ludwigii* is known from the literature on the Telpos-is ridge [2] and mountain Narodnaya [5]; it also was found in the basins of the rivers Ilych (Northern Urals) and Voyvozh Synya (Subpolar Urals). *Polytrichastrum sexangulare* was earlier collected on the mountain Otorten (Northern Ural) and the Maldynyrd ridge (Subpolar Urals).

Moreover, in riverside and mountain habitats of the basin of the Malyi Patok River, several rare for the Komi Republic species were collected – *Bartramia ithyphylla, Calliergon richardsonii, Codriophorus aquaticus, Dicranella grevilleana, Hymenoloma crispulum, Ochyraea norvegica, Polytrichastrum alpinum*.

Bryoflora of the basin of the Malyi Patok River shows low species diversity of the mosses that is connected mainly with the lack of data due to the remoteness of the territory. The data obtained extend our understanding of the flora and vegetation cover of the "Yugyd Va" National Park which is currently being assessed as insufficient and makes a significant contribution to the study of the bryoflora of the Komi Republic and Russia.

Acknowledgements

We are grateful to Dr. I. Chadin for preparing the map.

References

1. *Kadastr* osobo ohranjaemyh prirodnyh territorij Respubliki Komi. [The cadastre of specially protected natural territories of the Republic of Komi]. Syktyvkar: IB Komi SC UB RAS, 2014. 428 p.
2. *Pole R.R.* Materialy dlja poznanija rastitel'nosti severnoj Rossii. K flore mhov severnoj Rossii [Materials for knowledge of the vegetation of Northern Russia. To the flora of mosses of the North of Russia]. Petrograd: The Printing House of Mattisen, 1915. 148 p. (Proc. of the Imperial Botanic garden of Peter the Great. Vol. 33. Issue 1.)
3. *Tsinzerling Y. D.* Ocherk rastitel'nosti massiva Sabli [The vegetation of the array of the ridge Sablya] // The Urals. The Subpolar regions. Leningrad: Editorial and publishing Department of the CUEGMS, 1935. P.75–86. (Transact. of the Glacial expeditions. Issue IV).
4. *Gorchakovskiy P. L.* Rastitel'nost' hrebta Sabli na Pripoljarnom Urale [The vegetation of the ridge ridge Sablya, Subpolar Urals] // The vegetation of the Far North of the USSR and its exploration. Moscow-Leningrad: USSR Ac. Sci., 1958. Vol. 3. P. 95–127.
5. *Dyachenko A.P.* Flora listostebel'nyh mhov Urala [The moss flora of the Urals]. Ekaterinburg: Ural Univ., 1997. Pt.1. 264 p.
6. *Shubina T.P.* Mhi. [The mosses] // The basin of the river Malyi Patok: wildlife. Syktyvkar: Parus. 2007. P. 85–96.
7. *Zheleznova G.V., Shubina T.P., Panova V.D.* Listostebel'nye mhi nacional'nogo parka «Jugyd va». [The mosses of the Yugyd Va National Park] // Materials of the II Conference «The biodiversity of the ecosystems of the Far North: inventory, monitoring, protection». Syktyvkar, 3–5 June, 2013. Syktyvkar: IB Komi SC UB RAS, 2013. P. 92–95.
8. *Atlas* po klimatu i gidrologii Respubliki Komi [The Atlas of climate and hydrology of the Komi Republic]. Moscow: Drofa, DiK, 1997. 116 p.
9. *Atlas* Komi ASSR [Atlas of the Komi ASSR]. Moscow: Main administration of geodesy and cartography of the state geological Committee of the USSR, 1964. 112 p.
10. *Cherepanov S.K.* Sosudistye rastenija Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelah byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and adjacent countries within the former USSR]. St.-Petersburg: Peace and family, 1995. 992 p.
11. *Check-list* of mosses of East Europe and North Asia / M.S. Ignatov, O.M. Afonina, E.A. Ignatova et al. // Arctoa, 2006. Vol. 15. P. 1–130.
12. *Krasnaja kniga* Respubliki Komi [Red Data Book of the Komi Republic]. Syktyvkar: Komi Republican printing house, 2009. 791 p.
13. *Red Data* Book of European bryophytes. Trondheim: European Committee for the Conservation of Bryophytes (ECCB), 1995. 291 p.

Литература

1. *Кадастр* особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2014. 428 с.
2. *Поле Р.Р.* Материалы для познания растительности северной России. К флоре мхов северной России. Петроград: Типография Маттисена, 1915. 148 с. (Тр. Имп. Ботан. сада Петра Великого. Т. 33. Вып. 1.)
3. *Цинзерлинг Ю.Д.* Очерк растительности массива Сабли// Урал. Приполярные районы. Л.: Редакционно-издательский отдел ЦУЕГМС, 1935. (Тр. Ледниковых экспедиций. Вып. IV). С. 75–86.
4. *Горчаковский П.Л.* Растительность хребта Сабли на Приполярном Урале // Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение. М.-Л.: АН СССР, 1958. Вып. 3. С. 95–127.
5. *Дьяченко А.П.* Флора листостебельных мхов Урала. Екатеринбург: Уральск. ун-т, 1997. Ч.1. 264 с.

6. *Шубина Т.П.* Мхи // Бассейн реки Малый Паток: дикая природа. Сыктывкар: Parus, 2007. С. 85-96.
7. *Железнова Г.В., Шубина Т.П., Панова В.Д.* Листостебельные мхи национального парка «Югыд ва»//Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: доклады II Всероссийской конференции. (Сыктывкар, 3-5 июня 2013 г.). Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2013. С. 92–95.
8. *Атлас* по климату и гидрологии Республики Коми. М.: Дрофа, ДиК, 1997. 116 с.
9. *Атлас* Коми АССР. М.: Главное управление геодезии и картографии государственного геологического комитета СССР, 1964. 112 с.
10. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
11. *Check-list* of mosses of East Europe and North Asia / M.S. Ignatov, O.M. Afonina, E.A. Ignatova et al. // Arctoa, 2006. Vol. 15. P. 1–130.
12. *Красная книга* Республики Коми. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2009. 791 с.
13. *Red Data* Book of European bryophytes. Trondheim: European Committee for the Conservation of Bryophytes (ECCB), 1995. 291 p.

Статья поступила в редакцию 10.06.2015.

УДК 574.5/.6:556.53(211.7)(98)

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУНДРОВОЙ РЕКИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

О.А. ЛОСКУТОВА, О.Н. КОНОНОВА

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

По результатам исследований 2013 г. в бассейне р. Черная описаны видовой состав, количественные характеристики и структура сообществ зоопланктона и зообентоса. Исследованиями охвачено основное русло р. Черная в нижнем течении, ее притоки, озера и небольшие тундровые водоемы. Выявлены доминантные группы и виды. Показано высокое разнообразие и количественное развитие гидробионтов в небольших тундровых водоемах по сравнению с реками и озерами.

Ключевые слова: **Арктика, реки, озера, зоопланктон, зообентос**

O.A. LOSKUTOVA, O.N. KONONOVA. **HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF A TUNDRA RIVER OF THE EAST EUROPEAN ARCTIC REGION**

Species composition, quantitative development and community structure of zooplankton and zoobenthos of the Chernaya River Basin were studies in 2013. Studies covered the main channel of the Chernaya River in the lower reaches, its tributaries, lakes and small tundra water bodies. In the composition of zooplankton in the Chernaya river basin 52 species were identified. The most diverse in the water bodies were rotifers – 36 species and forms. Cladocera and Copepoda were less significant, and presented by the similar number of species and forms. The basis of the fauna of copepods made Cyclopoidae, among which the most interesting is *Cyclops sibiricus*, arctic species characteristic of small cold-water bodies. Among Calanoidae the usual for arctic zone *Heterocope borealis*, and *Arctodiaptomus (Rh.) bacillifer*, eurytopic species, reaching high abundance in cold-water bodies and in water bodies with high water salinity were met. Cladocerans were represented mainly by species of the families Daphniidae, Chydoridae and Bosminidae. The most rich planktonic fauna was in lakes and small water bodies, the least – in one of the tributaries.
The most abundant zooplankton communities developed in small, overgrown water bodies, in which abundance and biomass reached significant values.
Benthic communities of streams also were not rich in quantitative development. The average number and biomass of zoobenthos in water bodies were higher than in streams. The most diverse benthic fauna was registered in shallow tundra ponds, in which 22 major taxa of aquatic organisms were met. On larger lakes, tributaries and the Chernaya River number of taxa did not exceed 18-19. Amphibiotic insects, primarily dipterans (chironomids and black-flies) were the main share in aquatic communities. Only on the sandy bottom in the Chernaya riverbed nematodes dominated. Higher share of chironomids in the biomass of the zoobenthos of the river was observed when moving from the top point of research to the mouth. In the mouth section of the Chernaya River the bottom fauna is enriched by polychaetes and isopods. The availability of Phyllopoda – *Polyartemia forcipata* and *Branchinecta paludosa*, Conchostraca *Cyzicus tetraceus* is the characteristic feature of the Arctic waters.

Keywords: **Arctic, rivers, lakes, tundra water bodies, zooplankton, zoobenthos**

Введение

Доминантным признаком многих полярных ландшафтов является большое разнообразие и многочисленность постоянных и временных поверхностных вод. Для Арктики характерно сезонное изменение освещенности, своеобразие термических условий водоемов, обусловленное продолжительностью ледостава, частым промерзанием их до дна, низкими средними температурами воды и резкими ее колебаниями, низкой солнечной радиацией [1].

Реки арктической и субарктической зон являются местом нереста и нагула ценных видов рыб, которые получают доступ к многочисленным пище-

вым ресурсам прилегающих озер и притоков. Анадромные виды рыб мигрируют по речному коридору в океан. Бассейны арктических рек являются также местом воспроизводства многих видов птиц. Богатые местообитания для водных растений и животных предоставляют арктические пойменные и термокарстовые озера.

В то же время в пределах бассейнов этих рек ведутся разведка, добыча и транспортировка нефтеуглеводородов, газа и другие работы, которые могут привести к нарушению гидрологического и гидробиологического режимов и сложившихся экологических условий в регионе.

Одной из причин изучения арктических рек является ускоренное изменение полярного региона из-за глобального потепления климата. Пресные воды, несущие в Северный Ледовитый океан потоки седиментов и растворенных веществ, имеют огромное значение для прогнозирования изменений в мировом масштабе [2]. Совместное воздействие климатических трансформаций и загрязнение окружающей среды привели к возрастающему воздействию на основные биологические, геохимические и физические процессы в пресноводных экосистемах Севера. Происходит изменение скорости и направлений сукцессий, интенсивности продукционных процессов, видового состава и структуры сообществ гидробионтов [3].

К российскому сектору относится не менее трети площади Арктики, поэтому исследования в высокоширотных районах России следует рассматривать как модельные, дающие наиболее полную картину структуры, хорологии и динамики арктической биоты [4]. В современных социально-экономических и политических условиях особенно актуальны задачи оценки состояния, сохранения и восстановления уникального биологического разнообразия, эксплуатации биоресурсов высокоширотных экосистем. Однако, как отмечает Ю.И. Чернов [4], темпы и уровень исследований пресноводной фауны Арктики сравнительно низки.

История изучения обитателей тундровых вод на европейском Северо-Востоке России насчитывает более 100 лет. Первые сведения об исключительном обилии населения некоторых озер Большеземельской тундры были получены А.В. Журавским [5]. Сотрудниками Института биологии Коми филиала АН СССР в 60-х гг. XX столетия были изучены фауна и структура донных биоценозов некоторых крупных озерных систем восточной части Большеземельской тундры: Вашуткиных (1960–1961 гг.), Падимейских (1966 г.), Харбейских (1968–1969 гг.) и озера Амбарты [6–13]. Исследования разнообразных озер Хоседаюсского и Инзерейского районов Большеземельской тундры, условий формирования и структуры озерных экосистем, их реакции на различные антропогенные воздействия проведены в 1986–1989 гг. Институтом озероведения РАН [14, 15]. В 1992 г. изучены планктон и бентос пресноводного озера Науль-то, ряда небольших тундровых озер ледникового происхождения и солоноватоводного озера Большой Торавей [16]. Сведения о донной фауне некоторых озер бассейна р. Кара представлены в монографиях [17, 18]. В 1998–1999 гг. и в 2009, 2010 и 2012 гг. повторно исследован зоопланктон и бентос озер Харбейской системы в условиях изменяющихся природных факторов и антропогенного влияния [19–29].

С самого начала исследований в Большеземельской тундре особое внимание уделялось изучению видового состава водных беспозвоночных, списки которых были опубликованы в коллективных монографиях [9, 30], а затем дополнены в ходе последующих исследований [31, 32].

В гораздо меньшей степени, по сравнению с озерами, изучена биота водотоков Большеземельской тундры. Особенно скудные данные существуют о реках, впадающих в северные моря. Сведения о водной фауне, структуре сообществ зоопланктона и зообентоса рек и озер бассейна р. Черная в литературе отсутствуют.

Целью работы было выявление количественных характеристик и структуры сообществ зоопланктона и зообентоса, их видового состава, доминирующих групп и видов в бассейне арктической реки.

Материал и методика

В бассейне р. Черная в период с 3 по 14 июля 2013 г. обследовано основное русло реки, шесть притоков первого порядка, один ручей, пять озер и четыре небольших водоема. Сбор гидробиологического материала в магистральном русле р. Черная производили в трех пунктах, на каждом из которых пробы собирали в прибрежье и на течении. Всего обработана 21 проба зоопланктона, 38 проб зообентоса, произведено восемь сборов амфибиотических насекомых по берегам водотоков.

Морфологические и гидрологические характеристики водоемов в пунктах отбора проб представлены в табл. 1.

Черная – одна из довольно заметных рек, впадающих в Печорскую губу Баренцева моря, берет начало и течет по Большеземельской тундре. Длина водотока 308 км, площадь водосбора составляет 7290 км^2. На водосборе реки находятся 6036 озер общей площадью 379 км^2 [33]. Исследован участок нижнего течения русла длиной 35 км (от 45 до 10 км от устья). Прибрежная растительность представлена преимущественно ивой, реже – карликовой березкой, пушицей и травянистой растительностью (рис. 1а). Грунты в реке песчаные либо валунные, чаще заиленные.

Реакция водной среды в русле реки слабощелочная во всех пунктах исследований, вода достаточно насыщена растворенным кислородом. Минерализация воды низкая, постепенно увеличивающаяся к устью (табл. 2). Невысокая цветность и бихроматная окисляемость свидетельствуют о наличии органического вещества преимущественно автохтонного происхождения [34]. Вода характеризуется гидрокарбонатно-кальциевым составом.

Притоки первого порядка р. Черная представляют собой небольшие реки длиной до нескольких десятков километров, шириной 5–7 м и глубинами до полутора метров (рис. 1б). Берега их

Таблица 1

Характеристика водных объектов

Водный объект	Координаты	Дата отбора проб	Площадь водного зеркала, км^2 либо ширина реки, м	Тип донных субстратов	Глубина места отбора проб, м	Температура воды, °С	Донные обрастания
Бассейн р. Черная							
Р. Черная, пункт 1	68°23’13,7” с.ш. 56°50’47,5” в.д.	8.07.2013	50	Валуны, песок, иногда заиленные	0.6-1.4	–	нет
Озеро № 1	68°22’18,5” с.ш. 56°49’19,5” в.д.	9.07.2013	1.5	Песчано-глинистый с галькой	0.3-0.4	–	нет
Левый приток №1	68°24’17,4” с.ш. 56°46’48,0” в.д	10.07.2013	3.0	Валунный, реже – песчаный	0.2-0.4	–	нет
Левый приток №2	68°25’07,3” с.ш. 56°41’54,6” в.д.	10.07.2013	5.0-7.0	Валунно-песчаный заиленный	0.5	–	нет
Озеро № 2	68°29’59,4” с.ш. 56°40’35,4” в.д.	11.07.2013	0.7	Торфянистый	0.5	–	нет
Правый приток №1	68°28’48,3” с.ш. 56°39’52,5” в.д.	11.07.2013	5-6	Песчаный заиленный	0.3	–	нет
Р. Черная, пункт 2	68°27’30,0” с.ш. 56°39’19,5” в.д.	12.07.2013	100	Валунно-песчаный заиленный	0.5-0.6	–	нет
Левый приток №3	68°27’36,5” с.ш. 56°39’15,6” в.д.	12.07.2013	5.0	Песчано-илистый, заиленный галечник	0.2-0.6	–	нет
Правый приток №2	68°30’56,2” с.ш. 56°32’59,5” в.д	13.07.2013	3	Валунный заиленный	0.2-0.6	–	нет
Озеро № 3	68°31’55,8” с.ш. 56°29’08,0” в.д	13.07.2013	0.03	Торфянистый	0.4-0.5	–	нет
Р. Черная, пункт 3	68°30’57,3” с.ш. 56°32’55,7” в.д	14.07.2013	250	Валунно-песчаный заиленный	0.5-0.8	–	нет
Бассейн р. Хэхэганьяха							
Водоем № 1	68°21’08” с.ш. 56°30’36,1” в.д.	3.07.2013	0.025	Ил	0.7	23.5	Мхи
Водоем № 2	68°20’10” с.ш. 56°29’57,1” в.д.	3.07.2013	0.038	Ил, растительный детрит	0.3-0.5	18.3	Мхи, водоросли, осока
Водоем № 3	68°20’10” с.ш. 56°29’57,1” в.д	3.07.2013	0.04	Ил, растительный детрит	0.4	18.2	Мхи, водоросли
Озеро № 4	68°20’38,6”с.ш. 56°30’46,5” в.д.	3.07.2013	3.75	Черный ил	0.5	16.0	нет
Р. Хэхэганьяха	68°21’46,6”с.ш. 56°29’41,3” в.д.	4.07.2013	5-10	На перекате – валунно-галечный, на плесе – заиленные валуны	0.3-1.0 м	22.8-23.7	Редко нитчатые зеленые водоросли
Ручей Нимдевевьяха	68°24’42,0”с.ш. 56°15’13,0” в.д.	5.07.2013	5-6	Валунный, валунно-галечный	0.05-0.7	20.5	нет
Водоем №5	68°24’37,5”с.ш. 56°14’31,8” в.д.	7.07.2013	0.01	Валуны	0.6	15.2	нет
Озеро № 6	68°24’44,3”с.ш. 56°14’09,2” в.д.	7.07.2013	3.0	Валунный, заиленный	0.15-0.4	19.8	нет

Таблица 2

Химический состав поверхностных вод р. Черная

Течение	O_2, мг /дм^3	pH	$N_{общ.}$, мг/дм^3	$P_{общ.}$, мг/дм^3	ХПК, мг/дм^3	Минерализация, мг/дм3	Цветность, град.	æ, мкСм/см	Жесткость, ммоль/дм^3	ВВ, мг/дм^3
Верхнее	8,5	7,64	0,38	<0,010	15	97,11	40	127	0,95	236
Среднее	8,9	7,56	0,31	<0,010	14	98,78	36	123	0,88	59
Нижнее	8,3	7,29	0,49	<0,010	23	168,39	37	320	1,12	179

Рис. 1. Места сбора материала: а – русло р. Черная, б – один из притоков р. Черная, в – небольшой тундровый водоем, г – озеро.

поросли ивой и травянистым разнотравьем. Водные макро-фиты отмечены только в левобережном притоке №3 и представлены Carex sp. Грунты песчано-илистые, илистые и валунно-галечные заиленные, вода прозрачная.

Небольшие водоемы и озерки широко распространены в бассейне р. Черная. Располагаются они в понижениях рельефа, имеют небольшие глубины (до 1.5 м), прозрачную воду, зимой промерзают до дна. Часто зарастают осокой. На поверхности воды некоторых водоемов плавают подушки отмершего мха и водорослей (рис. 1в). Прибрежная растительность представлена невысокой ивой.

Исследованные тундровые озера имеют разную площадь, пологие, часто торфянистые топкие берега, поросшие осокой и низкорослой ивой. Грунты песчаные заиленные или торфянистые (рис. 1г).

Сбор и обработку проб зоопланктона проводили согласно принятым в гидробиологии методам [35]. Индивидуальный вес планктонных организмов рассчитывали по формулам [36, 37]. Доминантные виды выделяли по относительной численности и биомассе. За нижнюю границу доминирования принимали обилие или биомассу – 5% от суммарных значений. Степень сходства фаун оценивали по индексу Чекановского-Съеренсена (I_{CS}) [38].

Сборы зообентоса в руслах водотоков производили гидробиологическим скребком с длиной лезвия 30 см и размером ячеи капронового сита 0.23 мм, в озерах – в зависимости от типа донных отложений: на мягких грунтах облегченным дночерпателем Петерсена с площадью захвата 1/40 м^2, на небольших глубинах и твердых грунтах – скребком. Промывку проб производили через капроновое сито с ячеей 0.23 мм. Пробы бентоса фиксировали 4%-ным раствором формальдегида и обрабатывали в камеральных условиях по обычной методике [39]. Все пробы бентоса разбирали по группам под бинокуляром МБС-9. После обсушки гидробионтов на фильтровальной бумаге определяли их вес на торсионных весах ВТ-200. Одновременно со сборами зообентоса производили лов имаго амфибиотических насекомых энтомологическим сачком. Пробы имаго насекомых фиксировали 70%-ным спиртом. Пробы фитофильной фауны собирали обловом сачком в зарослях макрофитов.

Результаты и обсуждение

Небольшие водоемы и озера

В озерах и небольших водоемах бассейна р.Черная обнаружено соответственно 33 и 30 видов и форм планктонных животных. Наиболее разнообразно были представлены коловратки (рис. 2). Высокие показатели видового обилия зоопланктона в этих водоемах в период исследований связаны в первую очередь с их относительной изолированностью и небольшими глубинами, развитием высших водных растений и накоплением большого количества органических веществ и детрита. Кроме того, из-за не характерно теплого для данной территории летнего периода вода в некоторых водоемах прогревалась до 20°С и выше (табл. 2), что способствовало массовому развитию в них тепло-

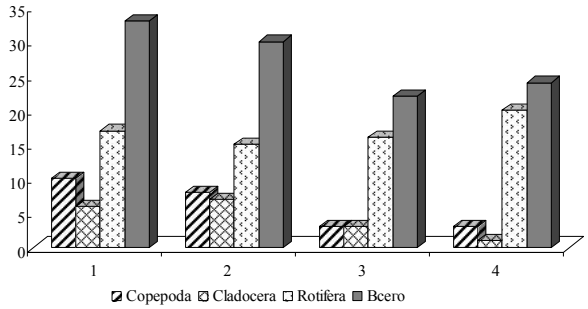


Рис. 2. Видовой состав зоопланктона в исследованных водоемах бассейна р. Черная. Примечание: 1 – озера, 2 – небольшие водоемы, 3 – р. Черная, 4 – притоки р. Черная I порядка.

любивых форм, например, таких как *Brachionus urceus* (Linnaeus). Только в озерах были найдены фитофильные и литоральные *Macrocyclops albidus* (Jurine), *Heterocope borealis* (Fischer), *Trichocerca (Diurella) relicta* Donner, *Trichocerca* (s. str.) *rattus minor* Fadeev, *Euchlanis deflexa* Gosse, *E. lyra* Hudson, *E. triquetra* Ehrenberg, придонные *Eucyclops speratus* (Lilljeborg), *E. macrurus* (Sars), *Macrothrix laticornis* (Fischer), *Alona affinis* (Leydig), *Itura* sp. и эвпланктонные *Bythotrephes* sp., *B. urceus*, *Notholca squamula* (Müller). В небольших водоемах, образованных в понижениях рельефа, планктонная фауна отличалась от таковой в озерах. Только здесь были отмечены виды, характерные для временных водоемов, такие как *Cyclops sibiricus* Lindberg, *Diacyclops languidoides* (Lilljeborg), *Notommata allantois* Wulfert, и зарослевые виды – *Eurycercus* (*Eurycercus*) *lamellatus* (O. F. Müller), *Alona intermedia* (Sars), *Acroperus harpae* (Baird), *T.* (s. str.) *bicristata* (Gosse), *T.* (s. str.) *rattus* (Müller), а также *N. acuminata extensa* Olofsson и *Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller). При наличии общих черт состав планктонной фауны в каждой из лентических экосистем имел свои особенности (индекс Чекановского-Съеренсена составил 0.3–0.4).

Количественное развитие зоопланктона в водоемах различалось (табл. 3). Наиболее богатые зоопланктоценозы развивались в небольших зарастающих водоемах, численность и биомасса в которых достигали значительных величин. По численности преобладали неполовозрелые формы веслоногих раков, а также коловратки отряда Bdelloida и *Euchlanis dilatata* Ehrenberg. Биомассу формировали крупные ветвистоусые и веслоногие рачки – *Daphnia (D.) pulex* Leydig, *D. (D.) middendorfiana* Fischer, *E. lamellatus*, молодь *H. borealis* и, наряду с ними, *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller). В зарастающих водоемах с каменистыми грунтами (Небольшой водоем №7) ведущая роль как по численности, так и по биомассе принадлежала коловраткам *E. dilatata*, *Trichotria pocillum* (Müller) и неполовозрелым стадиям веслоногих раков.

В озерах зоопланктон был менее развит (табл. 3). По численности доминировали коловратки *Conochilus unicornis* Rousselet, *T. pocillum*, *E. dilatata* и веслоногие раки *H. borealis*, *Arctodiaptomus (Rh.) bacillifer* (Koelbel), науплиусы и копеподи-

Таблица 3

Численность (N, тыс. экз./м^3) и биомасса (B, г/м^3) зоопланктона в водоемах бассейна р. Черная

Водоем	Весь зоопланктон		Группы зоопланктона					
			Copepoda		Cladocera		Rotifera	
	N	B	N	B	N	B	N	B
р. Черная	0.3 – 2.6 (0.9 ± 0.4)	< 0.001 – 0.004 (0.002 ± 0.001)	0 – 1.9 (0.06 ± 0.03)	< 0.001 – 0.002 (0.0008 ± 0.0003)	0.02 – 0.1 (0.05 ± 0.01)	< 0.001 – 0.001 (0.0005 ± 0.0002)	0.3 – 2.3 (0.8 ± 0.4)	< 0.001 – 0.002 (0.0006 ± 0.0004)
р. Хэхэганьяха	0.12 – 0.32 (0.23 ± 0.06)	< 0.001 – 0.004 (0.002 ± 0.001)	0.02 – 0.24 (0.13 ± 0.06)	< 0.001 – 0.004 (0.002 ± 0.001)	–	–	0.08 – 0.14 (0.11 ± 0.02)	< 0.001
Левый приток р. Черная №2	0.74	0.001	0.02	< 0.001	–	–	0.72	< 0.001
Левый приток р. Черная №3	0.68	0.001	0.02	< 0.001	–	–	0.66	
Правый приток р. Черная №1	0.78	0.002	0.06	< 0.001	0.08	0.001	0.64	0.001
Правый приток р. Черная №2	1.1	0.003	0.4	0.002	0.2	0.001	0.5	< 0.001
Небольшой водоем №1	264.0	2.53	235.3	1.02	12.7	1.49	16.0	0.02
Небольшой водоем №2	238.7	4.96	186.9	4.22	1.4	0.68	50.4	0.06
Небольшой водоем №7	41.9	0.08	6.6	0.04	0.1	0.001	35.2	0.04
Озеро №1	10.0	0.19	2.7	0.07	0.3	0.11	7.0	0.003
Озеро №2	11.7	0.81	6.8	0.76	0.5	0.05	4.4	0.002
Озеро №3	39.9	3.3	35.3	2.64	1.3	0.65	3.3	0.004
Озеро №6	98.8 – 191.5 (145.1 ± 46.3)	0.16 – 0.96 (0.56 ± 0.40)	2.7 – 19.2 (11.0 ± 8.2)	0.09 – 0.81 (0.45 ± 0.36)	0.4 – 1.7 (1.1 ± 0.7)	0.005 – 0.2 (0.014 ± 0.009)	95.7 – 170.6 (133.1 ± 37.4)	0.06 – 0.13 (0.09 ± 0.03)

ты. Биомассу в этих водоемах формировали крупные низшие раки *H. borealis*, *Bythotrephes* sp., *D. middendorfiana* и *A. (Rh.) bacillifer*. Выявлены различия в распределении зоопланктона по акватории озер (на примере озера №6) – в незащищенном прибрежье количественные показатели были ниже, чем в зарослях водных макрофитов, соответственно в два раза по численности и в шесть раз по биомассе. В открытом прибрежье по численности и биомассе превалировал *Conochilus unicornis*. Биомассу, наряду с ним, слагали *H. borealis* и *A. (Rh.) bacillifer*. В зарослях макрофитов обилие зоопланктона формировали коловратки *C. unicornis* и *E. dilatata*, в то время как в составе доминирующей по биомассе группе произошли изменения. В доминантный комплекс вошли рачки *Mega-cyclops* juv., *E. serrulatus* (Fischer) и неполовозрелые формы веслоногих раков.

В составе донной фауны небольших водоемов зарегистрировано 22 крупных таксона гидробионтов (табл. 4). Число таксонов в отдельном водоеме колебалось от 11 (водоем 3) до 16 (водоем 2). Во всех этих небольших озерках по численности доминировали придонные низшие ракообразные (Copepoda и Ostracoda) и личинки комаров-звонцов (Chironomidae). Веслоногие ракообразные были представлены следующими видами: *C. sphaericus*, *E. lammelatus*, *Alona guttata* (Sars), *D. languidoides*, *Acanthocyclops vernalis* (Fischer), также массово встречались копеподиты Cyclopoida. Во всех этих водоемах отмечена высокая численность арктического рачка *H. borealis*. Остракоды представлены родами *Candona* и *Eucypris*. Среди моллюсков встречены в основном мелкие двустворчатые – *Anisus acronicus* (Ferussac), *Hiberneuglesa normalis* (Stelfox). Среди отмершего мха обитают личинки поденок р. *Baetis*. Лишь в одном из озерков встречены ювенильные личинки веснянок р. *Diura*. Интересной особенностью этих тундровых водоемов является обитание в некоторых из них листоногих ракообразных – жаброногов. Так, в водоеме 2 обнаружены жаброноги *Polyartemia forcipata* Fischer. Это резко выраженная арктическая форма, почти не встречающаяся южнее Северного полярного круга [40].

Таблица 4

Зообентос небольших водоемов бассейна р. Черная

Группы беспозвоночных	Водоем №2		Водоем №3		Водоем №5	
	I	II	I	II	I	II
Nematoda	0,7	<0,1	1,6	0,2	0,9	<0,1
Oligochaeta	0,6	4,5	–	–	1,9	0,2
Tardigrada	1,7	0,1	–	–	–	–
Mollusca	–	–	1,6	8,9	–	–
Cladocera	0,7	2,1	0,6	<0,1	3,7	<0,1
Harpacticoida	2,4	–	–	–	8,4	<0,1
Др. Copepoda	30,9	8,6	12,5	0,1	29,9	0,5
Ostracoda	32,8	11,5	24,2	0,1	2,8	<0,1
Amphipoda	–	–	–	–	9,3	76,0
Phyllopoda	0,4	2,3	–	–	–	–
Hydracarina	2,7	0,3	0,4	<0,1	1,9	0,3
Turbellaria	–	–	5,5	3,0	–	–
Collembola	1,6	0,6	–	–	–	–
Ephemeroptera, lv.	0,2	0,1	–	–	0,9	0,2
Plecoptera, lv.	–	–	–	–	2,8	<0,1
Coleoptera, lv.	0,3	8,0	1,2	3,8	1,9	3,9
Coleoptera, im.	<0,1	9,2	0,4	2,1	2,8	7,4
Trichoptera, lv.	0,9	16,6	–	–	5,6	10,2
Hemiptera, lv.	–	–	–	–	0,9	0,3
Ceratopogonidae, lv.	0,4	0,2	0,8	0,1	–	–
Chaoborinae, lv.	–	–	0,8	2,2	–	–
Chironomidae, lv.	22,0	20,9	47,7	64,5	24,3	0,8
Chironomidae, pp.	0,6	7,4	2,7	14,9	0,9	0,1
Diptera n/det., lv.	1,1	7,7	–	–	0,9	0,1
Средняя численность, экз./м^2	12931,6	–	2841,6	–	*	–
Средняя биомасса, мг/м^2	–	3683,3	–	5228,8	–	*

Примечание. I – доля от общей численности бентоса (%), II – доля от общей биомассы бентоса (%). «–» – группа не встречена; «*» – данные отсутствуют (качественные пробы).

Численность зообентоса небольших стоячих водоемов колебалась в значительных пределах в зависимости от развития основной группы – хирономид (табл. 4). Продуктивность зообентоса этих водоемов невысока, в июле биомасса колебалась в пределах 3,7–5,2 г/м^2 (рис. 3). Основными группами, определяющими биомассу, были хирономиды и ручейники, иногда амфиподы (водоем 5).

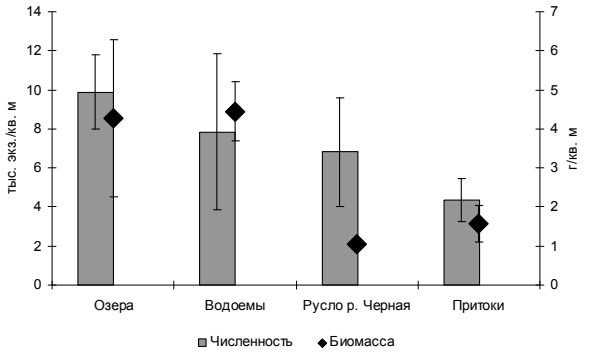


Рис. 3. Показатели количественного развития зообентоса в исследованных водоемах бассейна р. Черная.

В более крупных исследованных озерах встречено меньшее число групп гидробионтов – 18 таксонов (табл. 5). По численности доминировали личинки хирономид, встреченные во всех пробах зообентоса. Несколько меньшая численность установлена для низших ракообразных – кладоцер, гарпактицид (*Moraria duthiei* (Scott)), циклопид, остракод (табл. 3). В некоторых озерах (озеро 6) низшие ракообразные составляли более половины численности общего бентоса (озеро 6 – 58.1 %; озеро 2 – 71.6%). В озере 4 бас. р. Хэхэганьяхи обнаружены листоногие ракообразные Conchostraca – *Cyzicus tetracerus* (Krynicki). Этот вид широко распространен в северной части Палеарктики. В исследованных тундровых водоемах часто встречаются личинки (Ilybius sp., Hydroporus sp.) и имаго (*Hydroporus notabilis* LeConte), *Ilybius aenescens* Thomson) водных жуков. Численность донных организмов в одном из озер, где были отобраны количественные пробы зообентоса, составляла 9 тыс.экз./м^2, биомасса – 2,2 г/м^2 (табл. 5). В наиболее крупном озере 1 в нижнем течении р. Черная наблюдалось наименьшее разнообразие групп донных беспозвоночных – 9, в меньших по площади озерах 2 и 3 установлено по 13 групп. Наиболее многочисленными гидробионтами в озерах были личинки хирономид, веслоногие (*C. sphaericus*, *M. laticornis* и ракушковые рачки (Candona), в наименьшем по площади озере 3 – личинки поденок *Baetis macani* Kimmins. В озере 2 зарегистрированы жаброноги *Branchinecta paludosa* (O.F. Müller); численность 300 экз./м^2. Это наиболее обычный вид из всех арктических филлопод. В озере 3 обнаружены жаброноги *Polyartemia forcipata* Fischer с невысокой численностью. Здесь встречены личинки и имаго жуков Agabus sp., *Hydroporus umbrosus* Gyllenhal. Общая численность зообентоса в этих озерах составляла 13.5 и 7.1 тыс.экз./м^2 (табл. 5). Более высокой продуктивностью характеризовалось крупное озеро 1. Биомасса бентоса (8.2 г/м^2) здесь сформирована в основном хирономидами и моллюсками. В меньших по площади озерах, кроме указанных выше групп, существенную роль в биомассе иногда играют олигохеты, поденки и ручейники.

Таблица 5

Зообентос озер бассейна р. Черная

Группы беспозвоночных	Бассейн р. Хэхэганьяха				Бассейн р. Черная					
	Озеро 4		Озеро 6		Озеро 1		Озеро 2		Озеро 3	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Nematoda	2,8	<0,1	0,9	<0,1	5,2	<0,1	5,9	<0,1	–	–
Oligochaeta	–	–	8,6	27,3	9,3	12,2	3,5	2,8	–	–
Turbellaria	–	–	–	–	1,9	4,7	0,2	<0,1	–	–
Mollusca	–	–	3,1	15,5	3,5	27,2	–	–	2,3	9,7
Cladocera	1,4	<0,1	16,0	0,6	–	–	2,3	0,1	0,8	<0,1
Harpacticoida	0,7	<0,1	18,0	0,7	0,1	<0,1	–	–	–	–
Др. Copepoda	2,1	<0,1	12,6	0,5	4,1	0,1	45,4	1,4	5,5	<0,1
Ostracoda	–	–	11,5	0,5	–	–	23,9	0,7	0,8	<0,1
Phyllopoda	0,7	7,0	–	–	–	–	0,5	12,7	1,6	7,7
Hydracarina	–	–	0,8	1,5	–	–	1,6	<0,1	2,3	0,9
Collembola	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8	0,3
Ephemeroptera, lv.	–	–	–	–	–	–	1,2	17,7	48,4	39,2
Trichoptera, lv.	–	–	–	–	0,1	3,7	0,9	19,8	6,3	19,7
Coleoptera, lv.	–	–	0,4	1,5	–	–	0,7	2,1	0,8	16,2
Coleoptera, im.	–	–	–	–	–	–	–	–	1,6	1,5
Hemiptera, lv.	–	–	–	–	–	–	1,6	4,9	0,8	0,9
Culicidae, lv.	–	–	–	–			–	–	1,6	0,2
Chironomidae, lv.	87,6	84,4	28,1	51,5	73,8	50,8	11,7	36,3	26,6	3,8
Chironomidae, pp.	1,4	1,4	0,1	0,3	0,2	0,2	0,5	1,4	–	–
Ceratopogonidae, lv.	3,4	7,0	–	–	1,9	1,2	–	–	–	–
Средняя численность, экз./м^2	*		8959,2		13493,6		7130,9		*	
Средняя биомасса, г/м^2		*		2209,9		8222,8		2364,1		*

Примечание. Обозначения те же, что и в табл. 4.

Притоки р. Черная

Исследованные притоки р. Черная представляют собой малые реки ручьевого типа. Подавляющее большинство видового разнообразия зоопланктона в них составляли коловратки (рис.), что характерно для рек северных широт. Только в этих водотоках были найдены *Dicranophorus forcipatus* (Müller), *Lophocharis oxysternon* (Gosse), *Platyias quadricornis* (Ehrenberg), *Notholca acuminata acuminata* (Ehrenberg), *N. labis* Gosse. Сравнение планктонных фаун рек выявило умеренное сходство (индекс Чекановского-Съеренсена составил 0.3-0.4), что вполне ожидаемо, так как в каждой реке создается свой неповторимый комплекс условий, позволяющий существовать различным видам зоопланктона [41].

Обилие и биомасса планктонных организмов в притоках р. Черная были низкими (табл. 3), что определяется доминированием в них мелких коловраток и ювенильных форм Cyclopoida. Доминантные комплексы состояли из трех–восьми видов и форм. В ядро всех планктонных сообществ малых рек входили *T. pocillum* и неполовозрелые формы веслоногих раков.

Среди донного населения притоков зарегистрировано 19 таксонов гидробионтов (табл. 6), от 11 до 14 таксонов в каждом отдельном притоке. Самыми многочисленными донными организмами, как и во всех других исследованных водоемах, были личинки комаров-звонцов (хирономид). Высокой численности в большинстве притоков достигали личинки поденок *Caenis rivulorum* Eaton, p. Baetis, в меньшем количестве отмечены крупные личинки *Metretopus borealis* (Eaton). Водные жуки представлены личинками p. Hydroporus. Интересной находкой в правом притоке № 1 можно считать вошь *Argulus coregoni* Thorell, которая чаще является эктопаразитом рыб, но иногда встречается и в свободном состоянии. Общая численность зообентоса притоков колебалась в пределах 1.2 – 8.6 тыс.экз./м^2. Продуктивность устьевых участков притоков р. Черная была низкой – биомасса составляла всего 0.4–1.6 г/м^2 и формировалась во всех притоках за счет личинок и куколок хирономид, в левых притоках была велика роль личинок поденок (табл. 6).

В одном из притоков (р. Хэхэганьяха) пробы отобраны на участках с разной скоростью течения: перекате, на небольшом водопаде с высокой скоростью течения, и на плесе. Структура донного населения на этих элементах русла существенно отличалась. На перекате наиболее многочисленными были личинки хирономид, несколько меньшую долю составляли личинки поденок и мошек. На участке с быстрым течением (водопаде) более 90% численности и биомассы всех организмов представляли личинки мошек. На плесе явно доминировали личинки хирономид, роль поденок, мошек, была гораздо ниже.

В руч. Нимдевевьяха зарегистрировано 15 таксонов гидробионтов. Наиболее часто встречались веслоногие ракообразные, личинки поденок и хирономид. Доминантами по численности являются личинки хирономид подсем. Orthocladiinae, составляющие 42.3% всей численности донных организмов в ручье. Отмечена высокая численность ювенильных личинок поденок сем. Baetidae, единично встречены крупные личинки *Paraleptophlebia submarginata* (Stephens), *Ameletus inopinatus* (Eaton) и *Centroptilum luteolum* (Müller). Личинки жуков представлены родом Agabus. В первой декаде июля в

Таблица 6

Зообентос притоков р. Черная

Группы беспозвоночных	Левый приток 1		Р. Хэхэганьяха		Левый приток 2		Левый приток 3		Правый приток 1		Правый приток 2	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Nematoda	5,2	<0,1	1,0	<0,1	7,6	<0,1	3,6	<0,1	5,2	<0,1	2,1	<0,1
Oligochaeta	1,7	0,2	1,2	0,8	2,9	2,1	1,8	0,5	14,0	17,4	12,5	20,5
Turbellaria	0,2	0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mollusca	–	–	–	–	–	–	0,4	1,1	–	–	1,4	9,1
Cladocera	1,2	0,1	–	–	–	–	1,3	<0,1	17,4	0,9	6,9	0,2
Harpacticoida	–	–	0,4	<0,1	–	–	1,3	<0,1	1,2	0,1	–	–
Др. Copepoda	5,9	0,4	0,7	<0,1	0,6	<0,1	3,1	0,1	20,9	1,0	35,4	1,2
Ostracoda	1,5	0,1	–	–	4,1	<0,1	3,6	0,1	–	–	–	–
Amphipoda	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	5,8	–	–
Hydracarina	1,2	0,1	2,1	2,9	5,8	3,5	4,4	6,3	0,6	1,5	0,7	4,6
Collembola	0,2	0,2	–	–	–	–	–	–	0,6	0,6	–	–
Ephemeroptera, lv.	25,4	35,5	23,7	9,4	2,9	5,7	20,0	26,4	1,2	2,9	0,7	0,5
Plecoptera, lv.	0,5	0,3	1,3	4,5	0,6	0,7	0,4	1,1	–	–	–	–
Trichoptera, lv.	2,2	1,4	0,6	3,4	1,8	46,0	–	–	–	–	1,4	18,3
Coleoptera, lv.	–	–	–	–	0,6	0,1	0,9	4,2	–	–	–	–
Coleoptera, im.	–	–	–	–	0,6	2,1	–	–	–	–	–	–
Simuliidae, lv.			17,3	23,9	2,9	2,8	–	–	–	–	0,7	2,3
Chironomidae, lv.	50,7	57,1	50,1	27,5	48,5	13,4	41,8	29,6	32,0	46,5	35,4	36,5
Chironomidae, pp.	1,0	1,5	1,4	3,1	4,1	4,2	7,6	10,6	5,2	17,4	2,1	4,6
Ceratopogonidae, lv.	–	–	0,1	0,1	8,2	7,1	0,4	1,1	–	–	–	–
Diptera, n/det., lv.	3,0	3,1	0,1	24,4	8,8	12,0	9,3	19,0	1,2	5,8	0,7	2,3
Средняя численность, экз./м^2	6780,2	–	8612,2		2855,7	–	3757,5	–	2872,4	–	1202,4	–
Средняя биомасса, мг/м^2	–	1081,7	–	3432,0	–	2359,6	–	1581,8	–	574,3	–	365,8

Примечание. Обозначения те же, что и в табл. 4.

ручье происходил массовый вылет веснянок, поэтому в бентосе их роль была невелика. Среди личинок отмечены лишь зрелые нимфы р. Nemoura. Происходила линька на имаго самого крупного вида нашей фауны веснянок *Arcynopteryx compacta* (McLachlan). Множество крылатых особей этого вида можно было наблюдать на поверхности воды и на прибрежной растительности. Личинки его обитают на быстром и умеренном течении чистых рек и ручьев на валунных и галечных грунтах. Кроме *A. compacta* среди имаго веснянок по берегам водотоков встречены *Nemurella pictetii* Klapalek, *Nemoura arctica* Esben-Petersen, *N. sahlbergi* Morton, *N. cinerea* (Retzius).

Основное русло р. Черная

Видовое обилие зоопланктона в р. Черная было невысоким (рис. 2), что связано с гидрологическими особенностями ее русла – грунтами, скоростью течения, широкой приливно-отливной полосой, отсутствием зарослей высшей водной растительности и пр. Некоторые исследователи связывают относительно низкие концентрации зоопланктона и бентических беспозвоночных в арктических реках с их низкой первичной продукцией [2].

Только в водах реки среди рачков были выявлены *D. bicuspidatus* (Claus), *Bosmina* (*B.*) *longirostris* (O.F. Müller) и *B.* (*E.*) cf. *longispina* Leydig, хищные коловратки *Synchaeta grandis* Zacharias и *Asplanchna priodonta priodonta* Gosse, а также придонные *L. naias* Wulfert и *Encentrum* sp.

Количественно зоопланктон р. Черная относительно беден (табл. 3). Вниз по течению в водотоке происходило постепенное увеличение численности и биомассы планктонных животных. По численности на всех исследованных участках преобладали коловратки, составляя 81–93%, биомассу же в первом и третьем пунктах исследований формировали коловратки и ветвистоусые раки (соответственно 41–48% и 34–59%), во втором – веслоногие раки (74%). Доминантный комплекс в сообществах планктонных организмов по численности по продольному профилю реки изменялся незначительно. Многочисленными были четыре–девять видов и форм, из которых эвпланктонные *Kellicottia longispina* (Kellicott), *Keratella cochlearis* и литоральные *T. pocillum* и *E. dilatata* доминировали на всех исследованных станциях. Биомассу зоопланктона формировали: в верхней точке исследований *C. sphaericus*, *K. longispina* и *T. pocillum*, во втором – копеподиты Calanoida, *D. bicuspidatus*, *B.* (*E.*) cf. *longispina* и *C. sphaericus*, в третьем – *E. dilatata, B.* (*E.*) cf. *longispina*, *B.* (*B.*) *longirostris, A. p. priodonta* и неполовозрелые формы веслоногих раков.

В составе донной фауны нижнего течения р.Черная установлено 18 групп гидробионтов (табл. 7). Наиболее многочисленны в бентосе реки нематоды, характерные для песчаных грунтов. Эти черви составляют на разных участках реки от 41.5 до 58.7% от всего количества донных организмов (табл. 7). Вторая по численности группа – личинки хирономид. По направлению к устью (пункт 2) фауна реки становится немного более разнообразной: кроме круглых и малощетинковых червей, моллюсков (*Henslowiana henslowana* (Sheppard)), низших ракообразных, ручейников и поденок, здесь встречаются также жуки *Brychius elevatus* и личинки мошек; численность организмов бентоса увеличивается. На расстоянии 10 км от устья, где сказывается влияние морских приливов и отливов, зообентос обогащается за счет солоноватоводных форм полихет и гарпактицид (*Tachidius discipes* Giesbrecht), последние из которых присутствуют в бентосе в значительном количестве, а также морских ракообразных (табл. 7). В устье реки встречена изопода *Saduria entomon* (Linne). Биомасса нижнего течения р. Черная была невысокой на всех исследованных участках и составляла 0.9–1.3 г/м^2. Численность и биомасса донных организмов последовательно увеличивались по направлению к устью.

Таблица 7

Зообентос основного русла р. Черная

Группы беспозвоночных	Пункт 1		Пункт 2		Пункт 3	
	I	II	I	II	I	II
Nematoda	53.9	0.1	41.5	0.3	58.7	0.5
Oligochaeta	7.3	2.7	19.6	49.5	3.9	11.2
Polychaeta	–	–	–	–	0.8	5.3
Mollusca	3.7	82.5	–	–	–	–
Cladocera	1.0	<0.1	0.4	<0.1	1.8	0.2
Harpacticoida	0.5	<0.1	–	–	7.9	0.7
Др. Copepoda	1.0	<0.1	1.8	0.1	2.7	0.2
Ostracoda	6.3	0.1	17.8	2.9	6.1	0.5
Amphipoda	–	–	–	–	0.1	1.3
Isopoda	–	–	–	–	0.1	17.2
Phyllopoda	–	–	–	–	0.1	2.6
Hydracarina	0.5	0.2	2.5	1.8	0.2	4.6
Ephemeroptera, lv.	3.1	1.9	0.1	0.2	0.1	0.7
Trichoptera, lv.	1.0	5.4	0.1	0.2	–	–
Coleoptera, im.	–	–	0.1	2.6	–	–
Simuliidae, lv.	–	–	0.1	0.2	0.7	4.6
Chironomidae, lv.	20.4	6.3	11.6	27.1	15.2	35.7
Chironomidae, pp.	0.5	0.4	0.7	1.8	0.4	4.6
Ceratopogonidae, lv.	0.5	0.4	3.5	11.5	1.4	9.9
Средняя численность, экз./м^2	12931.6	–	2841.6	–	*	–
Средняя биомасса, мг/м^2	–	3683.25	–	5228.8	–	*

Примечание. Обозначения те же, что и в табл. 4. «–» – группа не встречена; «*» – данные отсутствуют (качественные пробы).

Заключение

В результате проведенных исследований в составе зоопланктона водоемов бассейна р. Черная было выявлено 52 вида планктонных организмов. Наряду с ними девять таксонов определены до рода и один – до семейства, в связи с их редкостью и сложностью определения видовой принадлежности. Наиболее разнообразно в водоемах представлены коловратки – 36 видами и формами. Ветвистоусые и веслоногие раки были менее значимы и включали одинаковое число видов и форм. Основу фауны веслоногих раков составляли циклопиды, среди которых наиболее интересен *C. sibiricus*, арктический вид, характерный для небольших холодноводных водоемов. Среди калянид встречены обычный для арктической зоны *H. borealis*, и *A.* (*Rh.*) *bacillifer*, эвритопный вид, достигающий высокой численности в холодноводных водоемах и водоемах с повышенной минерализацией

воды. Ветвистоусые раки были представлены в основном видами семейств Daphniidae, Chydoridae и Bosminidae.

Среди найденных планктонных форм только пять таксонов отмечены во всех типах исследуемых водоемов – это эвритопные *Cephalodella gibba* (Ehrenberg), *E. dilatata*, *T. pocillum*, представители рода *Proales* и отряда Bdelloida.

Количественное развитие зоопланктона в водоемах бассейна р. Черная различалось значительно. Наиболее богатые зоопланктоценозы развивались в озерах и небольших зарастающих водоемах, наименее – в небольших притоках.

Донное население исследованных водотоков также не отличалось богатыми количественными показателями. Средняя численность и биомасса зообентоса в стоячих водоемах были выше, чем в водотоках. Наиболее разнообразна донная фауна мелких тундровых водоемов, в которых встречено 22 крупных таксона гидробионтов. В более крупных озерах, притоках и русле р. Черная число таксонов не превышало 18–19. Основную долю в водных сообществах составляли амфибиотические насекомые и, в первую очередь, двукрылые (хирономиды и мошки). Лишь в русле р. Черная на песчаных грунтах всюду по численности доминировали нематоды. Повышение доли хирономид в биомассе зообентоса реки можно наблюдать при движении от верхней точки исследований (пункт 1) к устью. В устьевом участке основного русла р. Черная донная фауна обогащается за счет морских обитателей – полихет и изопод. Характерной чертой арктических вод является присутствие листоногих ракообразных – жаброногов *Polyartemia forcipata* и *Branchinecta paludosa*, конхострак *Cyzicus tetraceus*. В бассейне р. Черная обнаружены виды, занесенные в Красную книгу НАО [42]. Это *Polyartemia forcipata* (водоемы 2 в бас. р. Хэхэганьяха и озере 3 в бас. Черная) и морской таракан *Saduria entomon* (в устье р. Черная).

Арктика и ее водные экосистемы играют важную роль в изменении климата. На протяжении прошлого века в Арктике стало намного теплее, что расценивается как сигнал-предупреждение будущих климатических изменений. Поскольку полярная экосистема характеризуется высокоспециализированными и адаптированными видами и пищевыми цепями, ожидаемые будущие изменения окажут сильное влияние не только на физическую среду, но и на ее обитателей. Современные исследования арктических рек и озер расширяют наше понимание о том, как функционируют эти водные экосистемы, дополняют сведения о биоразнообразии и количественном развитии водной фауны беспозвоночных в экстремальных условиях Севера, будут полезны при прогнозировании изменений в водной среде.

Работа выполнена в рамках проекта УрО РАН №15–15–4–36.

Литература

1. *Polar Lakes* and Rivers (eds. W.F. Vincent, J. Laybourn-Parry). 2008. 346 p.
2. *McKnight D.M.*, *Gooseff M.N.*, *Vincent W.F.*, *Peterson B.J.* High-latitude rivers and streams. Polar Lakes and Rivers (eds. W.F. Vincent, J. Laybourn-Parry). 2008. Ch. 5. P. 83–102.
3. *Современные тенденции* изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона / Н.А.Кашулин, Д.Б.Денисов, С.А.Валькова, О.И.Вандыш, П.М.Терентьев // Прикладная экология Севера. Тр. Кольского НЦ РАН. Апатиты, 2012. Вып. 1. С. 6–53.
4. *Чернов Ю.И.* Экология и биогеография. М., 2008. 580 с.
5. *Журавский А.В.* О западе Большой земли// Тр. Петербургского общества естествоиспытателей, отделение физиологии. Л., 1904. Т. XXXIII. Вып. 1–2.
6. *Зверева О.С.* Бентос и общие вопросы гидробиологии Вашуткиных озер// Гидробиологическое изучение и рыбохозяйственное освоение озер Крайнего Севера СССР. М., 1966. С.112–136.
7. *Зверева О.С.*, *Гецен М.В.*, *Изъюрова В.К.* Система реликтовых озер в Большеземельской тундре // Докл. АН СССР. 1964. Т.155. № 3. С. 677–679.
8. *Зверева О.С.*, *Власова Т.А.*, *Голдина Л.П.*, *Изъюрова В.К.* Итоги лимнологических исследований в Большеземельской тундре // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, 1970. С.248–253.
9. *Биологическая продуктивность* Харбейских озер Большеземельской тундры // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск: Изд-во БГУ, 1973. С.147–163.
10. *Сидоров Г.П.* Рыбные ресурсы Большеземельской тундры. Л., 1974. 164 с.
11. *Биолимнологическая характеристика* водоемов в бассейне р. Коротаиха / Г.П.Сидоров, Т.А.Власова, В.К.Барановская, Э.И.Кочанова, Ю.В.Лешко, О.С.Цембер // III съезд Всесоюзного гидробиологического общества: Тез. докл. Рига, 1976. Т.2. С.238–241.
12. *Попова Э.И.* Бентос оз. Харбей и его продукция // Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л., 1976. С.101–103.
13. *Цембер О.С.*, *Лешко Ю.В.* Бентос озера Амбарты // X сессия Ученого совета по проблеме “Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера”. Сыктывкар, 1977. С.70–71.
14. *Трифонова И.С., Беляков В.П.*, *Скворцов В.В.* Трофическое состояние естественных и загрязненных озер Большеземельской тундры // Город в Заполярье и окружающая среда. Сыктывкар, 1994. С. 31.
15. *Беляков В.П.*, *Скворцов В.В.* Макро- и мейобентос, их продукция // Особенности струк-

туры экосистем озер Крайнего Севера (на примере озер Большеземельской тундры). С.-Петербург, 1994. С.183–202.
16. *Лоскутова О.А.*, *Фефилова Е.Б.* Гидробиологическая характеристика озер Северной части Большеземельской тундры // Некоторые подходы к организации экологического мониторинга в условиях Севера. Сыктывкар, 1996. С. 125–138. (Тр. Коми научного центра УрО РАН; № 147).
17. *Биоресурсы водных* экосистем Полярного Урала/ В.Д.Богданов, Е.Н.Богданова, А.Л.Гаврилов, И.П. Мельниченко, Л.Н. Степанов, М.И.Ярушина. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 167 с.
18. *Биоразнообразие экосистем* Полярного Урала / Отв. редактор М.В. Гецен. Сыктывкар, 2007. С. 90–112.
19. *Сидоров Г.П.*, *Лоскутова О.А.*, *Шубин Ю.П.*, *Братцев С.А.* Структурно-функциональные изменения в Харбейских озерах Большеземельской тундры//Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Минск-Нарочь, 1999. С.153.
20. *Влияние погодных условий* в разные годы на развитие фауны Харбейских озер / Г.П.Сидоров, О.А.Лоскутова, Е.Б.Фефилова, Я.С.Кузьмина, Ю.В.Лешко, М.А.Батурина // VIII съезд Гидробиологического общества РАН: Тез. докл. Калининград, 2001. Т.1. С.304–305.
21. *Loskutova O.A.*, *Fefilova E.B.*, *Kuzmina Ya.S. et al.* Biodiversity and Dynamics of bottom communities in a large lake Ecosystem of the European North-East part of Russia (on the example of the Kharbey Lakes) // Biodiversity and Dynamics of Ecosystems in North Eurasia. Part1: Water Ecosystem of North Eurasia. Novosibirsk, 2000. P. 84–86.
22. *Батурина М.А.*, *Лоскутова О.А.*, *Фефилова Е.Б.*, *Хохлова Л.Г.* Современное состояние и ретроспективные исследования зообентоса озера Большой Харбей (Большеземельская тундра) // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 4. С.21–29.
23. *Батурина М.А.*, *Лоскутова О.А.*, *Щанов В.М.* Структура и распределение зообентоса озер Харбейской системы // Журн. Сибирского федерального университета. Сер.«Биология». 2014. Т. 7. № 4. С. 332–356.
24. *Fefilova E.B.*, *Dubovskaya O.P.*, *Kononova O.N.*, *Khokhlova L.G.* A comparative survey of the freshwater copepods of two different regions of the Central Palaearctic: European and Siberian // Journal of Natural History. 2013. Vol. 47. № 5–12. P. 805–819.
25. *Фефилова Е.Б.*, *Кононова О.Н.*, *Дубовская О.П.*, *Хохлова Л.Г.* Современное состояние зоопланктона системы озер Большеземельской тундры // Журн. Биология внутренних вод. 2012. № 4. С. 44–52.
26. *Многолетние изменения* в сообществах гидробионтов в Харбейских озерах / Е.Б.Фефилова, М.А.Батурина, О.Н.Кононова, О.А.Лоскутова, Л.Г.Хохлова, О.П.Дубовская//Журн. Сибирского федерального университета. Сер. «Биология». 2014. Т.7. №3. С. 240–266.
27. *Фефилова Е.Б.*, *Кононова О.Н.* Зоопланктон// Биологическое разнообразие Республики Коми /Под ред. В.И. Пономарева, А.Г. Татаринова. Сыктывкар, 2012. С. 139–149.
28. *Кононова О.Н.*, *Дубовская О.П.*, *Фефилова Е.Б.* Зоо- и некрозоопланктон Харбейских озер Большеземельской тундры (по исследованиям 2009–2012 гг.) // Журн. Сибирского федерального университета. Сер. «Биология». 2014. Т. 7. №3. С. 303–327.
29. *Кондратьева Т.А.*, *Назарова Л.Б.*, *Лоскутова О.А.*, *Батурина М.А.* Предварительные данные по фауне хирономид (Chironomidae, Diptera, Insecta) Харбейских озер // Журн. Сибирского федерального университета. Сер. «Биология». 2014. Т. 7. № 4. С. 357–371.
30. *Флора и фауна* водоемов Европейского Севера (На примере озер Большеземельской тундры). Л.: Наука, 1978. 192 с.
31. *Лоскутова О.А.* Бентос озерно-речных систем Восточноевропейской тундры // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Сыктывкар, 2002. С. 44–56. (Тр. Коми научного центра УрО РАН; № 169).
32. *Батурина М.А.*, *Лоскутова О.А.* Олигохеты некоторых пресных водоемов Арктики // Журн. Сибирского федерального университета. Сер. «Биология». 2010. Т.2. № 3. С. 177–198.
33. *Гидрологическая изученность* (Северный край). Т. 3. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 610 с.
34. *Хохлова Л.Г.* Гидрохимическая характеристика водных объектов побережья Баренцева моря // Некоторые подходы к организации экологического мониторинга в районах разведки, добычи и транспортировки нефти и газа. Сыктывкар, 1996. С. 98–110. (Тр. Коми научного центра УрО РАН; вып. 147).
35. *Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука, 1969. Т.1. 658 с.
36. *Балушкина Е.В.*, *Винберг Г.Г.* Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л., 1979. С. 58–79.
37. *Ejsmont-Karabin J.* Empirical equations for biomass calculation of planktonic rotifers // Pol. Arch. Hydrobiol. 1998. Vol. 45. P. 513–522.
38. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 288 с.
39. *Шубина В.Н.* Гидробиология лососевой реки Северного Урала. Л.: Наука, 1986. 157 с.
40. *Смирнов С.С.* Phyllopoda Арктики // Труды Арктического института. Л., 1936. Т.LI. 100 с.
41. *Крылов А.В.* Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.
42. *Красная книга* Ненецкого автономного округа. Животные. Нарьян-Мар, 2006. 450 с.

References

1. *Polar Lakes* and Rivers (eds. W.F. Vincent, J. Laybourn-Parry). 2008. 346 p.
2. *McKnight D.M.*, *Gooseff M.N.*, *Vincent W.F.*, *Peterson B.J.* High-latitude Rivers and Streams. Polar Lakes and Rivers (Eds. W.F. Vincent, J. Laybourn-Parry). 2008. Ch. 5. P. 83-102.
3. *Kashulin N.A.*, *Denisov D.B.*, *Val'kova S.A.*, *Vandysh O.I.*, *Terent'ev P.M.* Sovremennye tendencii izmenenij presnovodnyh jekosistem Evro-Arkticheskogo regiona [Current trends of freshwater ecosystems of Euro-Arctic region] // Tr. Kol'skogo NC RAN. Prikladnaja jekologija Severa [Proc. of the Kola Science Centre, RAS. Applied Ecology of the North]. Apatity. 2012. Issue 1. P. 6–53.
4. *Chernov Yu.I.* Jekologija i biogeografija [Ecology and Biogeography]. Moscow, 2008. 580 p.
5. *Zhuravsky A.V.* O zapade Bol'shoj zemli [About West of the Big Earth]. Tr. Peterburgskogo obshhestva estestvoispytatelej, otdelenie fiziologii [Proc. of the St.Petersburg Society of Naturalists, Dept. of Physiology]. Leningrad, 1904. Vol. XXXIII. Issue 1-2.
6. *Zvereva O.S.* Bentos i obshhie voprosy gidrobiologii Vashutkinyh ozer [Benthos and General issues of Hydrobiology of Vashutkiny lakes] // Gidrobiologicheskoe izuchenie i rybohozjajstvennoe osvoenie ozer Krajnego severa SSSR [Hydrobiological study and fisheries development of lakes in the Far North of the USSR]. Moscow, 1966. P.112-136.
7. *Zvereva O.S.*, *Getsen M.S.*, *Izyurova V.K.* Sistema reliktovyh ozer v Bolshezemelskoi tundre [[The system of the relict lakes in Bolshezemelskaya tundra] // Dokl. Earth Sciences. 1964. Vol.155. № 3. P. 677-679.
8. *Zvereva O.S.*, *Vlasova T.A.*, *Goldina L.P.*, *Izyurova V.K.* Itogi limnologicheskih isledo-vanij v Bolshezemelskoj tundre [The results of limnological research in Bolshezemelskaya tundra // Biologicheskie osnovy ispol'zovanija prirody Severa [Biological basis for the use of the Northern nature]. Syktyvkar, 1970. P.248-253.
9. *Biologicheskaja produktivnost'* Harbejskih ozer Bol'shezemel'skoj tundry [Biological productivity of Kharbey lakes of Bolshezemelskaya tundra] // Produkcionno-biologicheskie issledovanija jekosistem presnyh vod [The production-biological studies of the freshwater ecosystems]. Minsk: Izd-vo BGU, 1973. P.147-163.
10. *Sidorov G.P.*. Rybnye resursy Bol'shezemel'skoj tundry [Fish resources of Bolshezemelskaya tundra]. Leningrad, 1974. 164 p.
11. *Sidorov G.P.*, *Vlasova T.A.*, *Baranovskaya V.K.*, *Kochanova Je.I.*, *Leshko Yu.V.*, *Tsember O.S.* Biolimnologicheskaja harakteristika vodoemov v bassejne r. Korotaiha [Biolimnological characteristics of the water bodies in the Korotaikha basin] // III S'ezd Vsesojuznogo gidrobiologicheskogo obshhestva [III Congress of the All-Union Hydrobiological Society] : Abstracts of reports. Riga, 1976. Vol.2. P.238-241.
12. *Popova E.I.* Bentos oz. Harbej i ego produkcija [Benthos of the Kharbey lake and its production] // Produktivnost' ozer vostochnoj chasti Bol'shezemel'skoj tundry [The productivity of the lakes in the Eastern part of Bolshezemelskaya tundra]. Leningrad, 1976. P.101-103.
13. *Tsember O.S.*, *Leshko Yu.V.* Bentos ozera Ambarty [Benthos of the Ambarty Lake] // X Sessija Uchenogo soveta po probleme "Biologicheskie resursy Belogo morja i vnutrennih vodoemov Evropejskogo Severa" [X session of the Scientific Council on the problem «Biological resources of the White Sea and inland waters of the European North»]. Syktyvkar, 1977. P.70-71.
14. *Trifonova I.S.*, *Belyakov V.P.*, *Skvortsov V.V.* Troficheskoe sostojanie estestvennyh i zagrjaznennyh ozer Bol'shezemel'skoj tundry [The trophic status of the natural and polluted lakes of Bolshezemelskaya tundra] // Gorod v Zapoljar'e i okruzhajushhaja sreda [The town in the Arctic and the environment]. Syktyvkar. 1994. P. 31.
15. *Belyakov V.P.*, *Skvortsov V.V.* Makro- i mejoben-tos, ih produkcija [Macro- and meiobenthos and their production] // Osobennosti struktury jekosistem ozer Krajnego Severa (na primere ozer Bol'shezemel'skoj tundry) [Features of the lakes ecosystems of the extreme North (on the example of Bolshezemelskaya tundra lakes)]. St.Peterburg, 1994. P.183-202.
16. *Loskutova O.A.*, *Fefilova E.B.* Gidrobiologicheskaja harakteristika ozer Severnoj chasti Bol'shezemel'skoj tundry [Hydrobiological characteristics of lakes in the Northern part of the Bolshezemelskaya tundra] // Nekotorye podhody k organizacii jekologicheskogo monitoringa v uslovijah Severa [Some approaches to environmental monitoring in the North]. Syktyvkar, 1996. P. 125-138. (Proc. of Komi Sci.Centre, Ural Branch, RAS, № 147).
17. *Bioresursy vodnyh jekosistem* Poljarnogo Urala [The biological resources of aquatic ecosystems of the Polar Urals] / V.D. Bogdanov, E.N Bogdanova, A.L. Gavrilov, I.P. Mel'nichenko, L.N. Stepanov, M.I. Yarushina. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2004. 167 p.
18. *Bioraznoobrazie jekosistem* Poljarnogo Urala [Biodiversity of ecosystems of the Polar Urals]/ Ed. M.I. Getsen. Syktyvkar, 2007. P. 90-112.
19. *Sidorov G.P.*, *Loskutova O.A.*, *Shubin Yu.P.*, *Bratcev S.A.* Strukturno-funkcional'nye izmenenija v Harbejskih ozerah Bol'shezemel'skoj tundry [Structural and functional changes in Kharbey lakes of Bolshezemelskaya tundra] // Ozernye jekosistemy: biologicheskie processy, antropogennaja transformacija, kachestvo vody [Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality]. Minsk-Naroch', 1999. P.153.

20. *Sidorov G.P.*, *Loskutova O.A.*, *Fefilova E.B.*, *Kuz'mina Ja.S.*, *Leshko Yu.V.*, *Baturina M.A.* Vlijanie pogodnyh uslovij v raznye gody na razvitie fauny Harbejskih ozer [The impact of weather conditions in different years on the development of the fauna of Kharbey lakes] // VIII Cong. Of RAS Hydrobiological Soc.: Abstracts of reports. Kaliningrad, 2001. Vol.1. P.304-305.
21. *Loskutova O.A.*, *Fefilova E.B.*, *Kuzmina Ya.S.*, *Baturina M.A.*, *Leshko Yu.V.*, *Danilenko D.G.* Biodiversity and Dynamics of bottom communities in a large lake Ecosystem of the European North-East part of Russia (on the example of the Kharbey Lakes) // Biodiversity and Dynamics of Ecosystems in North Eurasia. Part 1: Water Ecosystem of North Eurasia. Novosibirsk, 2000. P.84-86.
22. *Baturina M.A.*, *Loskutova O.A.*, *Fefilova E.B.*, *Hohlova L.G.* Sovremennoe sostojanie i retrospektivnye issledovanija zoobentosa ozera Bol'shoj Harbej (Bol'shezemel'skaja tundra) [Current status and retrospective studies of the zoobenthos of Bolshoy Kharbey lake (Bolshezemelskaya tundra) // Izvestija Komi NC UrO RAN [Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS]. 2012. № 4. P.21-29.
23. *Baturina M.A.*, *Loskutova O.A.*, *Shhanov V.M.* Struktura i raspredelenie zoobentosa ozer Harbejskoj sistemy [Structure and distribution of the zoobenthos of Kharbey system lakes] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. «Biologija». [J. of Siberian Federal Univ. Series "Biology"]. 2014. Vol. 7. № 4. P. 332-356.
24. *Fefilova E.B.*, *Dubovskaya O.P.*, *Kononova O.N.*, *Khokhlova L.G.* A comparative survey of the freshwater copepods of two different regions of the Central Palaearctic: European and Siberian // J. of Natural History. 2013. Vol. 47. Nos. 5-12. P. 805-819.
25. *Fefilova E.B.*, *Kononova O.N.*, *Dubovskaya O.P.*, *Khokhlova L.G.* Sovremennoe sostojanie zooplanktona sistemy ozer Bol'shezemel'skoj tundry [The current state of zooplankton in lakes system of Bolshezemelskaya tundra // Biologija vnutrennih vod [Biology of inland waters]. 2012. № 4. P. 44-52.
26. *Fefilova E.B.*, *Baturina M.A.*, *Kononova O.N.*, *Loskutova O.A.*, *Khokhlova L.G.*, *Dubovskaya O.P.* Mnogoletnie izmenenija v soobshhestvah gid-robiontov v Harbejskih ozerah [Long-term changes in communities of aquatic organisms in Kharbey lakes // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. «Biologija» [J. of Siberian Federal Univ. Series "Biology"]. 2014. Vol. 7. № 3. P. 240-266.
27. *Fefilova E.B.*, *Kononova O.N.* Zooplankton [Zooplankton] // Biologicheskoe raznoobrazie respubliki Komi [Biological diversity of the Komi Republic] / Eds. V.I. Ponomarev, A.G.Tatarinov. Syktyvkar, 2012. P. 139–149.
28. *Kononova O.N*, *Dubovskaya O.P.*, *Fefilova E.B.* Zoo- i nekrozooplankton Harbejskih ozer Bol'shezemel'skoj tundry (po issledovanijam 2009-2012 godov) [Zoo- and microzooplankton of Kharbey lakes of Bolshezemelskaya tundra (research 2009-2012)] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologija [J. of Siberian Federal Univ. Series "Biology"]. 2014. Vol. 7. № 3. P. 303-327.
29. *Kondratyeva T.A.*, *Nazarova L.B.*, *Loskutova O.A.*, *Baturina M.A.* Predvaritel'nye dannye po faune hironomid (Chironomidae, Diptera, Insecta) Harbejskih ozer [Preliminary data on the fauna of chironomids (Chironomidae, Diptera, Insecta) of Kharbey lakes] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. «Biologija» [J. of Siberian Federal Univ. Series "Biology"]. 2014. Vol. 7. № 4. P. 357-371.
30. *Flora i fauna* vodoemov Evropejskogo Severa. (Na primere ozer Bol'shezemel'skoj tundry). [Flora and fauna of the water bodies of the European North. (On example of Bolshezemelskaya tundra lakes)]. Leningrad: Nauka, 1978. 192 p.
31. *Loskutova O.A.* Bentos ozerno-rechnyh sistem vostochnoevropejskoj tundry [The benthos of lake-river systems of the East European tundra] // Vozobnovimye resursy vodoemov Bol'shezemel'skoj tundry [Renewable resources of water bodies of Bolshezemelskaya tundra]. Syktyvkar, 2002. P. 44-56. (Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS; № 169).
32. *Baturina M.A.*, *Loskutova O.A.* Oligohety nekotoryh presnyh vodoemov Arktiki [Oligochaetes of some freshwater reservoirs of the Arctic] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. «Biologija» [J. of Siberian Federal Univ. Series "Biology"]. 2010. Vol.2. № 3. P. 177-198.
33. *Gidrologicheskaja izuchennost'* (Severnyj Kraj) [Hydrological study (Northern territory)]. Vol. 3. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. 610 p.
34. *Khokhlova L.G.* Gidrohimicheskaja harakteristika vodnyh ob'ektov poberezh'ja Barenceva morja [Hydrochemical characteristics of the water bodies of the coast of the Barents Sea] // Nekotorye podhody k organizacii jekologiche-skogo monitoringa v rajonah razvedki, dobychi i transportirovki nefti i gaza [Some approaches to environmental monitoring in the areas of exploration, production and transportation of oil and gas]. Syktyvkar, 1996. P. 98-110. (Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, Issue 147).
35. *Kiselev I.A.* Plankton morej i kontinental'nyh vodoemov [The plankton of the seas and continental waters]. Leningrad: Nauka, 1969. Vol. 1. 658 p.
36. *Balushkina E.V.*, *Vinberg G.G.* Zavisimost' mezhdu dlinoj i massoj tela planktonnyh rakoobraznyh [The relationship between length and body weight of plankton crustaceans]//Jeksperimental'nye i polevye issledovanija biolo-gicheskih osnov produktivnosti ozer [Experimental and field studies of the biological basis of productivity of lakes]. Leningrad, 1979. P. 58-79.
37. *Ejsmont-Karabin J.* Empirical equations for biomass calculation of planktonic rotifers // Pol. Arch. Hydrobiol. 1998. Vol. 45. P. 513-522.

38. *Pesenko Yu.A.* Principy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskih issledovanijah [Principles and methods of quantitative analysis in faunistic studies]. Moscow: Nauka, 1982. 288 p.
39. *Shubina V.N.* Gidrobiologija lososevoj reki Severnogo Urala [Hydrobiology of salmon rivers of the Northern Urals]. Leningrad: Nauka, 1986. 157 p.
40. *Smirnov S.S.* Phyllopoda Arktiki [Phyllopoda of the Arctic]. Proc. of Arctic Inst. Leningrad, 1936. Vol. LI. 100 p.
41. *Krylov A.V.* Zooplankton ravninnyh malyh rek [Zooplankton of plains small rivers]. Moscow: Nauka, 2005. 263 p.
42. *Krasnaja kniga* Neneckogo avtonomnogo okruga [The Red Book of the Nenets Autonomous Area]. Animals. Naryan-Mar, 2006. 450 p.

Статья поступила в редакцию 18.06.2015.

УДК 612.176.2

ФОРМИРОВАНИЕ КАРДИОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА РЫБ В ПЕРИОД ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ПРЕДСЕРДИЯ

С.Л. СМИРНОВА, И.М. РОЩЕВСКАЯ, М.П. РОЩЕВСКИЙ

Отдел сравнительной кардиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
smirnova.sl@mail.ru

Впервые изучено отображение последовательности деполяризации эпикарда предсердия на электрическом поле поверхности тела атлантической трески *Gadus morchua*. Выявлено формирование кардиоэлектрических потенциалов на начальных этапах деполяризации предсердия до начала *P*-волны на ЭКГ в биполярных отведениях. Распространение волны возбуждения по предсердию рыб от венозного синуса к атриовентрикулярному отверстию отражается изменением пространственного расположения областей положительных и отрицательных кардиопотенциалов и смещением экстремумов кардиоэлектрического поля на поверхности тела.

Ключевые слова: **деполяризация предсердий, кардиоэлектрическое поле на поверхности тела, эпикард, атлантическая треска *Gadus morchua***

S.L. SMIRNOVA, I. M. ROSHCHEVSKAYA, M. P. ROSHCHEVSKY. **THE FORMATION OF THE CARDIOELECTRIC FIELD ON THE FISH BODY SURFACE DURING ATRIAL DEPOLARIZATION**

The reflection of sequence of atrial depolarization of the epicardium on the fish body surface has been studied for the first time (Atlantic cod *Gadus morchua*). The formation of cardioelectric potentials on the body surface of fish is revealed at initial stages of atrial depolarization before the beginning of the P-wave in the ECG in the bipolar leads. The propagation of the excitation wave along the fish atrium from the venous sinus to the atrioventricular orifice is reflected in the change of the spatial location of areas of positive and negative cardioelectric potentials and displacement of extrema of the cardioelectric field on the body surface.

Keywords: **atrial depolarization, cardioelectric field on the body surface, epicardium, Atlantic cod *Gadus morchua***

Введение

Для изучения эволюции сердечно-сосудистой системы позвоночных в последнее время в качестве модельных животных широко используются рыбы [1, 2]. Существенной проблемой является выявление закономерностей структурно-функциональных взаимоотношений в сердце рыб [3], состоящем из одного предсердия и одного желудочка [4]. Экспериментально подтверждено расположение пейсмекера у рыб в пазухе венозного или синусового переходов [5]. Кольцеобразная конструкция вокруг венозного синуса у рыбок Данио может выполнять функцию водителя ритма [6]. У щук и европейского хариуса волна деполяризации от синоатриальной области по стенкам предсердия последовательно распространяется к атриовентрикулярному отверстию [7].

На кардиоэлектрическом поле поверхности тела млекопитающих начальные моменты деполяризации предсердий в области синусно-предсердного узла отражаются инверсией областей положительного и отрицательного кардиопотенциалов, происходящей до начала *P*-волны [8, 9]. Цель настоящего исследования – изучить формирование кардиоэлектрического поля на поверхности тела рыб в период деполяризации предсердия.

Материалы и методы

Исследование проведено на базе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН (Картеш, Республика Карелия) на атлантической треске *(Gadus morchua)* (n=9; длина тела 28,5±1,8 см). Ареал обитания вида – Белое море, Республика Карелия. Рыб закрепляли в специально изготовленном станке. К жабрам при помощи особой трубки, вставленной в ротовую полость, непрерывно подавали морскую воду. В течение всего эксперимента измеряли температуру тела и пода-

ваемой воды. Температуру воды поддерживали в пределах естественных условий обитания исследуемых рыб.

Регистрацию кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела и эпикарда предсердия осуществляли при помощи электрокардиотопографической установки [10].

Для регистрации униполярных ЭКГ на поверхности тела рыб игольчатые электроды вводили под чешую – два ряда на вентральной поверхности, два – на дорсальной (в сумме 32 электрода). Синхронно с кардиоэлектрическими потенциалами на поверхности тела регистрировали биполярные ЭКГ в основании плавников: первый электрод – правого грудного плавника, второй – левого грудного плавника, третий – левого брюшного плавника, четвертый – правого брюшного плавника. В качестве реперного использовали ЭКГ во II-м отведении, отсчет времени производили относительно пика зубца *R* $ЭКГ_{II}$ в мс, (момент времени до *R*-пика указывается со знаком минус).

После вскрытия в области грудных плавников и обнажения сердца на эпикард предсердия рыб накладывали многоканальные электроды, синхронно регистрировали униполярные электрограммы (ЭГ) от 40 электродов, расположенных на предсердии рыб (32 электрода располагали на дорсальной стороне предсердия, восемь – на вентральной). Синхронно с эпикардиальными ЭГ также регистрировали ЭКГ. Момент прихода волны возбуждения в каждой точке отведения определяли по минимуму первой производной потенциала по времени. После эксперимента восстанавливали картину расположения точек отведения, строили хронотопографические карты. Полученные данные обрабатывали при помощи системы «Кардиоинформ» [10].

Данные приведены в виде – среднее арифметическое ± среднеквадратичное отклонение.

Результаты исследований

До начала *P* волны на ЭКГ во II-м отведении на эпикарде предсердия рыб возникает начальная зона деполяризации в каудальной части дорсальной стороны (см. рисунок, Г – 269.00 мс). На кардиоэлектрическом поле на поверхности тела в этот период времени (рис., А – 269.00 мс) область положительных кардиоэлектрических потенциалов занимает большую часть вентральной и дорсальной сторон, область отрицательных потенциалов – каудальную часть дорсальной стороны, положительный экстремум находится леволатерально с вентральной стороны, отрицательный – каудально в средней части дорсальной стороны.

В период восходящей фазы P_{II} волны возбуждение по эпикарду предсердия (рис. Г – 246.00 мс) равномерно распространяется от каудальной части дорсальной стороны в краниальную по праволатеральной области. На кардиоэлектрическом поле на поверхности тела (рис., А – 246.00 мс) зона отрицательных потенциалов увеличивается и занимает леволатеральную часть вентральной и дорсальной сторон, положительных – расположена праволатерально с вентральной и дорсальной сторон. Такое расположение областей положительных и отрицательных кардиопотенциалов сохраняется до вершины P_{II} волны. В период восходящей фазы P_{II} волны на кардиоэлектрическом поле поверхности тела экстремумы сдвигаются краниально: положительный – на вентральную сторону, отрицатель-

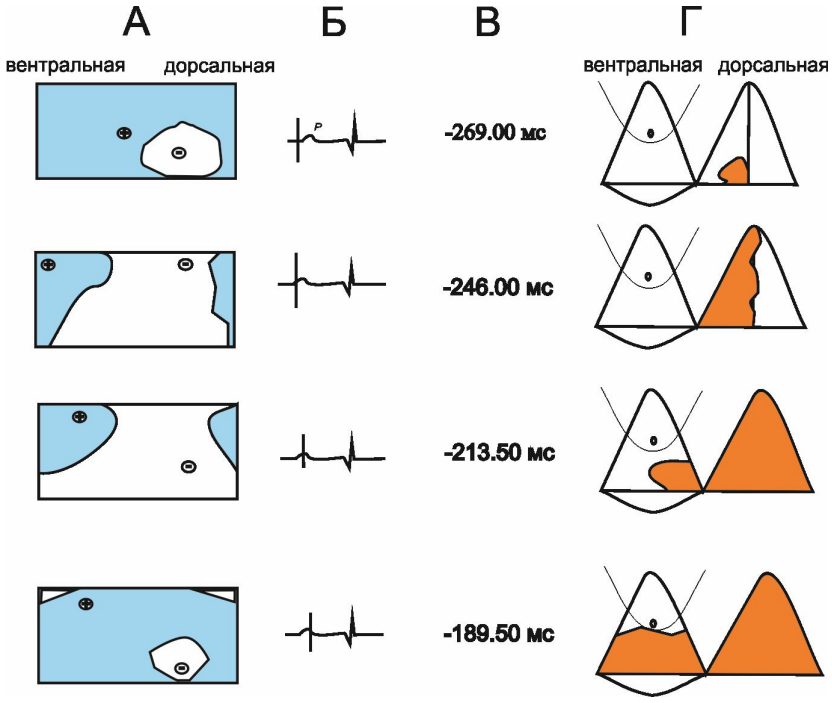


Рис. Сопоставление последовательности деполяризации эпикарда предсердия и кардиоэлектрического поля на поверхности тела трески.
А – Эквипотенциальные моментные карты на поверхности тела рыб, закрашена область положительных кардиоэлектрических потенциалов; «+» и «-» – положение положительного и отрицательного экстремумов соответственно. Левая часть каждой карты соответствует вентральной стороне тела, правая – дорсальной;
Б – ЭКГ во втором отведении от конечностей с маркером времени (вертикальная линия);
В – момент времени, соответствующий эквипотенциальной моментной карте и хронотопографической карте, приведено относительно пика R_{II};
Г – Схема последовательности распространения волны возбуждения по эпикарду предсердия рыб; закрашена область, деполяризованная в момент времени, отмеченный маркером на $ЭКГ_{II}$. Тонкой линией показана область соединения желудочка с предсердием.

ный – в среднюю часть дорсальной стороны. Такое положение экстремумов сохраняется в период вершины и нисходящей фазы P_{II} волны.

В период вершины и первой половины нисходящей фазы P_{II} волны на эпикарде предсердия (рис., Г – 213.50 мс) деполяризованы вся дорсальная сторона и каудальная часть вентральной стороны в праволатеральной области. В период первой половины нисходящей фазы P_{II} волны на поверхности тела (рис., А – 213.50 мс) область положительных кардиоэлектрических потенциалов увеличивается и занимает большую часть вентральной и дорсальной сторон, отрицательных – смещается и занимает каудальную часть дорсальной стороны.

К концу P_{II} волны (рис., Г – 189.50 мс) волна возбуждения, распространяясь по эпикарду, достигает атриовентрикулярного отверстия.

Обсуждение результатов

Ранняя зона деполяризации предсердия у атлантической трески расположена в месте соединения венозного синуса с предсердием. У африканских двоякодышащих рыб пейсмекер первого порядка расположен в венозном синусе [11], у рыбок Данио – вокруг венозного синуса [6]. До начала *P* волны на ЭКГ во II-м отведении на эпикарде предсердия рыб возникает начальная зона деполяризации, которая отражается характерным расположением областей положительных и отрицательных кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела. Ранее на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела свиней было выявлено формирование областей положительных и отрицательных кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела до начала *P* волны на ЭКГ во II-м саггитальном отведении [12]. У свиньи синусно-предсердный узел расположен интрамурально [9, 13]. На кардиоэлектрическом поле на поверхности тела рыб в период деполяризации предсердий не наблюдается инверсии взаимного расположения областей положительных и отрицательных потенциалов до начала *P* волны на ЭКГ во II-м отведении. Это связано с простой организацией проводящей системы сердца рыб [6].

Распространение волны возбуждения в предсердиях у рыбок Данио идет равномерно, наблюдается небольшая задержка при переходе возбуждения от предсердия к желудочку [14]. По предсердиям атлантической трески волна возбуждения распространяется последовательно [12].

На кардиоэлектрическом поле на поверхности тела в период восходящей и нисходящей фаз P_{II} волны не наблюдается значительных изменений в расположении положительных и отрицательных кардиопотенциалов. По эпикарду предсердия в период восходящей фазы P_{II} волны волна возбуждения равномерно распространяется от каудальной части дорсальной стороны в краниальную праволатеральную область. В период вершины и первой половины нисходящей фазы P_{II} волны деполяризованы вся дорсальная сторона и каудальная часть вентральной стороны в праволатеральной области эпикарда предсердия.

Смещение положительного и отрицательного экстремумов на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела в период восходящей фазы *P* – волны у млекопитающих связано с переходом волны возбуждения от правого предсердия к левому [15]. У рыб на поверхности тела движение экстремумов отражает переход волны возбуждения с каудальной части в краниальную по дорсальной стороне и с дорсальной стороны на вентральную по единственному предсердию.

Таким образом, впервые выявлены закономерности отображения на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела последовательности деполяризации предсердия у рыб. Начальные этапы деполяризации эпикарда предсердия отражаются распределением зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела до начала *P*-волны на ЭКГ во II-м отведении. Расположение зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов и движение экстремумов на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела отображаются движением волны возбуждения по предсердию от венозного синуса к желудочку сердца рыб.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 15-0407580.

Литература

1. *Farrell A.P., Jones D.R.* Fish Physiology. San Diego: Acad. Press, Inc, 1992. 340 p.
2. *Lieschke G.J., Currie P.D.* Animal models of human disease: zebrafish swim into view // Nat. Rev. Genet. 2007. Vol.8. № 5. P. 353–367.
3. *Hu N., Sedmera D., Yost H.J., et al.* Structure and function of the developing zebrafish heart// Anat. Rec. 2000. Vol. 260. P. 148–157.
4. *Simoes-Costa M.S., Vasconcelos M., Sampaio A.C., et al.* The evolutionary origin of cardiac chambers // Developmental Biol. 2005. Vol. 277. P. 1–15.
5. *Haverinen J.* Effects of temperature on the electrical excitability of fish cardiac myocytes. Joensuu: University. 2008. 159 p.
6. *Tessadori F., van Weerd J.H., Bur khard S.B., et al.* Identification and functional characterrization of cardiac pacemaker cells in zebrafish// PloS ONE. 2012. Vol. 7. № 10. e 47644.
7. *Шмаков Д.Н., Рощевский М.П.* Активация миокарда / Ин-т физиологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 1997. 165 с.
8. *Смирнова С.Л., Рощевская И.М.* Кардиоэлектрическое поле на поверхности тела свиньи в период деполяризации предсердий // Фундамент. иссл. 2013. № 11. С. 701–705.
9. *Смирнова С.Л., Рощевская И.М., Рощевский М.П.* Последовательность деполяризации миокарда предсердий свиньи *(Sus Scrofa Domesticus)* // Журн. эвол. биохим. и физиол. 2012. Т. 48, №4. С. 386–389.

10. *Рощевский М.П., Артеева Н.В., Коломеец Н.Л. и др.* Система «КАРДИОИНФОРМ» для визуализации и анализа электрического поля сердца//Мед. акад. журн. 2005. №5. С.74–79.
11. *Arbel E.R., Liberthson R., Langendorf R., et al.* Electrophysiologica and anatomical observations on the heart of the African lungfish // Am. J.of Physiol. 1977. Vol. 232, № l. P. 24–34.
12. *Smirnova S., Roshchevskaya I., Roshchevsky M.* Comparison of propagation of atrial excitation with the cardiopotential distribution on the body surface of fish // Electrocardiology 2014: Proc. of the 41st Intern. Congr. on Electrocardiology (June 4-7, 2014, Bratislava, Slovakia). 2014. P. 237–240.
13. *Gonzalez M.D., Erga K.S., Rivera J. et al.* Rate-dependent block in the sinus venosa of the swine heart during transverse right atrial activation: correlation between electrophysiologic and anatomic findings // J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2005. Vol. 16, № 2. P. 193–200.
14. *Sedmera D., Reckova M., de Almeida A. et al.* Functional and morphological evidence for a ventricular conduction system in zebrafish and Xenopus hearts // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2003. № l284. H1152-H1160.
15. *Mirvis D.M.* Body surface electrocardiographic mapping. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988. 204 p.

References

1. *Farrell A.P., Jones D.R.* Fish Physiology. San Diego: Acad. Press, Inc, 1992. 340 p.
2. *Lieschke G.J., Currie P.D.* Animal models of human disease: zebrafish swim into view // Nat. Rev. Genet. 2007. Vol.8. № 5. P. 353-67.
3. *Hu N., Sedmera D., Yost H.J., et al.* Structure and function of the developing zebrafish heart // Anat. Rec. 2000. Vol. 260. P. 148-157.
4. *Simoes-Costa M.S., Vasconcelos M,, Sampaio A.C., et al.* The evolutionary origin of cardiac chambers // Developmental Biol. 2005. Vol. 277. P. 1-15.
5. *Haverinen J.* Effects of temperature on the electrical excitability of fish cardiac myocytes. Joensuu: University. 2008. 159 p.
6. *Tessadori F., van Weerd J.H., Bur khard S.B., et al.* Identification and functional characterization of cardiac pacemaker cells in zebrafish // PloS ONE. 2012. Vol. 7. № 10. e 47644.
7. *Shmakov D.N., Roshchevsky M.P.* Aktivacija miokarda [Activation of the myocardiym] / Inst. of Physiology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Syktyvkar, 1997. 165 p.
8. *Smirnova S.L., Roshchevskaya I.M.* Kardiojelektricheskoe pole na poverhnosti tela svin'i v period depoljarizacii predserdij [Cardioelectric field on the pig body surface during atrial depolarization] // Fundament. Res. 2013. № 11. P. 701-705.
9. *Smirnova S.L., Roshchevskaya I.M., Roshchevsky M.P.* Posledovatel'nost' depoljarizacii miokarda predserdij svin'i (*Sus Scrofa Domesticus*) [Sequence of depolarization of pig atrial myocardium (*Sus Scrofa Domesticus)*] // J. of Evolut. Biochem. And Physiol. 2012. Vol. 48, №4. P. 386-389.
10. *Roshchevsky M.P., Arteeva N.V., Kolomeets N.L. et al.* Sistema «KARDIOINFORM» dlja vizua-lizacii i analiza jelektricheskogo polja serdca [The system "CARDIOINFORM" for visualization and analysis of cardiac electric field]// Med. Academic J. 2005. № 5. P. 74-79.
11. *Arbel E.R., Liberthson R., Langendorf R., et al.* Electrophysiologica and anatomical observations on the heart of the African lungfish // Am. J.of Physiol. 1977. Vol. 232, № l. P. 24-34.
12. *Smirnova S., Roshchevskaya I., Roshchevsky M.* Comparison of propagation of atrial excitation with the cardiopotential distribution on the body surface of fish // Electrocardiology 2014: Proc. of the 41st Intern. Congr. on Electrocardiology (June 4-7, 2014, Bratislava, Slovakia). Bratislava: Publ. House of the Slovak Acad. of Sci, 2014. P. 237-240.
13. *Gonzalez M.D., Erga K.S., Rivera J., et al.* Rate-dependent block in the sinus venosa of the swine heart during transverse right atrial activation: correlation between electrophysiologic and anatomic findings // J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2005. Vol. 16, № 2. P. 193-200.
14. *Sedmera D., Reckova M., de Almeida A., et al.* Functional and morphological evidence for a ventricular conduction system in zebrafish and Xenopus hearts // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2003. № l284. H1152-H1160.
15. *Mirvis D.M.* Body surface electrocardiographic mapping. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988. 204 p.

Статья поступила в редакцию 06.05.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 553.492.1.014.3:622.349.21 (234.83)

ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОКСИТОВ ТИМАНА

Е.П. КАЛИНИН

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

В работе показаны ресурсный потенциал бокситов и объемы добычи бокситового сырья в ведущих странах мира. Россия попадает в десятку стран с общими запасами 750 млн. т, с долей в мире подтвержденных запасов 3,2 %. Целесообразна организация новых производств с учетом имеющихся запасов. Необходима разработка специальной республиканской программы, объединяющей вопросы геологии, добычи и комплексной переработки бокситов и каолиновых глин Тимана.

Ключевые слова: **бокситы, глинозем, кремневый модуль, боксито-глиноземный комплекс, красный шлам, редкие элементы бокситов**

E.P. KALININ. PROBLEMS OF INTEGRATED USE OF TIMAN BAUXITES

At the present stage of economic development of the Komi Republic a considerable interest is drawn to the problem of development of high-quality Middle Timan bauxites. The Komi Republic holds about 30 % of proven reserves of bauxites of Russia. On this basis it is possible to create a powerful modern production, providing deep processing of mineral raw. The rocks allow producing rough ceramics, mineral wool, tiles, gravel and cement. Based on the bauxite-related kaolinite clays it is possible to organize the production of porcelain, earthenware and ceramics. The phosphorous bauxites recycling results in the production of potassium and phosphate fertilizers. The electrical fusion of high-ferrous bauxites allows producing high-grade cast iron alongside with alumina. The elements of bauxites can be used for recovery of industry concentrations of rare metals (gallium, vanadium, niobium, scandium, rare earth metals). The most promising production is the production of refractories, portland cement, coagulants, ceramics and certainly alumina for metal aluminum. In general all the necessary conditions were prepared to develop mineral resource base of the region and to create a diversified mining and processing industries.

Keywords: **bauxites, alumina, silicon module, bauxite and alumina complex, red mud, bauxite rare elements**

Мировые ресурсы бокситов

Основным природным сырьем для получения алюминия являются бокситы, которые на 98 % обеспечивают мировое производство алюминия. В меньшей степени алюминий извлекается из нефелиновых сиенитов, анортозитов, алунитов, высокоглиноземистых глин и сланцев. Бокситы сложены гидратами глинозема (диаспоры и гидроаргиллиты) с примесью гидроксидов железа, титана, гематита, сидерита, опала, алюмосиликатов и других минералов. Средние содержания глинозема в разрабатываемых бокситах достигают 55 %, нефелинах – 28, в алунитах – около 20 %. Важным показателем качества бокситов является *кремневый модуль* (Al_2O_3/SiO_2), который для самых низких сортов бокситов должен быть не ниже 2 % при содержании глинозема не менее 37 %. Высокосортные бокситы характеризуются величиной этого модуля более 10% и содержаниями глинозема свыше 50 %.

Около 95 % мировых ресурсов бокситов связано с латеритными корами выветривания. Это остаточные и переотложенные месторождения, в первую очередь Гвинеи, Австралии, Гайаны. Остальные бокситы – с осадочными месторождениями в терригенных и карбонатных толщах Ямайки, Гаити, Греции, Югославии, Тихвинского, Северо-Уральского, Южно-Уральского и Салаирского районов России и др. Выявленные ресурсы бокситов учтены в 83 странах мира и на 01.01.2002 г. (табл. 1) составляли 81,6 млрд. т. Примерно 87 % мировых общих и такая же доля подтвержденных запасов бокситов сосредоточены в шести странах: в Гвинее – 52 и 37% соответственно, Австралии – 11 и 19, Бра-

Таблица 1

Запасы бокситов ведущих стран мира (01.01.2002 г.) [3]

Страны	Общие запасы, млн. т	Доля в мире, %	Подтвержденные запасы, млн. т	Доля в мире, %	Содержание глинозема
Гвинея	20900	51,6	7400	36,7	52
Австралия	4400	10,9	3764	18,7	48
Бразилия	2900	7,2	1800	8,9	51
Индия	2654	6,5	1027	5,1	47
Ямайка	2000	4,9	2000	9,9	47
Гайана	1190	2,9	685	3,4	57
Вьетнам	1000	2,5	351	1,7	41
Россия	750	1,9	650	3,2	46
Всего в мире	40527	100	20142	100	–

зилии – 7 и 9, Индии – 7 и 5, Ямайке – 5 и 10, Гайане – 3 и 3, России – 2 и 3 %.

В 2001 г. в мире было добыто 137,7 млн. т бокситов. В 2002 г. добыча возросла до 141 млн. т. Обеспеченность мировой экономики подтвержденными запасами при сохранении нынешнего уровня добычи составляет около 150 лет. Однако в 1980 г. в мире добывалось около 76 млн. т бокситов. Значит, средний темп роста добычи за длительный период составил около 3 % в год. При сохранении этих темпов подтвержденные запасы достаточны для 56 лет добычи [3]. В 2008 г. в мире было добыто 220,98 млн. т бокситов; таким образом, мировая добыча выросла в 2,5 раза по сравнению с 1980 г., почти удвоилась по сравнению с 1990 г. и выросла на 60 % по сравнению с 2000 г. [5].

В России запасы бокситов невелики и сосредоточены в основном на Урале, Тимане и в районе КМА. Дефицит бокситовых руд частично восполняется за счет нефелинового сырья (месторождения Хибиногорной группы в Мурманской области и Кия-Шалтырское месторождение в Кемеровской области). Выявленные ресурсы нефелиновых руд в России на 01.01.2002 г. составляли 6,9 млрд. т, общие запасы – 2,6 млрд. т, подтвержденные – 2,4 млрд. т.

Создание боксито-глиноземного комплекса в Республике Коми

Февраль 1998 г. вошел в историю Республики Коми как знаменательная дата: начало зарождения новой горнорудной отрасли — бокситовой. Честь открытия как южнотиманских, так и среднетиманских бокситовых месторождений принадлежит геологам Ухтинской геологоразведочной экспедиции [7]. В.В. Беляевым (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН) детально исследованы древние коры выветривания и бокситовые месторождения Южного и Среднего Тимана. Им проведена детальная минералогическая и геохимическая типизация бокситов и обоснована возможность их комплексного использования, разработаны критерии прогнозирования и поисков новых месторождений. В.В. Беляевым лично и в соавторстве опубликовано более 40 научных работ, в том числе четыре монографии, посвященные минералогии и геохимии бокситов и других высокоглиноземистых пород (каолинов) Тимана [7–11].

Среднетиманский бокситовый рудник (СТБР) был введен в действие акционерным обществом «Боксит Тимана» в 1998 г. Сырьевой базой являются месторождения бокситов Ворыквинской группы: Вежаю-Ворыквинское, Верхнещугорское и Восточное. Бокситы Ворыквинской группы подразделяются на глиноземные, маложелезистые и абразивные сорта. Добыча бокситов Среднего Тимана началась в феврале 1998 г. с разработки рудного тела № 2 центральной залежи Вежаю-Ворыквинского месторождения. Динамика добычных работ на руднике впечатляющая: от 63 479 т бокситов в 1998 г. до 2 010 864 т в 2005 г. Статистика по годам: 1998 г. – 63 479 т; 1999 г. – 336 511 т; 2000 г. – 521 579 т; 2001 г. – 701 114 т; 2002 г. – 626 961 т; 2003 г. – 974 106 т; 2004 г. – 1 468 411 т; 2005 г. – 2 010 864 т [1].

Основной объект добычных работ – бокситы глиноземных сортов, направляемые на переработку на глиноземные заводы России. Первым и основным потребителем тиманских бокситов был и остается Уральский алюминиевый завод. Кроме этого, Среднетиманский бокситовый рудник поставляет бокситы на Челябинский абразивный завод, где из них производят высококачественные корунды и электрокорунды для абразивной промышленности (табл. 2).

Глиноземный завод

Дальнейшие перспективы развития СТРБ прямо связаны со строительством на базе месторождений Ворыквинской группы завода по производству глинозема в Сосногорском районе Республики Коми. Для обеспечения нормального функционирования проектируемого глиноземного завода необходимо увеличить мощность СТБР до 6,5 млн. т боксита в год, в том числе 5,5 млн. т гидрохимического (байеровского) сорта и 1 млн. т спекательного сырья. Капитальные вложения для окончательного решения всех организационных мероприятий по обустройству рудника составят 43,6 млрд. руб. [2].

Сосногорский глиноземный завод при производстве 1,4 млн. т главной товарной продукции в год позволит сократить имеющийся в настоящее время дефицит сырья для российской алюминиевой промышленности на 30–40 %. Конкурентоспособность сосногорского глинозема будет обеспечиваться его относительно низкой себестоимостью. В результате осуществления этого проекта Республика Коми получит солидного экономического партнера, а в ее бюджет новый налогоплательщик будет ежегодно перечислять около 2 млрд. руб. Кроме того, компания намерена задействовать в боксито-глиноземном комплексе свыше 2,5 тыс. работников, основную часть которых будут набирать и готовить в республике.

Строительство нового глиноземного завода позволит в перспективе вовлечь в эксплуатацию имеющиеся на Южном Тимане низкокачественные месторождения бокситов. После ввода глиноземного завода в эксплуатацию планируется ежегодно на-

Таблица 2

Объемы поставок бокситов Среднетиманского бокситового рудника на заводы страны, т [1]

Год	Всего за год	Завод-потребитель					
		УАЗ	БГЗ	ЧАЗ	БАЗ	ПГЗ	АГК
1998	63479	63078	–	401	–	–	–
1999	336511	283285	30295	22931	–	–	–
2000	521579	466399	26187	28994	–	–	–
2001	701114	474607	160861	12304	53342	–	–
2002	626961	605295	–	1530	20136	–	–
2003	974106	740300	–	17782	216024	–	–
2004	1468411	953209	–	12627	502575	–	–
2005	2010864	1039128	147416	18613	615282	146702	43724

Примечание: УАЗ – Уральский алюминиевый завод, БГЗ – Бокситогорский глиноземный завод, ЧАЗ – Челябинский абразивный завод, БАЗ – Богословский алюминиевый завод, ПГЗ – Пикалевский глиноземный завод, АГК – Ачинский глиноземный комбинат.

правлять 40 млн. руб. на реализацию мероприятий по охране окружающей среды.

Проект «Коми Алюминий», осуществляемый в республике компаниями СУАЛ и РУСАЛ, позволит создать в итоге мощное современное производство, обеспечивающее глубокую переработку минерального сырья, станет продолжением стратегии перевода экономики республики с сырьевой направленностью на выпуск конечной промышленной продукции.

Пути реализации комплексного использования бокситов Тимана

При освоении бокситовых месторождений весьма актуальной является проблема комплексного использования сырья. Так, наряду с бокситами для глиноземного производства экономически эффективно освоение бокситов для огнеупорной промышленности и изготовления абразивов. Из пород вскрыши можно производить грубую керамику, минеральную вату, облицовочную плитку, щебень, цемент и другие стройматериалы. На основе каолиновых глин возможна организация производства различных разновидностей фарфора, фаянса и керамики. Имеется сырье для стекольной (микроклиниты) и стекловолоконной (базальты) промышленности. Бокситовые руды, глинозем, вмещающие породы (глины, аллиты), красный шлам могут использоваться для различных видов керамики: муллитовой, корундовой, керамических ферромагнетиков. При переработке фосфорсодержащих бокситов можно получить калийно-фосфорные удобрения. При электроплавке высокожелезистых бокситов, наряду с глиноземом, можно производить высокосортный чугун. Бемитовый шлам пригоден для изготовления цемента [2].

Одной из важнейших задач переработки бокситов является проблема переработки красного шлама. С ним теряется много элементов-примесей (ниобий, хром, скандий). Красные шламы перспективны для выделения редкоземельных элементов, титана. При переработке красных шламов решается и большое количество экологических вопросов. Возможны утилизация красных шламов путем комплексной пирометаллургической переработки на чугун, глинозем, щелочь, редкие и рассеянные металлы, а также комплексная гидрометаллургическая переработка (кислотные способы). Красные шламы могут быть использованы в производстве строительных, дорожных, керамических материалов, цемента и флокулянтов.

Из перспективных для попутного извлечения элементов необходимо отметить галлий, ванадий, ниобий, скандий, редкоземельные металлы. Формы нахождения редких элементов в породах субстрата определяют их поведение в процессе выветривания. Редкие элементы в бокситах входят в состав карбонатной (Zn, Pb, Co, TR, Sc, Ni, Sr) и алюмосиликатной (Ga, Sc, V, Ni, Nb) составляющих породы, а также в состав акцессорных минералов (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, As, TR, V, Sc, Nb, Ti). Последние представлены сульфидами, арсенидами, титанониобатами, фосфатами и алюмосульфосфатами. Предполагается поэтапное вовлечение редких элементов в гипергенный процесс в соответствии с последовательностью разложения породообразующих минералов (карбонатов, полевых шпатов, слюд, кварца). Редкие элементы, входящие в состав устойчивых к выветриванию акцессорных минералов, могут образовывать остаточные концентрации [4].

Для примера рассмотрим рассчитанные варианты некоторых экономических показателей ряда компонентов Верхнещугорского и Восточного месторождений бокситов [6].

Годовой выпуск товарной продукции Верхнещугорского и Восточного месторождений:

– глинозем – 1790–2005 т;
– базальт для огнеупорной промышленности – 100 тыс. т;
– щебень – 5500 тыс. $м^3$;
– галлий – 31,3 – 35,1 т;
– V_2O_5 – 119,8 – 144,2 т.

Годовая прибыль Верхнещугорского и Восточного месторождений:

Всего 23–31,4 млн. руб.;
В том числе:
– глинозем – 5,9–8,7 млн. руб.;
– базальт для огнеупорной промышленности – 2,62–2,76 млн. руб.;
– щебень – 17,08 млн. руб.;
– редкие металлы – 3–3,6 млн. руб.

При этом обнаруживается, что годовая прибыль по редким металлам в изученных бокситах

составляет около 10 % от общей стоимости всех компонентов бокситового сырья (3–3,6 млн. руб. от всего 23–31,4 млн. руб.)

Организация новых производств и продуктов переработки бокситов Тимана

Наиболее перспективными являются производства огнеупоров, портландцемента, коагулянтов, керамики.

Производство коагулянтов. В нашей стране и за рубежом широкое распространение получили неорганические коагулянты, из которых наиболее существенное значение имеют сульфат алюминия и полиалюминий-хлорид. Область применения этих реактивов весьма разнообразна: очистка бытовых и промышленных стоков, очистка вод перед закачкой в нефтяные пласты. Важным потребителем сульфата алюминия является целлюлозно-бумажная промышленность. Низкоосновной оксихлорид алюминия опробован в производстве картона и цемента. Применение этого коагулянта в картонном производстве улучшает физико-механические свойства картона, в производстве цемента – увеличивает прочность бетона. Он может использоваться в системах бурения и тампонажных работах. Коагулянты найдут широкое применение в промышленности Республики Коми.

Технология производства сульфата алюминия сравнительно проста. В качестве основного сырьевого компонента используется гидрооксид алюминия. Однако, учитывая его дороговизну, сульфат алюминия получают из природного сырья: бокситов, каолинов, нефелина. Из высокожелезистых бокситов и красных шламов могут быть получены смешанные алюможелезистые коагулянты.

Сырьем для производства коагулянтов в Республике Коми являются высококремнистые белые бокситы Вежаю-Ворыквинского месторождения, обеленные аллиты северных залежей Верхнещугорского месторождения, некондиционные бокситы всех месторождений. В изготовлении коагулянтов могут применяться красные шламы.

Производство абразивов. Среднетиманские месторождения содержат значительные запасы абразивных сортов бокситов, составляющих около четверти от общих запасов руд. В настоящее время они являются единственным сырьевым источником для производства абразивов в России.

Запасы и качество бокситов позволяют организовать производство электрокорунда, но при этом необходима сравнительная экономическая оценка выгодности данного производства по сравнению с производством глинозема. Цена электрокорунда (1992 г.) размерностью 8–250 меш. составляла: коричневого (94 % Al_2O_3) – 380–450 фунтов стерлингов за тонну; белого (99,5 % Al_2O_3) – 530–600 фунтов стерлингов за тонну.

Производство огнеупорных материалов и изделий. В составе бокситовых руд среднетиманского района имеются маложелезистые разности, пригодные для производства огнеупорных изделий. Основное количество этих руд (около 80 % общих их запасов) сосредоточено в Вежаю-Ворыквинском месторождении. Меньшее количество, но очень высокого качества установлено в северных залежах Верхнещугорского месторождения. Потребности страны в белых маложелезистых бокситах составляют 0,5 млн. т, на будущее возможен рост потребления до 1 млн. т. Лабораторно-технологические испытания белых бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения показали их пригодность для производства муллитокремнеземистых изделий, а также разнообразных высокоглиноземистых неформованных огнеупоров.

Этот вид сырья, вероятно, пригоден не только для производства огнеупоров, но и при производстве безусадочных цементов для жаропрочных бетонов. В настоящее время жаропрочные бетоны получают все большее применение, так как они дают существенную экономию за счет удешевления и ускорения монтажных работ и удлинения сроков службы тепловых агрегатов.

Самостоятельное значение может иметь в Республике Коми добыча каолинового сырья в перспективных районах Южного Тимана. С распадом СССР Россия осталась без качественной сырьевой базы каолинов. Потребители каолина имеются и в Республике Коми. Это целлюлозно-бумажный комбинат, а также строящееся производство санитарно-фаянсовых изделий. К 2005 г. ежегодная потребность российской промышленности в обогащенном каолине возросла до 1,3 млн. т. Все выше сказанное свидетельствует о целесообразности финансирования геологоразведочных работ на создание сырьевой базы каолинов [9].

Заключение

Республика Коми располагает мощным потенциалом глиноземного сырья, в том числе бокситами глиноземных, абразивных, огнеупорных сортов с повышенным содержанием редких металлов, фосфатобокситами, каолиновыми глинами. Разведанные запасы Среднего Тимана достаточны для их добычи и организации перерабатывающих производств. Состав и качество бокситов позволяют получать из них разнообразные товарные продукты. Создание глиноземного производства в Республике Коми, помимо поставок глинозема на алюминиевые заводы, необходимо ориентировать на выпуск разнообразных товарных продуктов. Целесообразна организация новых производств, в частности коагулянтов, портландцемента, огнеупоров, керамики. Учитывая острую нужду в качественных каолиновых глинах, в России необходимо возобновить геологоразведочные работы на этот вид сырья на перспективных площадях Южного Тимана [9].

Сложившаяся ситуация в балансе глиноземного сырья в России выдвигает Республику Коми как наиболее перспективную. В этой связи необходима разработка специальной республиканской программы, объединяющей вопросы геологии, добычи и комплексной переработки бокситов и каолиновых глин [7–9].

Литература

1. *Броневой В.А., Мальцев К.Р., Карапетян А.В., Иевлев А.А.* Создание современного бокситоглиноземного комплекса в Республике Коми// Горный журнал. 2007. № 3. С. 28–31.
2. *Витязева В.А., Гуменюк А. С., Естафьев Г. А., Лихачев В. В.* Проблемы комплексного освоения месторождений бокситов Тимана // Материалы конф. «Природные ресурсы и производительные силы Республики Коми». Сыктывкар, 1993. 27 с.
3. *Еремин Н.И., Дергачев А.Л.* Экономика минерального сырья. 2-е изд. М.: КДУ, 2008. 504 с.
4. *Лихачев В.В.* Редкометалльность бокситовой коры выветривания Среднего Тимана. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1993. 224 с.
5. *Ремизова Л.И.* Алюминий. Минеральное сырье: от недр до рынка//Научный мир. 2011. 496 с.
6. *ТЭО постоянных кондиций* для подсчета запасов Верхнещугорского и Восточного месторождений бокситов Среднего Тимана. Л.: Гипроникель, 1988.
7. *Беляев В.В., Яцкевич Б.А., Швецова И.В.* Девонские бокситы Тимана. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1997. 187 с.
8. *Беляев В.В.* Минерально-сырьевая база алюминиевой промышленности России: состояние и перспективы. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1999. 66 с.
9. *Беляев В.В.* Каолины России: состояние и перспективы сырьевой базы. Сыктывкар, 2003. 60 с.
10. *Фишман М.В.* Беляев Вячеслав Васильевич// Люди науки. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 1997. С. 32–33.
11. *Юшкин Н.П.* Беляев Вячеслав Васильевич // Библиография ученого. Сыктывкар, 2004. 36 с.

References

1. *Bronevoi V.A., Maltsev K.R., Karapetyan A.V., Ievlev A.A.* Sozdanie sovremennogo boksitoglinozemnogo kompleksa v Respublike Komi // Gornyi zhurnal [The creation of a modern bauxite-alumina complex in the Komi Republic// Mining J.], 2007. No. 3. P. 28-31.
2. *Vityazeva V.A., Gumenyuk A.S., Estafyev G.A., Likhachev V.B.* Problemy kompleksnogo osvoeniya mestorozhdenii boksitov Timana // Materialy konf. “Prirodnye resursy i proizvoditel'nye sily Respubliki Komi” [Problems of complex development of the Timan bauxites deposits // Proc. of the Conf. "Natural resources and productive forces of the Komi Republic], Syktyvkar, 1993. 27 p.
3. *Eremin N.I., Dergachev A.L.* Ekonomika mineral'nogo syr'ya [Economy of mineral raw materials]. 2-nd edition. Moscow: KDU, 2008. 504 p.
4. *Likhachev V.V.* Redkometal'nost' boksitovoi kory vyvetrivaniya Srednego Timana [The rare metal content of the bauxite crust of weathering of the Middle Timan]. Syktyvkar: Komi Sci.Centre, Ural Branch, RAS, 1993. 224 p.
5. *Remizova L.I.* Alyuminii / Mineral'noe syr'e: ot nedr do rynka // Nauchnyi mir [Aluminum/ Mineral raw materials: from the depths to the market // Research world], 2011. 496 p.
6. *TEO postoyannykh* konditsii dlya podscheta zapasov Verkhneshchugorskogo i Vostochnogo mestorozhdenii boksitov Srednego Timana [Feasibility study of permanent conditions for calculation of reserves of Verkhneshchugorsky and Vostochny deposits of the Middle Timan bauxites]. Leningrad: Gipronikel', 1988.
7. *Belyaev V.V., Yatskevich B.A., Shvetsova I.V.* Devonskie boksity Timana [Devonian bauxites of the Timan]. Syktyvkar. Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 1997. 187 p.
8. *Belyaev V.V.* Mineral'no-syr'evaya baza alyuminievoi promyshlennosti Rossii: sostoyanie i perspektivy [Mineral-raw material base of aluminum industry of Russia: condition and prospects]. Syktyvkar: Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 1999. 66 p.
9. *Belyaev V.V.* Kaoliny Rossii: sostoyanie i perspektivy syr'evoi bazy [Kaolins of Russia: condition and prospects for raw materials]. Syktyvkar, 2003. 60 p.
10. *Fishman M.V.* Belyaev Vyacheslav Vasilyevich// Lyudi nauki [People of science]. Syktyvkar: 1997. P. 32-33.
11. *Yushkin N.P.* Belyaev Vyacheslav Vasilyevich// Bibliografiya uchenogo [Bibliography of the scientist]. Syktyvkar, 2004. 36 p.

Статья поступила в редакцию 06.05.2015.

УДК 549:553.41

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ЖИЛЬНОМ КВАРЦЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕКУЩИЙ (ЧУКОТКА)

Н.В. СОКЕРИНА, С.К. КУЗНЕЦОВ, С.И. ИСАЕНКО, В.Н.ФИЛИППОВ

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

Проведено изучение минерального состава руд и флюидных включений в кварце золоторудных жил проявления Секущий (Чукотка). Показано, что формирование проявления Секущий обусловлено интенсивной гидротермальной деятельностью в меловое (позднемеловое) время, инициировавшейся процессами регионального метаморфизма и внедрением гранитоидов. Впоследствии на них и на вмещающие породы наложилась рудная минерализация. Рудообразование было стадийным, сопровождалось перерывами и тектоническими подвижками. Выделены две основные рудные стадии: пирит-арсенопиритовая и золото-халькопирит-галенит-сфалеритовая.

Ключевые слова: **золоторудная минерализация, жильный кварц, флюидные включения**

N.V. SOKERINA, S.K. KUZNETSOV, S.I. ISAENKO, V.N. FILIPPOV. **MINERALOGYCAL FEATURES OF ORES AND FLUID INCLUSIONS IN VEIN QUARTZ OF OCCURRENCE SEKUSHCHY (CHUKOTKA)**

The study of mineral composition of ores and fluid inclusions in quartz veins of gold ore veins of the occurrence Sekushchy (Chukotka) were carried out. Such minerals as gold, pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, galena, sphalerite were described. The authors noted the presence of xenotime, monazite and rare-earth phases of erbium and thulium in the ores. In the vein quartz various fluid inclusions were found: a) three-phase inclusions with a gas phase content of 50-70 vol. %, b) three-phase inclusions with a gas phase content of 25-70 vol. %, c) two-phase inclusions, consisting completely of liquid and gaseous carbon dioxide. It is shown that the formation of the gold occurrence Sekushchy resulted from intensive hydrothermal activity in the Cretaceous (Late Cretaceous) time that was initiated by the processes of regional metamorphism and injection of granitoids. Initially, mainly in the areas of dislocation with a break of continuity occurred the formation of quartz, quartz-carbonate veins and veinlets. Later ore mineralization superimposed on this veins and host rocks. Mineralization was phasic, accompanied by interruptions and tectonic movements. Two main ore stages were distinguished: pyrite-arsenopyrite and gold-chalcopyrite-galena-sphalerite. The temperature of the mineral formation was 300-350°C, hydrothermal solutions were essentially saturated by carbon-dioxide.

Keywords: **gold mineralization, vein quartz, fluid inclusions**

Введение

Золоторудное проявление Секущий расположено на северо-востоке Чукотки в пределах Алярмагтынского рудного поля и охватывает территорию верхнего течения р. Куэквунь. Алярмагтынское рудное поле, в свою очередь, входит в состав Кувет-Куэквуньского рудного узла, находящегося в восточной части Кувет-Рывеемской металлогенической зоны. Систематическое геологическое изучение рассматриваемой территории начато в 1934 г. геологами Всесоюзного Арктического института В.И. Серпуховым, Д.В. Бойковым, В.Г. Дитмаром. Впоследствии выполнен большой объем геолого-съемочных и поисковых работ, составлены геологические карты разного масштаба, обнаружены многочисленные коренные и россыпные проявления золота, олова, вольфрама, выявлены закономерности их размещения, выделены рудные узлы и поля. Основные сведения о геологическом строении и рудоносности региона, включая Алярмагтынское рудное поле, изложены в работах В.И.Усенко, В.П.Полэ, В.А.Войнова и других геологов. В настоящее время поисковые работы ведутся Чаунской ГГП. Золоторудное проявление Секущий, относящееся к золото-кварцевой формации, является одним из наиболее перспективных. Выявлено более шести десятков кварцевых жил и минерализованных зон с промышленными содержаниями золота. Изучен вещественный состав руд [1]. Нами продол-

жены минералогические исследования и получены сведения о флюидных включениях в кварце золоторудных жил, ранее частично опубликованные.

Общие сведения о геологическом строении района

Алярмагтынское рудное поле находится в пределах Куэквуньского антиклинория, входящего в состав мегаструктуры северо-западного простирания – Чаун-Иультинской антиклинальной зоны, по периферии которой вдоль границы с Паляваамской синклинальной зоной протягивается Кувет-Иультинский структурный шов, состоящий из серии надвигов и глубинных разломов.

На площади Алярмагтынского рудного поля развиты терригенно-осадочные отложения нижнего карбона и верхней перми - нижнего триаса, слагающие Куэквуньский антиклинорий, метаморфизованные в условиях цеолитовой, зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Образования нижнего карбона (ленотапская толща) обнажены в ядре антиклинальной структуры. Преобладают песчаники и алевролиты с подчиненными маломощными прослоями сланцев, иногда единичными линзовидными прослоями известняков, известковистых песчаников и алевролитов. В зоне Кувет-Иультинского структурного шва породы сильно метаморфизованы и представлены полосчатыми и массивными кварцитовидными и кварц-полевошпатовыми кристаллическими сланцами, амфибол-пироксеновыми и пироксеновыми кристаллическими сланцами. Реже встречаются интенсивно карбонатизированные, окварцованные гранатовые кристаллические сланцы и отдельные пласты и линзы метаморфизованных известняков и мраморов.

Отложения верхней перми-нижнего триаса (иультинская свита) с размывом перекрывают нижнекаменноугольные образования. Эти отложения развиты на большей площади территории и представлены в нижней части разреза почти исключительно тонкослоистыми аргиллитами и, в меньшей степени, алевролитами. Верхи разреза характеризуются переслаиванием слоистых мелко-тонкозернистых кварцевых и полимиктовых песчаников и алевросланцев.

Из интрузивных образований наиболее широко развиты габбро-долериты ранне - среднетриасового анюйского комплекса. Они сосредоточены в сланцевых толщах иультинской свиты и образуют пластовые, субпластовые и лакколитообразные тела. Присутствуют также штокообразные тела габброидов. Кроме того, на рассматриваемой площади имеются выходы северной оконечности Куэквуньского массива гранитоидов раннемелового возраста (тауреранский комплекс), локализованного в ядре Куэквуньского антиклинория и прорывающего нижнекаменноугольные отложения. В южной части Алярмагтынского поля прослеживаются дайкообразные тела гранит-порфиров и лампрофиров, относящиеся к позднемеловому ичувеемскому комплексу. Гранит-порфиры прорывают как метаморфизованные нижнекаменноугольные отложения, так и гранитоиды Куэквуньского массива. Дайки лампрофиров развиты, преимущественно, в поле пород иультинской свиты верхней перми-нижнего триаса.

Крылья Куэквуньского антиклинория осложнены мелкой складчатостью зоной чешуйчатого надвига, плоскости которого согласны основному простиранию антиклинория (северо – западному, близкому к субширотному) и представляют собой пологие разрывные нарушения в подошве иультинской свиты. Породы вдоль разрывных нарушений сильно брекчированы, милонитизированы. Кроме пологих разрывных нарушений выделяются системы крутопадающих трещин северо-западного и северо-восточного направлений. К зонам разрывных нарушений приурочены кварцевые жилы и прожилки. Характерно гидротермально-метасоматическое изменение пород.

Рудопроявление Секущий расположено в междуречье Куэквунь-Алярмагтын на водоразделах ручьев Тыльвыкэнъев-Секущий-Сев.Умкырыннэт**.** В геологическом строении рудопроявления принимают участие в основном углисто-глинистые филлитизированые сланцы иультинской свиты, прорванные небольшими телами габбро-долеритов. Углистые сланцы представляют собой серые и тёмно-серые, почти черные породы с неясно выраженной сланцеватой текстурой.

В пределах рудопроявления широко развиты гидротермальные кварцевые жилы и зоны кварцевого прожилкования. Кварцевые жилы выполняют как полого, так и крутопадающие трещины разной ориентировки. Мощность жил составляет 0.4–3 м, по простиранию они прослеживаются до 20–50 м, иногда – до 400 м. Жилы сложены крупнокристаллическим, часто катаклазированным кварцем. В подчиненном количестве присутствуют карбонаты, мусковит. Часто отмечаются сульфиды, образующие прожилки, гнезда, вкрапленность в жильном кварце и вмещающих породах. Рудоносными являются преимущественно кварцевые жилы север-северо-западного простирания и жильно-прожилковые зоны северо-западного и субширотного простирания. Прожилково-жильные зоны северо-западного простирания имеют крутое падение (60–80^0), протяженность их по простиранию составляет от 300 до 800 м. Данные зоны характеризуются относительно слабой сульфидной минерализацией. Прожилково-жильные зоны субширотного простирания тяготеют к пологим нарушениям и прослеживаются на расстояние 500–3000 м. Они состоят из прожилков кварцевого и кварц-карбонатного состава с обильной вкрапленностью сульфидов.

Минеральный состав руд

Рудные тела проявления Секущий слагают кварцевые, кварц-карбонатные жилы, а также прожилково-жильные и прожилково-вкрапленные зоны с наложенной золото-сульфидной минерализацией. Сульфиды представлены главным образом пиритом, арсенопиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом, пирротином. Наряду с ними в рудах отмечаются тетраэдрит, буланжерит, бурнонит, матильдит, гессит, петцит, алтаит [1].

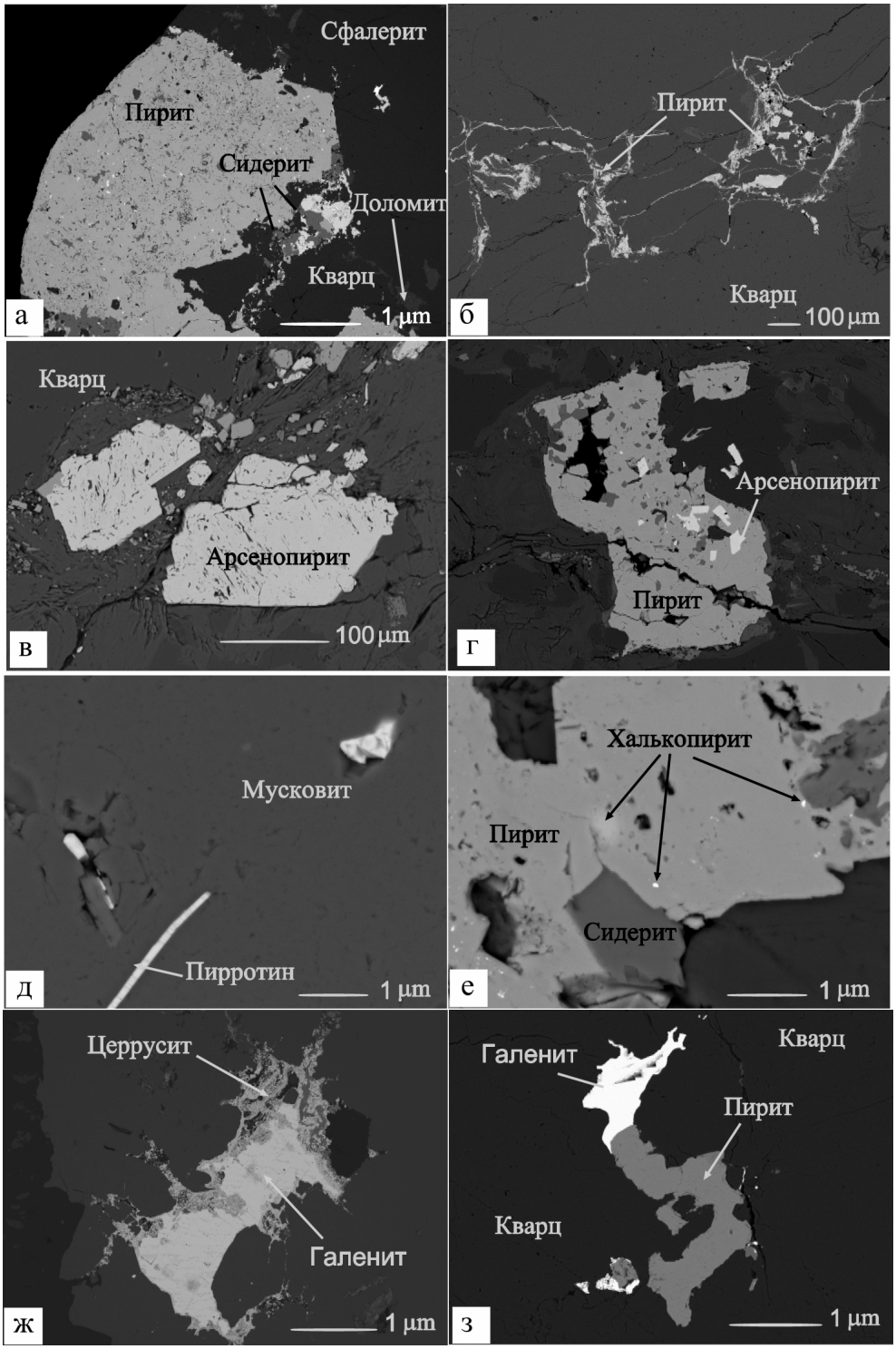


Рис. 1. Сульфиды в рудах месторождения Секущий: а, б – пирит; в, г – арсенопирит; д – пирротин; е – халькопирит; ж, з – галенит. СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов.

Кроме того, устанавливаются ксенотим, монацит, циркон, гудмундит, вольфрамит, апатит, киноварь, рутил и ряд других минералов, которые также связаны с гидротермальными и гидротермально-метасоматическими процессами. Согласно геохимическим данным для золотоносных жил и прожилково-жильных зон характерны повышенные содержания Au, As, Ag, Pb, Zn, Bi.

Пирит является самым распространенным рудным минералом, встречается в кварцевых жилах, прожилках и вмещающих породах в виде вкраплений, прожилок, переходящих иногда в сплошные зернистые массы. Величина зерен составляет 0.05–0.3 мм. Отмечаются отдельные довольно крупные (0.5–1 мм), хорошо ограненные кристаллы (рис. 1). Пирит находится в срастаниях с арсенопи-

ритом, сфалеритом, галенитом и чаще всего идиоморфен по отношению к ним. В зернах пирита наблюдаются включения золота, халькопирита, монацита, ксенотима и др. Вместе с этим, пирит в виде включений наблюдается в галените и сфалерите. В составе пирита иногда устанавливается As (до 2.5 мас. %).

Арсенопирит представлен как мелкими (0.05–0.2 мм) короткопризматическими выделениями, имеющими ромбическое сечение, так и более крупными (0.5–2 мм) изометричными кристаллами. Кроме того, иногда наблюдаются нарастания игольчатых индивидов арсенопирита на крупные кристаллы пирита. В самом арсенопирите отмечаются мельчайшие включения пирротина и халькопирита. Содержание As и S в арсенопирите варьирует. Встречаются зерна с повышенным содержанием S и пониженным As. Из примесей в составе арсенопирита устанавливаются Co (до 1.5 мас. %) и Ni (до 2.1 мас. %), которые образуют, кроме того, самостоятельные минеральные фазы, отвечающие составу *герсдорфита* и *кобальтина* (табл. 1, 2). Встречаются чисто мышьяковистые фазы, соответствующие *никельскуттерудиту*.

Размер зерен составляет 0.005–0.4 мм. Отмечаются срастания халькопирита с галенитом и сфалеритом.

Галенит присутствует в рудах практически повсеместно. Представлен зернами величиной от 0.1 до 5 мм часто в срастаниях с халькопиритом и сфалеритом. Кроме того, наблюдаются многочисленные мелкие точечные выделения и тонкие прожилки галенита в пирите и кварце, в которых вместе с галенитом отмечаются халькопирит и золото.

Сфалерит находится в тесной ассоциации и часто в срастаниях с халькопиритом и галенитом. Величина зерен варьирует от 0.1 до 1 мм. В составе сфалерита иногда отмечается Cd (до 0.8 мас. %).

Золото присутствует во многих кварцево-жильных, жильно-прожилковых, вкраплено-прожилковых зонах и во вмещающих их породах. Представлено частицами величиной от 0.01 до 4 мм относительно изометричной, сложной, иногда дендритовидной формы (рис. 2). Наиболее крупные золотины наблюдаются в участках дробления в жильном кварце. Достаточно часто золото в виде мелких частиц отмечается в тонких трещинах в пирите и арсенопирите, в интерстициях зерен суль-

Таблица 1

Химический состав герсдорфита, мас. %

Зерна	Ni	Fe	Co	Cu	Pb	As	S	Формула
1	21.43	6.45	3.17	2.50	6.08	40.90	19.47	$(Ni_{0.62}Fe_{0.2}Co_{0.09}Cu_{0.07}Pb_{0.05})_{1.03}As_{0.93}S_{1.04}$
2	21.27	8.18	1.08	1.50	4.76	40.91	22.32	$(Ni_{0.60}Fe_{0.24}Co_{0.03}Cu_{0.04}Pb_{0.04})_{0.95}As_{0.90}S_{1.15}$

Примечание. Здесь и далее анализы проведены в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН; аналитик В.Н.Филиппов, прибор: растровый электронный микроскоп JSM-6400 с энергетическим рентгеновским спектрометром фирмы Link. Все суммы приведены к 100 %

Таблица 2

Химический состав кобальтина и никельскуттерудита, мас. %

Зерна	Ni	Co	Fe	As	S	Формула
Кобальтин						
1	6.68	21.52	8.35	41.50	21.96	$(Co_{0.59}Ni_{0.18}Fe_{0.24})_{1.01}As_{0.89}S_{1.1}$
2	11.90	15.35	10.42	45.24	17.10	$(Co_{0.44}Ni_{0.34}Fe_{0.31})_{1.09}As_{1.01}S_{0.9}$
Никельскуттерудит (?)						
1	12.39	6.49	1.49	77.75	1.87	$(Ni_{0.58}Co_{0.31}Fe_{0.07})_{0.96}(As_{2.87}S_{0.16})_{3.03}$
2	12.04	6.08	1.52	79.45	0.91	$(Ni_{0.58}Co_{0.29}Fe_{0.08})_{0.94}(As_{2.98}S_{0.08})_{3.06}$
3	11.68	6.56	1.65	78.96	1.15	$(Ni_{0.56}Co_{0.31}Fe_{0.08})_{0.95}(As_{2.95}S_{0.1})_{3.05}$
4	11.73	6.61	1.58	78.90	1.18	$(Ni_{0.56}Co_{0.31}Fe_{0.08})_{0.95}(As_{2.95}S_{0.10})_{3.05}$

Пирротин встречается значительно реже, чем пирит и арсенопирит. Наблюдается в виде мелких (0.1–0.2 мм) клиновидных выделений в кварце, срастающихся с арсенопиритом и халькопиритом, и в виде крупных (0.5–1 мм) аллотриоморфных зёрен. Иногда отмечаются отчетливые замещения пирита пирротином, а пирротина – галенитом.

Халькопирит, как и пирит, широко распространен. Образует вкрапленность в участках развития трещин в кварце, пирите и арсенопирите. Величина зерен составляет 0.005–0.4 мм. Отмечаются срастания халькопирита с галенитом и сфалеритом.

Галенит присутствует в рудах практически повсеместно. Представлен зернами величиной от 0.1 до 5 мм часто в срастаниях с халькопиритом и сфалеритом. Кроме того, наблюдаются многочисленные мелкие точечные выделения и тонкие прожилки галенита в пирите и кварце, в которых вместе с галенитом отмечаются халькопирит и золото.

Сфалерит находится в тесной ассоциации и часто в срастаниях с халькопиритом и галенитом. Величина зерен варьирует от 0.1 до 1 мм. В составе сфалерита иногда отмечается Cd (до 0.8 мас. %).

Золото присутствует во многих кварцево-жильных, жильно-прожилковых, вкраплено-прожилковых зонах и во вмещающих их породах. Представлено частицами величиной от 0.01 до 4 мм относительно изометричной, сложной, иногда дендритовидной формы (рис. 2). Наиболее крупные золотины наблюдаются в участках дробления в жильном кварце. Достаточно часто золото в виде мелких частиц отмечается в тонких трещинах в пирите и арсенопирите, в интерстициях зерен сульфидов или на границе их с кварцем. Весьма характерны срастания золота с галенитом и халькопиритом либо их совместное нахождение в трещинах, секущих кварц, карбонаты, зерна пирита, арсенопирита. Вместе с этим, иногда золото обнаруживается в трещинах в галените. В отдельных случаях отмечаются субмикронные выделения золота в пирите и арсенопирите. В составе золота присутствует Ag в количестве 11.5–23.1 мас.% (табл. 3). Пробность колеблется от 689 до 879 %.

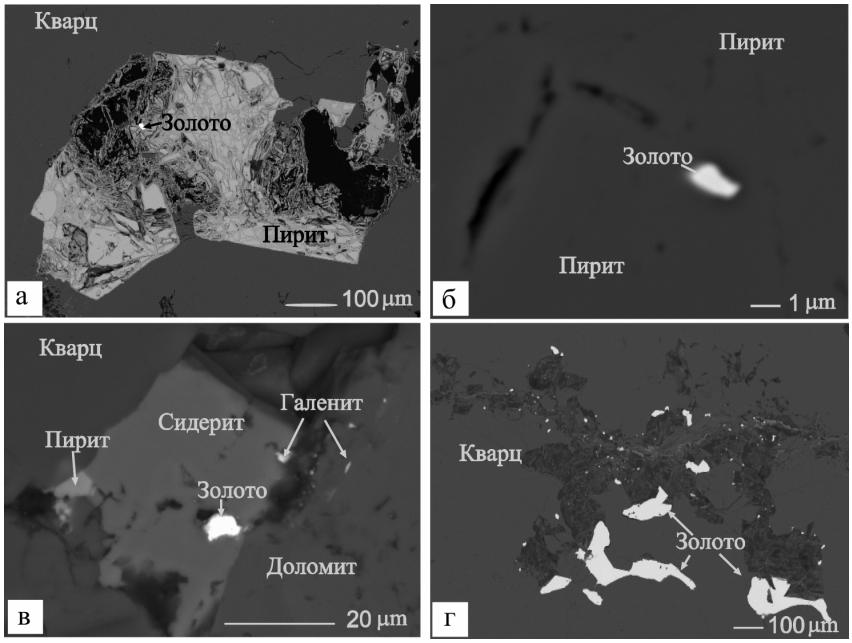


Рис. 2. Золото в рудах месторождения Секущий: а, б – тонкие выделения в пирите; в – в сидерите; г – в кварце. СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов.

Таблица 3

Химический состав самородного золота месторождения Секущий, мас. %

№ п/п	№ аншл	№ зерна	Au	Ag	Сумма	Проба
1	11911	1	83.91	11.53	95.44	879
2	0718	2	73.67	23.16	96.83	761
3	11802	1	76.36	21.05	97.41	784
4	11802	3	76.34	21.41	97.75	781

Вместе с сульфидами и золотом в рудах и породах нередко встречаются редкоземельные минералы, прежде всего, *монацит и ксенотим,* наблюдающиеся в виде зерен сложной формы величиной до 30 мкм (рис. 3). Монацит представлен цериевой разновидностью. В его составе присутствует Th, содержание которого достигает 6.2 мас. % (табл. 4). Ксенотим отмечается значительно реже монацита. В качестве примеси в нем постоянно устанавливается Er – до 4.3 мас. % (табл. 5). Кроме монацита и ксенотима в единичных случаях обнаруживаются мельчайшие зерна точно не диагностированных минеральных фаз необычного состава: Er-Sr, Tm-Al. Согласно данным микрозондового анализа в эрбиевой фазе содержание Er составляет 24.3–27.3, Sr – 21.8–26.1 мас. %, возможно, присутствуют и другие компоненты. В тулиевой фазе содержание Tm составляет 65.0–73.6, Al – 9.5–11.7 мас. %.

Флюидные включения в жильном кварце

Изучение флюидных включений в жильном кварце проводилось в двуполированных пластинах методами гомогенизации и криометрии с использованием термо-криостолика THMSG 600 фирмы Linkam, позволяющем проводить измерения при температурах от -196 до 600° С. Кроме того, методом рамановской спектроскопии оценивался состав газовой фазы (состав газовых пузырьков) включений (спектрометр LabRam HR800 (Horiba Jobin Yvon). Спектры снимались при комнатной температуре. Для их регистрации задействовалась решетка спектрометра 600 ш/мм, размер конфокального отверстия составлял 300, щель – 100 мкм, мощность возбуждающего излучения Ar+ лазера 120 мВт (514.5 нм). Для того, чтобы избежать влияния атмосферного азота, проводились замеры в матрице.

Присутствующие в жильном кварце флюидные включения весьма разнообразны по форме, величине, соотношению газовой и жидкой фаз [2]. По особенностям локализации можно выделить первичные и первично-вторичные включения (рис. 4). Первичные включения распространены относительно равномерно в объеме кварцевых зерен, первично-вторичные включения располагаются в

Таблица 4

Химический состав монацита, мас. %

№	CaO	P_2O_5	Ce_2O_3	La_2O_3	Pr_2O_3	Nd_2O_3	Sm_2O_3	Gd_2O_3	ThO_2	Формула
1	0.44	29.92	32.67	16.80	3.00	11.61	2.63	1.69	1.23	$(Ce_{0.47}La_{0.24}Nd_{0.16}Pr_{0.04}Sm_{0.04}Gd_{0.02}Ca_{0.02}Th_{0.01})_{1.0}(PO_4)$
2	1.27	30.99	29.63	15.87	3.41	11.83	–	–	6.99	$(Ce_{0.42}La_{0.23}Nd_{0.16}Pr_{0.05}Ca_{0.05}Th_{0.06})_{0.97}(PO_4)$
3	0.34	30.16	34.33	18.00	4.26	11.71	–	–	1.19	$(Ce_{0.49}La_{0.26}Nd_{0.16}Pr_{0.06}Ca_{0.01}Th_{0.01})_{0.99}(PO_4)$

Примечание. Здесь и далее прочерк – содержание элемента ниже предела обнаружения.

Таблица 5

Химический состав ксенотима, мас. %

№	CaO	P_2O_5	Y_2O_3	Sm_2O_3	Gd_2O_3	Dy_2O_3	Er_2O_3	Yb_2O_3	Формула
1	–	38.12	45.03	1.33	4.43	5.13	3.95	2.01	$(Y_{0.77}Dy_{0.05}Yb_{0.02}Sm_{0.02}Gd_{0.05}Er_{0.04})_{0.95}(P_{1.03}O_4)$
2	–	38.62	44.91	–	2.89	5.55	4.33	3.70	$(Y_{0.76}Dy_{0.06}Yb_{0.04}Gd_{0.03}Er_{0.04})_{0.93}(P_{1.04}O_4)$
3	0.54	41.11	45.20	–	3.61	5.97	3.57	–	$(Y_{0.74}Dy_{0.06}Gd_{0.04}Er_{0.03}Ca_{0.02})_{0.89}(P_{1.07}O_4)$

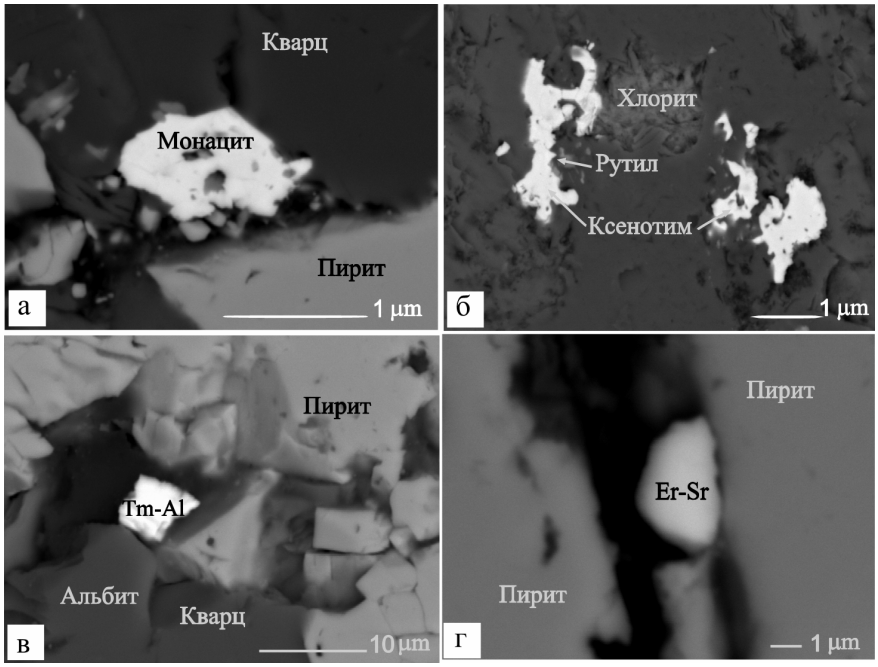


Рис. 3. Редкоземельные минералы в рудах месторождения Секущий: а, б – монацит, ксенотим; в,г – минеральные фазы состава Tm-Al (в), Er–Sr (г). СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов.

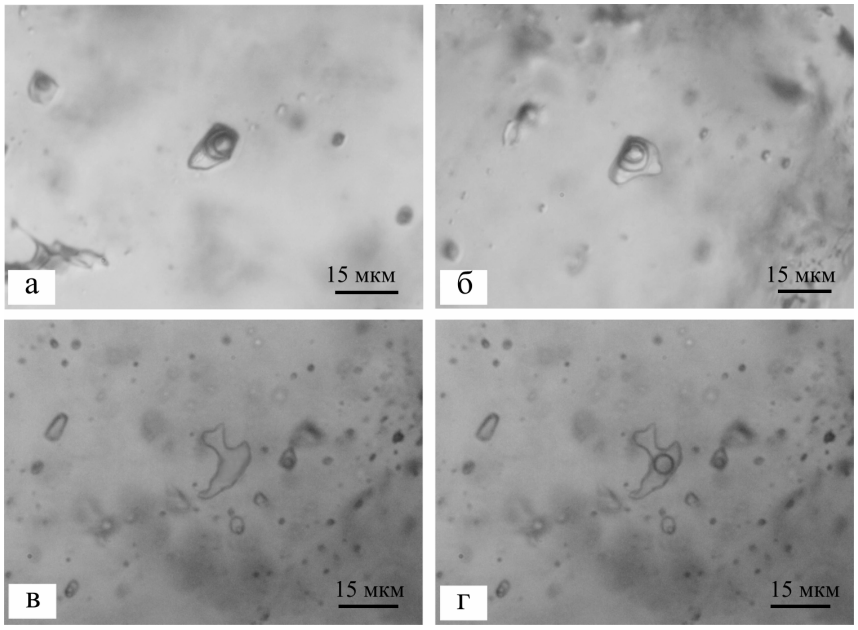


Рис. 4. Флюидные включения в золотоносном кварце месторождения Секущий: а, б – трехфазовые включения ($Ж_{H2O}$+$Ж_{CO2}$+$Г_{CO2}$); в, г – двухфазовое включение с жидкой углекислотой (д – при комнатной температуре; е – при -25 ˚С).

трещинах, образуя зоны, цепочки, не выходящие за пределы зерен. Первичные включения можно подразделить на следующие типы:

– трехфазовые включения с содержанием газовой фазы 50–70 об. %. Они имеют разнообразную форму, часто неправильную, реже с элементами огранки и форму обратного кристалла. Размер включений не превышает 10х7 мкм. В составе включений наблюдаются три фазы, представленные водным раствором ($Ж_{H2O}$), жидкой углекислотой ($Ж_{CO2}$) и газообразной углекислотой ($Г_{CO2}$) с примесями других газов. При замораживании во включениях всегда происходит образование газогидратов. Плавление газогидратов происходит при температуре 7.1–8.8°С, что свидетельствует о том, что давление внутри включений во время эксперимента приблизительно равно 4 МПа [3]. Плавление углекислоты происходило при температуре -56.6– -58.6°С. Известно, что температура плавления жидкой углекислоты равна -56.6°С. Более низкие температуры свидетельствуют о присутствии в составе газовой фазы низкокипящих газов. Плотность углекислоты изменяется в пределах 0.27–0.31 г/см^3. Включения гомогенизируются в газовую фазу в диапазоне температуры 342–369ºС (преимущественно при 340–350 ºС). Частичная гомогенизация (переход жидкой углекислоты в газовую фазу) происходит при 26.8–29.0 ºС;

– трехфазовые включения с содержанием газовой фазы 25–70 об. %, (обычно 50–60 об. %), гомогенизирующиеся в жидкую фазу. Такие включения имеют преимущественно неправильную форму, иногда с элементами огранки. Размер включений, как и в предыдущем случае, не превышает 10х7 мкм. В составе включений также наблюдаются три фазы, представленные водным раствором ($Ж_{H2O}$), жидкой углекислотой ($Ж_{CO2}$) и газообразной углекислотой ($Г_{CO2}$). При замораживании во включениях всегда происходит образование газогидратов. Плавление газогидратов наблюдается при температуре 7.1–8.0°С, что соответствует давлению внутри включений приблизительно 4 МПа. Плавление углекислоты происходило при температуре -56.6 – -59.9° С. Плотность углекислоты изменяется в пределах 0.66–0.88 г/см^3. Температура частичной гомогенизации равна 8.5–27.9° С. Температура полной гомогенизации составляет 300–320°С. При этом многие включения растрескиваются, не достигая температуры гомогенизации при температуре 250–300° С;

– двухфазовые включения, полностью состоящие из жидкой и газообразной углекислоты. Часто при комнатной температуре наблюдается

только одна фаза, вторая появляется при замораживании. Включения имеют разнообразную форму, иногда с элементами огранки. Размер включений обычно не превышает 15х15 мкм. Температура плавления углекислоты составляет -56.9 – -57.3° С. Плотность углекислоты изменяется в пределах 0.63-0.82 г/см^3. Включения гомогенизируются в жидкую фазу при температуре 15.8–28.8° С.

Среди первично-вторичных включений преобладают мелкие (до 5х5 мкм) неправильной формы двухфазовые включения, состоящие из водного раствора ($Ж_{H2O}$) и газообразной углекислоты ($Г_{CO2}$) с примесями других газов. Объем газовой фазы не превышает 10%. Температура гомогенизации включений составляет 139–281° С. Иногда отмечаются водные одно-двухфазовые включения. Они имеют неправильную форму и размер не более 3х3 мкм. В двухфазовых включениях присутствуют вода и пары воды ($Ж_{H2O} + Г_{H2O}$).

Методом рамановской спектроскопии в составе газовых пузырьков первичных и первично-вторичных флюидных включений устанавливаются углекислый газ, азот, метан. Углекислый газ является основным компонентом, содержание его изменяется в интервале 85.2–100 мол. % (табл. 6). В некоторых случаях газовая фаза полностью состоит из углекислого газа, но чаще всего вместе с ним присутствуют незначительные примеси азота и метана. Содержание азота колеблется в интервале 0–11.2 мол. % и в среднем составляет 6.6 мол. %. Метан отмечается в очень незначительных количествах 0–3.6 мол. %, в среднем – 1.6 мол. %. Соотношение CO_2/CH_4 в среднем равно 60.1, что свидетельствует об окислительных условиях минералообразования.

Таблица 6

Состав газовой фазы флюидных включений золотоносного кварца месторождения Секущее (по данным рамановской спектроскопии), мол. %

№	Характеристика включений	CO_2	N_2	CH_4	CO_2/CH_4
1	Трехфазовое включение $Ж_{H2O} + Ж_{CO2} + Г_{CO2}$	87.1	10.6	2.3	37.9
2	Однофазовое газовое включение $Ж_{CO2}$	100	0	0	-
4	Трехфазовое включение $Ж_{H2O} + Ж_{CO2} + Г_{CO2}$	93.0	6.6	0.4	232.5
5	Трехфазовое включение $Ж_{H2O} + Ж_{CO2} + Г_{CO2}$	93.8	4.6	1.5	62.5
6	Трехфазовое включение $Ж_{H2O} + Ж_{CO2} + Г_{CO2}$	85.2	11.2	3.6	26.4
Среднее		93.8	6.6	1.6	60.1

Условия рудообразования

Согласно существующим представлениям, формирование золоторудных месторождений рассматриваемого региона во многом связано с мезозойско-кайнозойскими аккреционно-складчатыми процессами, проявившимися в результате взаимодействия Сибирского палеоконтинента с океаническими плитами Тихого океана, и становлением Охотско-Чукотского вулкано-плутонического пояса [4–8]. В раннем триасе произошло формирование рифтообразных структур и внедрение габбро-диабазовых силлов. Меловое время знаменуется мощнейшей тектоно-магматической активизацией палеозоид и мезозоид, проявлением процессов регионального метаморфизма. В это время произошло заложение и развитие сети глубинных разломов, подновление древних нарушений, внедрение гранитоидов раннего и позднемелового возраста, сопровождавшееся процессами гнейсообразования и мигматизации.

Формирование месторождения Секущий, как и других золоторудных месторождений региона, обусловленное проявлением гидротермальных процессов, было длительным и стадийным. Это отмечалось ранее рядом авторов и подтверждается данными, полученными нами при минералогическом изучении руд. Вначале произошло формирование кварцевых и кварц-карбонатных жил. Весьма вероятно, что эти жилы образовались при зеленосланцевом метаморфизме терригенных толщ, вызвавшим гидротермально-метаморфогенные процессы с наиболее интенсивным их проявлением в зонах разрывных нарушений. Позднее произошло формирование собственно рудной минерализации, которая наложилась на кварцевые, кварц-карбонатные жилы и породы. Можно предполагать, что важнейшую роль в это время сыграли процессы гранитоидного магматизма (Куэквуньский массив, штоки и дайки гранит-порфиров) и связанные с ними гидротермальные процессы. Время рудообразования можно оценить как меловое или преимущественно позднемеловое.

Результаты наших исследований позволяют выделить две основные рудные стадии: пирит-арсенопиритовую и золото-халькопирит-галенит-сфалеритовую. На пирит-арсенопиритовой стадии произошло отложение пирита и арсенопирита с образованием вкраплений, прожилок, гнезд в кварцевых, кварц-карбонатных жилах и вмещающих породах. Судя по взаимоотношениям зерен пирита и арсенопирита, вначале кристаллизовался пирит, а затем – арсенопирит (последний нередко нарастает на кристаллы пирита). Можно допустить существование еще более раннего пирита и, возможно, высокосернистого беспримесного арсенопирита, образовавшихся на стадии диагенеза осадочных пород и переотложенных в ходе метаморфических и поздних гидротермальных процессов. Большой интерес представляет вопрос золотоносности пирит-арсенопиритовой стадии рудообразования. В связи с этим обращают на себя внимание мельчайшие включения золота в пирите и арсенопирите без связи их с микротрещинами. Такие включения могли возникнуть в результате мобилизации невидимого золота, первично рассеянного в пирите и арсенопирите в виде каких-то структурно связанных комплексов.

Выделение поздней золото-халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии рудообразования основано на том, что халькопирит, галенит и сфале-

рит часто наблюдаются в срастаниях друг с другом и развиваются в трещинах и участках дробления пирита и арсенопирита. Не вызывает сомнений то, что их отложение происходило после пирита и арсенопирита, во всяком случае, после их ранних генераций. В самом конце халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии произошла кристаллизация золота.

Не вполне ясно возрастное положение минералов редких земель, в частности, монацита и ксенотима, минеральных фаз эрбия и тулия. Редкоземельная минерализация, также как золото-сульфидная, наложена на кварцевые и кварц-карбонатные жилы и, на наш взгляд, является относительно поздней.

Ранняя и поздняя стадии рудообразования совмещены в пределах относительно крупных рудоконтролирующих структур, однако на локальном уровне отдельные минералы, относящиеся к разным или даже к одной и той же стадии рудообразования, бывают пространственно разобщены. В связи с этим золото, отлагавшееся на поздней стадии рудообразования, может находиться либо в тесной ассоциации с галенитом, халькопиритом, сфалеритом, либо обособленно от них – в трещинах в жильном кварце, карбонатах, пирите, арсенопирите, вмещающих породах.

Материалы, полученные нами при изучении флюидных включений в кварце золотоносных жил, в частности, отмечающиеся температуры гомогенизации включений, свидетельствуют о том, что температура минералообразования составляла приблизительно 300–350°С. Минералообразующие растворы были водно-углекислотными. Следует заметить, что повышенное содержание углекислоты, ее присутствие во флюидных включениях в виде жидкой и газовой фаз, является характерным для золото-сульфидно-кварцевых месторождений [9, 10]. Соотношение содержаний CO_2/CH_4 в газовой фазе включений, обычно использующееся для оценки окислительно-восстановительного потенциала растворов, достаточно высокое – составляет в среднем 60.1, что свидетельствует об окислительных условиях минералообразования. Обращают на себя внимание широкие вариации соотношения жидкой и газовой фаз во включениях, наличие трехфазных включений с жидкой углекислотой, гомогенизация включений как в жидкую, так и газовую фазы. Можно полагать, что рудообразующая система была неоднородна по составу и фазовому состоянию. В результате проявления тектонических подвижек и резкого падения давления происходило столь же резкое понижение плотности растворов, их гетерогенизация с отделением углекислоты и образованием газовых пузырьков.

Выводы

Формирование рудной минерализации месторождения Секущий обусловлено интенсивной гидротермальной деятельностью в меловое (позднемеловое) время, инициировавшейся процессами регионального метаморфизма и внедрением гранитоидов. Рудообразование было стадийным, сопровождалось перерывами и тектоническими подвижками. Вначале проявилась пирит-арсенопиритовая, затем – золото-халькопирит-галенит-сфалеритовая стадии. Температура минералообразования была близка 300–350° С, гидротермальные растворы были существенно углекислотными.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ Президиума РАН № 12-П-5-1027, Президиума РАН АРКТИКА, УрО и ДВО РАН № 12-С-5-1006, НШ 1310.2012.5.

Литература

1. *Лоренц Д.А.* Вещественный состав золотокварцевых руд и околорудных метасоматитов проявления Секущий, Восточная Чукотка // Руды и металлы. 2011. № 3/4. С. 114–115.
2. *Сокерина Н.В., Кузнецов С.К., Исаенко С.И., Филиппов В.Н.* Флюидные включения в кварце золоторудных жил проявления Секущее (Чукотка) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2014. №2. С. 3–6.
3. *Истомин В.А., Якушев В.С.* Газовые гидраты в природных условиях. М.: Недра, 1992. 236 с.
4. *Горячев Н.А., Савва Н.Е., Сидоров А.А.* Золото // Очерки металлогении и геологии рудных месторождений Северо-Востока России. Магадан: СКВНИИ ДВО РАН, 1994. С. 22–55.
5. *Шпикерман В.И., Горячев Н.А.* Плитотектоническая металлогения складчатых систем аккреционного типа // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. С. 64–78.
6. *Волков А.В.* Золоторудные месторождения Центральной Чукотки (Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 6. С. 482–499.
7. *Сидоров А.А., Волков А.В.* Уникальный рудный район Чукотки (Северо-Восток России) // Тихоокеанская геология. 2001. № 4. С. 3–18.
8. *Майское многоэтапное* прожилково-вкрапленное золото-сульфидное месторождение (Чукотка, Россия): минералогия, флюидные включения, стабильные изотопы и условия образования/Н.С.Бортников, И.А.Брызгалов, Н.Н.Кривицкая, Ю.В.Прокофьев, О.В.Викентьева // Геология рудных месторождений. 2004. Т.46. № 6. С. 475–509.
9. *Долгов Ю.А., Томиленко А.А., Гибшер Н.А.* Флюидный режим формирования и термобарогеохимические критерии золотоносности кварцевых жил в метаморфических породах// Термобарогеохимия минералообразующих процессов. Новосибирск, 1990. С. 7–19.
10. *Сокерина Н.В., Шанина С.Н., Исаенко С.И.* Газовый состав рудообразующего флюида золоторудного проявления Синильга, Приполярный Урал//Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2012. №3. С.12–15.

References

1. *Lorenz D.A.* Veshhestvennyj sostav zolotokvarcevyh rud i okolorudnyh metasomatitov projavlenija Sekushhij, Vostochnaja Chukotka [Material composition of gold-quartz ores and metasomatic rocks of deposit Sekushchy, East-

ern Chukotka] // Rudy i metally [Ores and Metals]. 2011. № 3/4. P. 114–115.
2. *Sokerina N.V., Kuznetsov S.K., Isaenko S.I., Filippov V.N.* Fljuidnye vkljuchenija v kvarce zolotorudnyh zhil projavlenija Sekushhee (Chukotka) [Fluid inclusions in quartz of gold ore veins of deposit Sekushchy (Chukotka)] // Vestnik IG Komi NC UrO RAN [Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS] : Geoprint. 2014. №2. P. 3–6.
3. *Istomin V.A. Yakushev V.S.* Gazovye gidraty v prirodnyh uslovijah [Gas hydrates in natural conditions]. Moscow: Nedra, 1992. 236 p.
4. *Goryachev N.A., Savva N.E., Sidorov A.A.* Zoloto [Gold] // Ocherki metallogenii i geologii rudnyh mestorozhdenij Severo-Vostoka Rossii [Essays of metallogeny and geology of ore deposits of the North-East of Russia]. Magadan: SKVHII Far-Eastern Branch, RAS. 1994. P. 22–55.
5. *Shpikerman V.I., Goryachev N.A.* Plitotektonicheskaja metallogenija skladchatyh sistem akkrecionnogo tipa [Plate tectonics metallogeny of fold systems of accretion type] // Metallogenija skladchatyh sistem s pozicij tektoniki plit [Metallogeny of fold systems from the positions of plate tectonics]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 1996. P. 64–78.
6. *Volkov A.V.* Zolotorudnye mestorozhdenija Central'noj Chukotki (Rossija) [Gold deposits of Central Chukotka (Russia)] // Geologija rudnyh mestorozhdenij [Geology of Ore Deposits]. 1995, T. 37, № 6. S. 482–499.
7. *Sidorov A.A., Volkov A.V.* Unikal'nyj rudnyj rajon Chukotki (Severo-Vostok Rossii) [Unique ore region of Chukotka (Northe-Estern Russia)] // Tihookeanskaja geologija [Pacific Geology]. 2001. № 4. P. 3–18.
8. *Majskoe mnogojetapnoe* prozhilkovo-vkraplennoe zoloto-sul'fidnoe mestorozhdenie (Chukotka, Rossija): mineralogija, fljuidnye vkljuchenija, stabil'nye izotopy i uslovija obrazovanija [The May multistage stringer-disseminated gold-sulfide deposit (Chukotka, Russia): mineralogy, fluid inclusions, stable isotopes and formation conditions]/ N.S.Bortnikov, I.A.Bryzgalov, N.N.Krivitskaya, Ju.V.Prokofyev, O.V.Vikentyeva // Geologija rudnyh mestorozhdenij [Geology of Ore Deposits]. 2004. Vol. 46. № 6. P. 475–509.
9. *Dolgov Yu.A., Tomilenko A.A., Gibsher N.A.* Fljuidnyj rezhim formirovanija i termobarogeohimicheskie kriterii zolotonosnosti kvarcevyh zhil v metamorficheskih porodah [Fluid regime of formation and thermobarogeochemical criteria of gold-bearing quartz veins in metamorphic rocks] // Termobarogeohimija mineraloobrazujushhih processov [Thermobarogeochemistry of mineralizing processes]. Novosibirsk, 1990. P. 7–19.
10. *Sokerina N.V., Shanina S.N., Isaenko S.I.* Gazovyj sostav rudoobrazujushhego fljuida zolotorudnogo projavlenija Sinil'ga, Pripoljarnyj Ural [Gas composition of the ore-forming fluid gold deposit Sinilga, SubPolar Urals] // Vestnik IG Komi NC UrO RAN [Bull of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS]: Geoprint, 2012. № 3. P. 12–15.

Статья поступила в редакцию 30.03.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.311:004.8

ВЕРИФИКАЦИЯ ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

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

Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
gotman@energy.komisc.ru

Предложен метод верификации топологии электроэнергетической системы на основе нечетких нейронных сетей при использовании необработанных данных телеизмерений. Проведен подбор формулы нормирования входных переменных нечеткой нейронной сети с целью получения результата с наименьшей погрешностью. Для подтверждения правильности выбора входных переменных применены самоорганизующиеся карты Кохонена. Проведено тестирование метода на 14-узловой электроэнергетической системе *IEEE* с расчетом режимов энергосистемы в программной среде *Matlab*. Полученные результаты показали хорошую точность метода для выбранной формулы нормирования и множества сформированных начальных правил.

Ключевые слова: **электроэнергетическая система, топология, верификация, нечеткая нейронная сеть, нормирование данных, кластер**

N.E. GOTMAN, G.P. SHUMILOVA, T.B. STARTSEVA. POWER SYSTEM TOPOLOGY VERIFICATION USING FUZZY NEURAL NETWORKS

The paper deals with power system topology verification. The correct model of a power system topology is essential for different power system applications. There are different approaches to power system topology verification. One of these approaches assumes utilization of fuzzy neural networks (FNNs). In the paper, this approach is considered using the raw measurement data of active and reactive power flows on the one end of the branches and data of voltage magnitudes at nodes, which are used as input variables to the fuzzy neural network. FNN proposed for topology verification is Takagi-Sugeno-Kang's fuzzy neural network.

To verify the correctness of the choice of input variables Kohonen's self-organising map (SOM) is applied. A projection based on Kohonen's SOM is used to map variables from a *d*-dimensional input space to a two-dimensional output space. Kohonen's SOM has a very desirable property of topology preserving, which means that clustering tendencies of different classes in the input space are preserved in the projected output space, providing good visualisation capability.

An important factor influencing the accuracy of topology verification is normalization of input data. Data normalization is necessary for adequate application of mathematical models and computer-aided computations during calculations connected with big and small quantities for their equal distribution, for the values to be represented in the range [0, 1]. The calculations showed that topology verification errors depend tangibly on the method of input data normalization. In this regard, studies have been conducted to select normalization formula.

In order to gauge the effectiveness of this method, the method was tested using the IEEE 14-bus test system. Operating conditions was calculated in Matlab software. The research results allowed making a conclusion that the topology verification approach using fuzzy neural networks showed a good accuracy.

Keywords: **power system, topology, verification, fuzzy neural network, data normalization, cluster**

Постановка задачи

Топология электрической сети определяется по информации телесигналов о положениях выключателей и разъединителей, которая поступает по каналам телемеханики. В результате воздействия помех телесигналы могут быть искажены, что приводит к ошибкам в определении соединений компонентов сети и требуется проведение верификации (удостоверения соответствия расчетной схемы фактическому состоянию сети) топологии сети. Эту задачу решают как совместно с оценкой состояния (ОС) энергосистемы [1–3], используя результаты оценивания, так и без ОС, используя необработанные данные телеизмерений [4–6].

В первом варианте при оценивании состояния могут быть проблемы сходимости в случае некоторых ошибок топологии, которые рассматриваются как неправильное моделирование физических связей в энергосистеме. Чтобы ЭЭС оставалась наблюдаемой в процессе верификации, требуется значительный избыток измерений.

Во втором варианте методы, в которых используются необработанные данные телеизмерений, не зависят от оценивания состояния, и многие из них основаны на применении искусственного интеллекта. Более ранние методы используют искусственные нейронные сети (ИНС), рассматривая в качестве входных переменных данные о перетоке активной мощности и положении выключателей (вкл./выкл.) [4, 5]. В этих методах предполагается использование одной ИНС для всей ЭЭС, поэтому с ростом размера энергосистемы быстро растет сложность структуры ИНС, что создает проблемы с обучением.

В подходе, предлагаемом авторами [6], блок-схема алгоритма определения топологии состоит из локального блока, включающего стадию предварительной обработки данных, и глобального, генерирующего топологию всей электрической сети. В отличие от предыдущего метода здесь нет зависимости структуры ИНС от размера электрической сети. Но вместе с тем существуют некоторые случаи, когда метод не работает. Например, при неправильном моделировании ветвей, для которых перетоки активной мощности малы, а реактивной – большие. Существуют и другие работы, например [7, 8], в которых в случае ошибок топологии результаты верификации могут быть либо неправильными, либо процесс обучения ИНС очень сложный. В связи с выше изложенным, для верификации топологии сети предлагается исследовать применение нечетких нейронных сетей (ННС), используя необработанные данные телеизмерений перетоков активной и реактивной мощностей по линиям и напряжений в узлах.

Предлагаемый подход с описанием нечетких нейронных сетей

Нечеткие нейронные сети (*Fuzzy Neural Networks*) получили свое название в силу того, что в них используются выражения, заимствованные из нечетких систем, оперирующих нечеткими множествами. Нечеткое множество – это понятие, которое ввел Л. Заде в 1965 г. Оно основывается на предположении, что степень принадлежности элемента множеству может быть некоторым числом из интервала [0,1] . При этом границы интервала (0 и 1) означают соответственно «не принадлежит» и «принадлежит». Обработка нечеткой информации и нечеткий вывод давно применяются в различных интеллектуальных системах, но наиболее широкое распространение нечеткие множества получили в области управления.

Общая схема обработки нечеткой информации выглядит следующим образом. Точные исходные данные с датчиков, контролирующих управляемый процесс, нормализуются и переводятся в значения лингвистических переменных в блоке фаззификации (fuzzification). Далее реализуются процедуры нечеткого вывода на множестве продукционных правил, составляющих базу знаний системы управления, в результате чего формируются выходные лингвистические значения. Последние в блоке дефаззификации (de-fuzzification) переводятся в точные значения результатов вычислений. На выходе этого блока формируются управляющие воздействия на исполнительный механизм.

Если сравнивать ИНС и ННС, то ННС являются более прозрачными для понимания получаемых с их помощью результатов, они более устойчивы к воздействию факторов, влияющих на исследуемый процесс. Известно несколько типов нечетких нейронных сетей, таких как сети Мамдани-Заде, Такаги-Сугено-Канга (*TSK*), Ванга-Менделя [9] и др. [10, 11]. За основу ННС для верификации топологии сети была взята наиболее простая с точки зрения реализации трехслойная сеть *TSK*, предложенная H. Kitajima и M. Hagiwara [12], структура которой приведена на рис. 1.

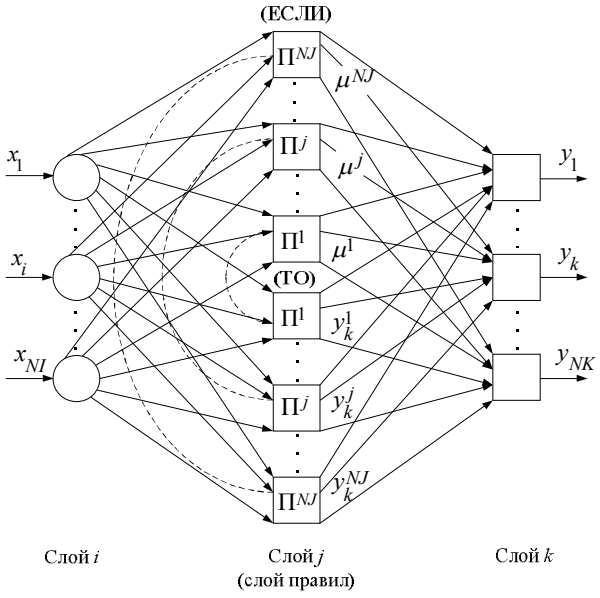


Рис. 1. Структура искусственной нечеткой нейронной сети для верификации топологии электрической сети.

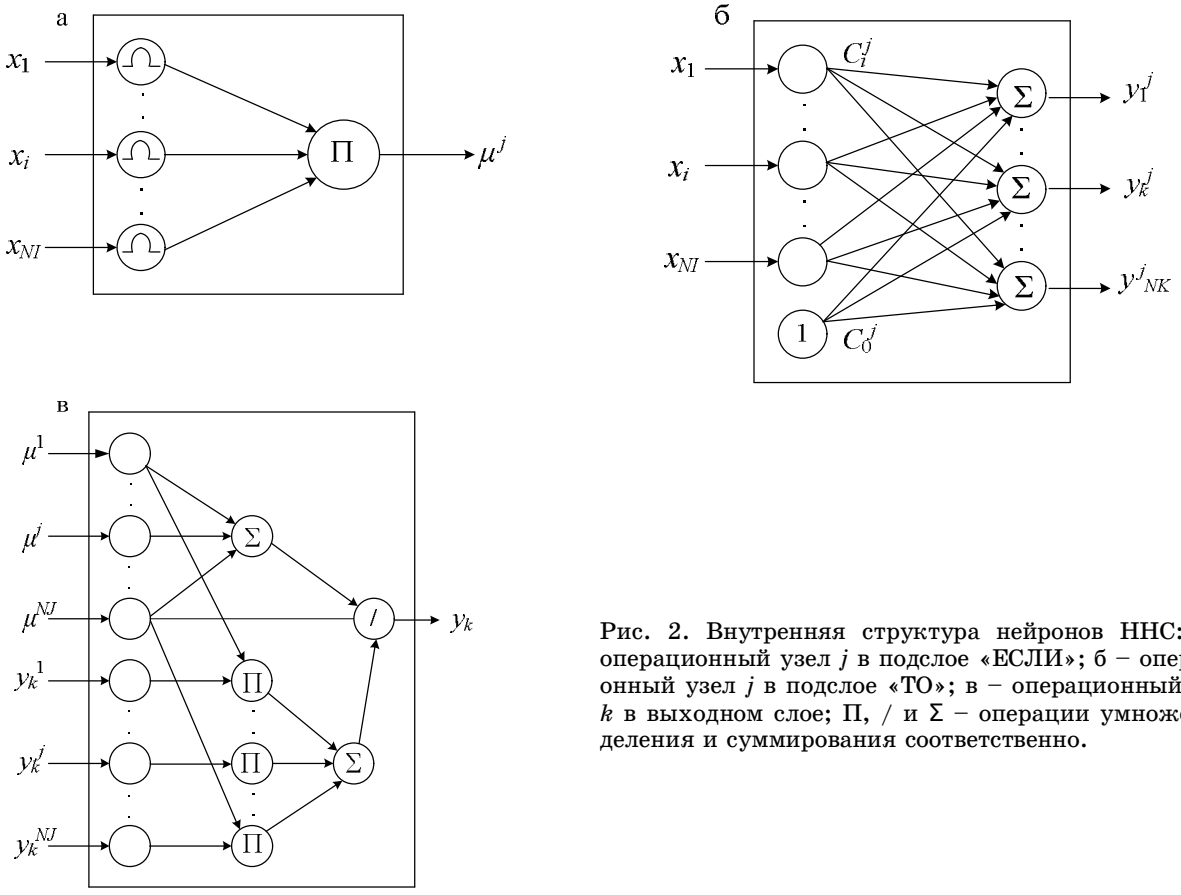


Рис. 2. Внутренняя структура нейронов ННС: а – операционный узел *j* в подслое «ЕСЛИ»; б – операционный узел *j* в подслое «ТО»; в – операционный узел *k* в выходном слое; Π, / и Σ – операции умножения, деления и суммирования соответственно.

Сеть состоит из трех слоев: входного, скрытого (слой правил вида ЕСЛИ – ТО) и выходного. На схеме нейроны, изображенные в виде кругов, представляют собой один узел, а нейроны (квадраты) имеют большее число узлов. На рис. 2 дана их расшифровка.

Каждая пара нейронов в скрытом слое представляет нечеткое правило. Выбрана следующая форма правил, в которой нечеткие множества включаются только во вступительную часть правил:

$$\Pi^j: \quad \text{ЕСЛИ} \quad x_1 = \mathrm{A}_1^j; \quad x_2 = \mathrm{A}_2^j, \ \ldots, \ x_i = \mathrm{A}_i^j, \qquad (1)$$
$$\text{ТО} \quad y_k^j = C_{0k}^j + C_{1k}^j x_1 + \ldots + C_{ik}^j x_j,$$

где Π^j – *j*-е правило; x_i – входные переменные; y_k^j – значения *k*-го выхода, вычисленные по *j*-му правилу; A_i^j – логические члены, характеризующиеся функциями принадлежности μ_i^j.

В подслое «ЕСЛИ» (рис. 2, а) вычисляется значение функции принадлежности для каждой входной переменной по формуле

$$\mu_i^j = \exp[-\frac{1}{2}((x_i - x_i^j)/\sigma_i^j)^2]. \qquad (2)$$

Эта функция имеет колоколообразную форму с центром x_i^j и отклонением σ_i^j. Результирующее значение функции принадлежности по каждому правилу (выход узла *j* в подслое «ЕСЛИ») определяется как

$$\mu^j = \prod_i \mu_i^j. \qquad (3)$$

Нейрон *j* в подслое «ТО» представляет из себя двухслойную нейронную сеть (рис. 2, б), в которой весовыми коэффициентами являются коэффициенты C_{ik}^j из уравнения (1), а C_{0k}^j – коэффициент смещения. Выход нейрона *j* в этом подслое будет

$$y_k^j = C_{0k}^j + C_{1k}^j x_1 + \ldots + C_{NI,k}^j x_{NI}. \qquad (4)$$

В выходном слое (рис. 2, в) на основании результатов, полученных в слое правил, формируется четкий выход как взвешенное среднее по формуле

$$y_k = \sum_j^{NJ} (y_k^j \mu^j) / \sum_j^{NJ} \mu^j, \qquad (5)$$

где k = 1 ,…, *NK; NJ* – количество правил.

Обучение ННС. В процессе обучения определяются параметры x_i^j, σ_i^j, C_{ik}^j и C_{0k}^j для *i* = 1, …, *NI* (*NI* – количество входных переменных), *j* = 1, …, *NJ* (*NJ* – количество правил), *k* = 1, …, *NK* (*NK* – количество выходов сети).

Обучение *TSK* начинается с инициализации базы правил. На основе *NR* первых образцов определяются *NR* нечетких правил (минимальное количество *NR* = 1). Тогда:

$x_{inач}^j = x_i^j$ (*i*-е значение входной переменной по *j*-му правилу);

$$\sigma_{i\,нач}^{j} = \frac{1}{2 \cdot NR}\left[\max_{i=1\div NI,\, j=1\div NR}(x_i^j) - \min_{i=1\div NI,\, j=1\div NR}(x_i^j)\right];$$

$C_{ik}^{j} = 0,\ C_{0k}^{j} = y_k$ (*i=1, 2, …, NI*; *j*=1, 2, …, *NR*; *k=1, 2, …, NK*).

После выполнения процедуры инициализации вводятся новые обучающие образцы. Пусть параметр β означает наименьшую приемлемую степень возбуждения существующей базы нечетких правил. Если $\sum_j \mu^j < \beta,$ то вводится новое правило.

Величина β определяется экспериментально при обучении сети *TSK*. Параметрами сети при вводе нового правила будут:

$$x_i^m = x_i(p),$$
$$\sigma_i^m = \gamma\left[x_i(p) - \overline{x}_i\right],$$
$$\overline{x}_i : \left\|\overline{x}_i(p) - \overline{x}_i\right\| = \min_{j=1\div m-1}\left\|x_i^j - x_i(p)\right\|,$$

где p – номер образца, m – номер нового правила.

Параметры C_{ik}^{m}, C_{0k}^{m} (i = 1, …, NI; k = 1, …, NK) определяются так же, как при инициализации базы правил. Далее рассчитываются значения сигналов на выходе нейронов подслоя «ТО» и нейронов выходного слоя по формулам (4), (5).

Для корректировки параметров сети используется метод градиентного спуска, при котором минимизируется среднеквадратичная ошибка $E_p = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{NK}(y_k - d_k)^2$ для каждого обучаемого образца (d_k – желаемое значение на выходе сети, y_k – расчетное значение).

Корректировка параметров сети при вводе очередного образца производится следующим образом:

$$x_i^j(p) = x_i^j(p-1) + \alpha_1 \frac{\partial E_p}{\partial x_i^j},$$

$$\sigma_i^j(p) = \sigma_i^j(p-1) + \alpha_2 \frac{\partial E_p}{\partial \sigma_i^j},$$

$$C_{ik}^j(p) = C_{ik}^j(p-1) + \alpha_3 \frac{\partial E_p}{\partial C_{ik}^j},$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты скорости обучения, которые определяются экспериментальным путем.

Проведение эксперимента на тестовой схеме

Рассмотрим применение ННС для решения задачи верификации топологии электрической сети. В качестве тестовой схемы была использована 14-ти узловая система *IEEE* (рис. 3).

Было подготовлено 120 наборов инъекций (суммы генерации и нагрузки в каждом узле). Диапазон изменения инъекций составил 25% от базового набора, причем изменение для каждого узла вычислялось случайным образом. Для каждого набора инъекций отключались по одной все линии, кроме № 14, чтобы не рассматривать случаи разделения энергосистемы. Расчет режимов энергосистемы проводился в среде *Matlab* с использованием библиотеки программ электрических расчетов [13]. Таким образом, для каждого набора инъекций были рассчитаны 19 режимов с одной отключенной линией и один режим со всеми линиями в работе.

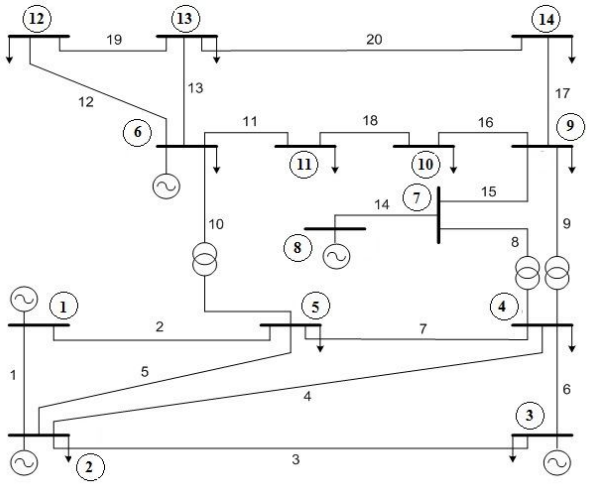


Рис. 3. Тестовая схема *IEEE* (14 узлов и 20 линий).

Принято, что данные телеметрии содержат случайные ошибки. Для этого к рассчитанным (действительным) значениям перетоков мощности по линиям добавлялись ошибки до 2,5% от действительного значения. Значение ошибки определялось случайным образом для каждого значения перетока.

Рассматривалась ситуация, когда перетоки активной и реактивной мощностей по одной из линий равны нулю. Такая ситуация возможна, если:

- линия отключена;
- линия находится в работе, но по данной линии либо нет телеизмерений, либо произошел сбой в системе сбора и передачи телеметрических данных.

В базе данных такая ситуация реализовывалась следующим образом. Для каждого набора инъекций получены: один образец режима со всеми линиями в работе и со всеми значениями перетоков активной и реактивной мощностей, 19 образцов режима со всеми линиями в работе и с обнуленными значениями перетоков по одной из линий, 19 образцов режимов с одной отключенной линией и обнуленными значениями перетоков мощности по этой линии. Всего с одним набором инъекций в базе данных представлено 39 образцов. Для 120 наборов инъекций общее количество образцов данных равно 4680.

Ставилась задача: определить находится ли линия с нулевыми значениями перетоков в работе или эта линия отключена. В качестве входных данных для сети *TSK* использовались перетоки активной и реактивной мощностей на одном из концов каждой линии и напряжения в узлах. Таким образом, для рассматриваемой схемы количество входных переменных NI = 54 (первые 40 переменных – значения перетоков мощности по линиям, а последние 14 переменных – значения напряжений).

Значения входных переменных нормировались, т.е. преобразовывались в относительные величины, находящиеся в пределах [0,1]. Количество выходных значений *NK* равно 20 (числу линий). При обучении на выходе для *k*-й линии устанавливался 0, если данная линия была отключена, и 1, если она оставалась в работе. Для обучения сети из всей базы данных использовались 780 образцов (20 наборов инъекций). Непосредственно тестирование проводилось на 3900 образцах (100 наборов инъекций).

Для того, чтобы убедиться в правильности выбора входных переменных для рассматриваемой задачи, было проведено исследование с помощью самоорганизующейся карты Кохонена [1]. Самоорганизующиеся карты Кохонена являются одной из разновидностей нейронных сетей. Нейронная сеть данного типа использует метод обучения без учителя, т.е. сеть сама вырабатывает правила обучения путем выделения особенностей из набора входных данных. Ее основным элементом является слой Кохонена, который состоит из адаптивных линейных сумматоров. Выходные сигналы слоя Кохонена обрабатываются по правилу «Победитель забирает всё»: наибольший сигнал превращается в единичный, а остальные в ноль. Эти сети применяют для различных задач, в том числе и для поиска и анализа закономерностей в исходных данных. Карта Кохонена выполняет проецирование многомерных данных в пространство меньшей размерности (обычно двухмерное). В случае понижения размерности до двухмерной сеть состоит из ячеек прямоугольной или шестиугольной формы. Объекты, векторы признаков которых близки, попадают в одну ячейку или в ячейки, расположенные вблизи. Таким образом, двухмерная карта Кохонена отражает на плоскости близость признаков у многомерных векторов.

На рис. 4 представлена полученная проекция всех наборов данных для задачи верификации топологии. В ячейках карты стоят числа от 0 до 20 (кроме 14, ситуации с этой линией не рассматриваются). Ноль означает, что данные соответствуют случаю, когда все линии находятся в работе. Числа 1-20 – это данные, соответствующие случаям отключения линии с указанным номером. Достаточно хорошо сгруппированы на карте спроецированные данные, соответствующие отключению линий 1, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17, 19. Это означает, что выбранные параметры могут правильно идентифицировать топологию электрической сети для этих ситуаций. В то же время данные, связанные с отключением линий 9, 11, 12, 19, 20, расположены вплотную к спроецированным данным, соответствующим случаю, когда все линии в работе. Это может привести к ошибкам в расчетах при отключении таких линий.

При обучении и тестировании ННС исследовались два варианта нормирования данных, а также применение кластеров для получения начального набора правил перед обучением ННС.

Нормирование данных проводилось двумя следующими способами.

Первый использует для всей выборки параметров формулу:

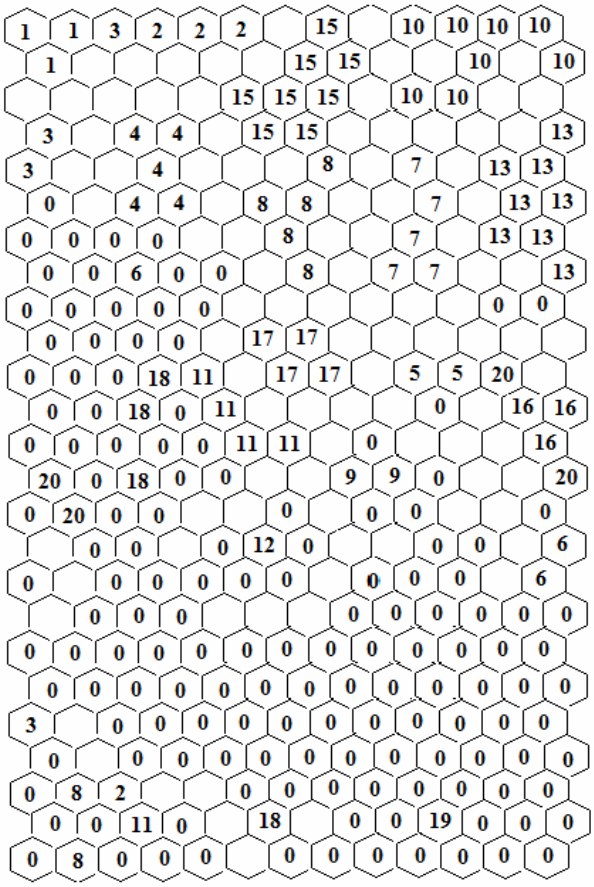


Рис. 4. Карта Кохонена для выбранного набора данных по верификации топологии.

$$x_i^{нор} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \qquad (6)$$

где x_i – i-я входная переменная, $x_i^{нор}$ – нормированная i-я входная переменная, x_{min} – минимальное значение среди переменных одной выборки, x_{max} – максимальное значение среди переменных выборки. Такое нормирование для рассматриваемой схемы имеет следующий недостаток. Если перетоки мощности на каких-либо линиях очень малы по отношению к максимальным значениям, то при таком нормировании малые значения становятся равными или близкими к нулю, что приводит к появлению дополнительных нулевых значений среди входных переменных и, как следствие, к неверным решениям ННС.

Из 39 образцов для одного набора инъекций 38 имеют нулевые значения перетоков мощности по одной из линий. Тогда для этих образцов x_{min}= 0, и формула (6) принимает вид:

$$x_i^{нор} = \frac{x_i}{x_{\max}}. \qquad (7)$$

Второй способ нормирования использует формулу (7) для всех образцов независимо от того, минимальное значение равно нулю или нет. При этом вся выборка делится на четыре части. Такая

разбивка выполняется для разделения переменных с большими значениями от переменных со значениями, близкими к нулю. От каждой линии используется пара значений – перетоки активной и реактивной мощностей на одном из концов. Причисление пары значений к той или иной группе производится по значению активной мощности. К первой группе относятся пары с максимальными перетоками активной мощности и напряжения в узлах с номинальным напряжением 220 кВ, ко второй группе – средние значения перетоков. В третью группу входят наименьшие значения перетоков. Последняя четвертая группа включает в себя только напряжения в узлах с номинальным напряжением 110 кВ. В каждой группе определяется свое максимальное значение x_{max}. Такое нормирование почти не увеличивает количество нулевых или близких к нулю значений входных переменных (возможны отдельные случаи для значений перетоков реактивной мощности).

Формировать начальные правила для ННС можно до обучения или непосредственно при обучении. В этом случае первая введенная выборка данных становится первым правилом. Для получения начальных правил перед обучением применялась кластеризация образцов по ситуациям (отключение какой-либо линии или потеря данных по линии, всего 39 ситуаций), и центр каждого кластера использовался в качестве начального правила. В результате получено 39 начальных правил по 20 наборам инъекций для обучения:

$$x_i^j = \frac{\sum_{n=1}^{20} x_{in}^j}{20}, \text{ где } i = 1,...54,\ j = 1,...39, n = 1,...20.$$

В приведенной формуле x_i^j – i-я переменная в j-м правиле, x_{in}^j – i-я переменная из n-го набора инъекций, связанная с j-й ситуацией. Номер правила из начального множества совпадает с номером ситуации.

Результаты тестирования сведены в табл. 1.

Учитывая полученные результаты, можно сделать следующие выводы. Применение кластеров для формирования множества начальных правил и формулы нормирования (7) уменьшает погрешность при определении топологии сети. Таким образом, из представленных вариантов лучшим является расчет под номером 4, относительная погрешность которого составляет 2,64%.

В табл. 2 и 3 приведены данные для двух ситуаций (линия № 18 в работе и отключена).

В обоих случаях *TSK* правильно определила топологию электрической сети.

Таблица 1

Результаты определения топологии сети на тестовой схеме

№ расчета	Формула нормирования	Применение кластеров для начальных правил	Количество образцов, для которых не найдено решение	Количество образцов с неправильно определенной топологией	Количество образцов с правильно определенной топологией	Относительная погрешность, %
1	(7)	нет	0	585	3315	15
2	(7)	да	0	389	3511	9,97
3	(8)	нет	41	308	3592	8,95*
4	(8)	да	0	103	3797	2,64

Примечание. Погрешность, обозначенная звездочкой (*), рассчитана для суммы количества образцов, для которых не найдено решение, и количества образцов, для которых неправильно определена топология.

Таблица 2

Напряжение и инъекции в узлах тестовой схемы для ситуаций 1 и 2

Узлы	Напряжение для ситуации 1	Напряжение для ситуации 2	Инъекция активной мощности	Инъекция реактивной мощности
1	245,54	245,54	321,12 (ситуация 1)	33,53 (ситуация 1)
			321,17 (ситуация 2)	33,66 (ситуация 2)
2	236,41	236,38	20,45	42,22
3	222,86	222,77	-121,14	8,07
4	224,16	224,02	-67,9	5,3
5	225,49	225,54	-10,56	-1,43
6	115,31	115,69	-14,67	2,49
7	115,77	115,49	0	0
8	120,65	120,38	-0,55	25,3
9	113,61	113,23	-35,89	-24,21
10	112,58	111,96	-12,26	-8,07
11	113,14	114,16	-6,17	-3,68
12	112,85	113,19	-8,02	-2,47
13	112,09	112,35	-20,12	-7,26
14	110,09	109,98	-18,69	-6,52

Таблица 3

Данные о перетоках мощности и результаты верификации топологии сети на примере линии №18
(ситуация 1 – линия в работе, ситуация 2 – линия отключена)

№ линии	Переток активной мощности в 1-й ситуации			Переток реактивной мощности в 1-й ситуации			Решение ПТК	Переток активной мощности во 2-й ситуации			Переток реактивной мощности во 2-й ситуации			Решение ПТК
	Действительное значение, МВт	Телеизмерение, МВт	Погрешность, %	Действительное значение, МВАр	Телеизмерение, МВАр	Погрешность, %		Действительное значение, МВт	Телеизмерение, МВт	Погрешность, %	Действительное значение, МВАр	Телеизмерение, МВАр	Погрешность, %	
1	218,23	223,49	2,41	9,53	9,66	1,36	вкл.	218,36	219,46	0,5	9,75	9,91	1,64	вкл.
2	102,89	104,99	2,04	24,0	24,22	0,92	вкл.	102,81	103,15	0,33	23,91	24,01	0,42	вкл.
3	97,21	98,78	1,62	13,94	14,16	1,58	вкл.	97,31	98,66	1,39	14,07	14,23	1,14	вкл.
4	76,67	78,28	2,1	8,73	8,8	0,8	вкл.	76,87	78,14	1,65	8,94	8,97	0,34	вкл.
5	56,67	57,67	1,76	10,08	10,26	1,79	вкл.	56,49	56,92	0,76	9,91	10,12	2,12	вкл.
6	-28,25	-28,43	0,64	8,18	8,36	2,2	вкл.	-28,16	-27,48	2,41	8,25	8,35	0,12	вкл.
7	-81,79	-82,43	0,78	14,13	14,26	0,92	вкл.	-83,41	-82,76	0,78	12,84	12,99	1,17	вкл.
8	37,28	37,61	0,89	-3,39	-3,43	1,18	вкл.	38,49	39,27	2,03	-2,42	-2,37	2,07	вкл.
9	21,11	21,43	1,52	4,49	4,55	1,34	вкл.	21,8	21,86	0,28	5,05	5,08	0,59	вкл.
10	59,07	60,08	1,71	24,74	24,82	0,32	вкл.	57,17	58,28	1,94	23,17	23,54	1,6	вкл.
11	9,62	9,74	1,25	4,98	5,07	1,81	вкл.	6,22	6,36	2,25	3,78	3,81	0,79	вкл.
12	10,46	10,7	2,29	3,47	3,47	0	вкл.	10,77	11,01	2,23	3,49	3,53	1,15	вкл.
13	24,33	24,57	0,99	9,43	9,44	0,11	вкл.	25,51	26,12	2,39	9,72	9,96	2,47	вкл.
14	0,55	0,56	1,82	-24,28	-24,68	1,65	вкл.	0,55	0,55	0	-24,27	-23,74	2,18	вкл.
15	36,73	37,15	1,14	17,93	17,96	0,17	вкл.	37,94	38,33	1,03	18,71	18,86	0,8	вкл.
16	8,97	9,05	0,89	7,13	7,27	1,96	вкл.	12,33	12,36	0,24	8,26	8,42	1,94	вкл.
17	12,98	13,25	2,23	5,24	5,28	0,76	вкл.	11,52	11,55	0,26	4,99	5,0	0,2	вкл.
18	-3,33	0	-	-1,05	0	-	**вкл.**	0	0	-	0	0	-	**откл.**
19	2,29	2,34	2,18	0,69	0,7	1,45	вкл.	2,59	2,65	2,32	0,7	0,71	1,43	вкл.
20	6,03	6,16	2,16	1,97	1,99	1,02	вкл.	7,48	7,62	1,87	2,19	2,21	0,91	вкл.

Заключение

В работе предложен метод верификации топологии электрической сети на основе нечетких нейронных сетей при использовании необработанных данных телеизмерений. Для получения большей точности результатов решены следующие задачи:

1) на основе экспериментальных исследований выбрана формула нормирования входных переменных;

2) для формирования начальных правил для обучения ННС применялась кластеризация образцов по ситуациям.

Проведено тестирование метода на 14-узловой системе *IEEE*, которое показало хорошую точность метода при выбранной формуле нормирования и множестве сформированных начальных правил (количество образцов с неправильно определенной топологией составило 2,64% от общего количества образцов для тестирования). Преимущество предложенного метода с использованием ННС по сравнению с работами, выполненными с использованием ИНС, заключается в том, что в качестве входных данных достаточно иметь телеизмерения напряжений в узлах и перетоков активной и реактивной мощностей только на одном конце линии.

Дальнейшее направление исследований авторам видится в применении для целей верификации топологии электрической сети синхронизированных векторных измерений.

Литература

1. *Lukomski R., Wilkosz K.* Power System Topology Verification: Assessment of Different Approaches // The 4-th International Conference on Control of Power Systems. Bratislava, Slovakia, 2000. P. 269–274.
2. *Clements K.A., Davis P.W.* Detection and identification of topological errors in electric power systems // IEEE Trans. on Power Systems. 1988. Vol. 3. P. 1748–1753.
3. *Wu F.F., Liu H.E.* Detection of topology errors by state estimation // IEEE Trans. on Power Systems, 1989. Vol. 4. Aug. P. 176–183.
4. *Alves da Silva A.P., Quintana V.H.* Pattern analysis in power system state estimation // Electrical Power and Energy Systems. 1995. Vol. 17. No. 1. P. 51–60.
5. *Vinod Kumar D. M., Srivastava S.C., Shah S., Mathur S.* Topology processing and static state estimation using artificial neural networks // IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution. 1996. Vol. 143. No.1. P. 99–105.
6. *Garcia-Lagos F., Joya G., Marin F.J., Sandoval F.* A neural topology estimator for power systems//The International Conference on Engineering Applications of Neural Networks EANN'98, Gibraltar, June 10-12, 1998. P. 245 – 252.
7. *Souza J.C.S., Leite da Silva A.M., Alves da Silva A.P.* Data visualization and identification of anomalies in power system state estimation using artificial neural networks // IEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution. 1997. Vol. 144. No. 5. P. 445 – 455.
8. *Tian T., Zhang B.* An artificial neural network-based expert system for network topological error identification // IEEE International Conference on Neural Networks Proceedings, Perth, WA, Australia, 1995. Vol. 2. P. 882 - 886.
9. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с пол. И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
10. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. 2-е изд. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 382 с.
11. *Nishina T., Hagiwara M.* A new fuzzy inference neural network with automatic extraction ability for fuzzy rules // Tech. Rep. I.E.I.C.E., 1993. Vol. NC93-124. P. 93–100.
12. *Kitajima Y., Hagiwara M.* Generalized fuzzy inference neural network using a self-organizing feature map // Electrical Engineering in Japan, 1998. Vol. 125. No. 3. P. 40–49.
13. *Хохлов М.В.* Пакет расширения Matlab для исследования электроэнергетических систем в установившихся режимах // Информационные и математические технологии в науке, технике, медицине: Сб. науч. тр. Всерос. конф. с межд. участием «Информационные и технологические технологии в науке, технике, медицине». Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2012. С.106–109.

References

1. *Lukomski, R., Wilkosz, K.* Power System Topology Verification: Assessment of Different Approaches // The 4-th International Conference on Control of Power Systems. Bratislava, Slovakia, 2000. P. 269 – 274.
2. *Clements K.A., Davis, P.W.* Detection and identification of topological errors in electric power systems // IEEE Trans. on Power Systems. 1988. Vol. 3, P. 1748 – 1753.
3. *Wu F.F., Liu H.E.* Detection of topology errors by state estimation // IEEE Trans. on Power Systems. Vol. 4, Aug., 1989. P. 176 - 183.
4. *Alves da Silva A. P., Quintana V. H.* Pattern analysis in power system state estimation // Electrical Power and Energy Systems, Vol. 17, No. 1, 1995. – P. 51 - 60.
5. *Vinod Kumar D. M., Srivastava S.C., Shah S., Mathur S.* Topology processing and static state estimation using artificial neural networks // IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, 1996. Vol. 143, No.1. P. 99 - 105.
6. *Garcia-Lagos, F., Joya, G., Marin, F. J., Sandoval, F.* A neural topology estimator for power systems // The International Conference on Engineering Applications of Neural Networks EANN'98, Gibraltar, June 10-12, 1998. P. 245 – 252.
7. *Souza, J. C. S., Leite da Silva, A. M., Alves da Silva, A. P.* Data visualization and identifica-

tion of anomalies in power system state estimation using artificial neural networks // IEE Proceedings on Generation Transmission and Distribution. 1997. Vol. 144. No. 5. P. 445 – 455.

8. *Tian, T., Zhang, B.* An artificial neural network-based expert system for network topological error identification // IEEE International Conference on Neural Networks Proceedings, Perth, WA, Australia, 1995. Vol. 2. P. 882 - 886.
9. *Osovsky S.* Nejronnye seti dlja obrabotki informacii / Per. s pol. I.D. Rudinskogo. [Neural network for processing information / Trans. from Polish by I.D. Rudinsky]. Moscow: Finance and Statistics, 2002. 344 p.
10. *Kruglov V.V., Borisov V.V.* Iskusstvennye nejronnye seti. Teorija i praktika. 2-e izd. [Artificial neural networks. Theory and practice. 2nd edition]. Moscow: Hotline-Telecom, 2002. 382 p.
11. *Nishina T., Hagiwara M.* A new fuzzy inference neural network with automatic extraction ability for fuzzy rules // Tech. Rep. I.E.I.C.E., 1993. Vol. NC93-124. P. 93–100.
12. *Kitajima Y., Hagiwara M.* Generalized fuzzy inference neural network using a self-organizing feature map // Electrical Engineering in Japan, 1998. Vol. 125, No. 3. P. 40–49.
13. *Khokhlov M.V.* Paket rasshirenija Matlab dlja issledovanija jelektrojenergeticheskih sistem v ustanovivshihsja rezhimah [Matlab expansion pack for the study of electric power systems in steady-state conditions] // Information technology and mathematics in science, technology, medicine: Collected sci. works of the All-Russian conf. with international participation "Information technology and technology in science, technology, medicine". Tomsk: Tomsk Polytech. Univ. Publ. 2012. P.106–109.

Статья поступила в редакцию 02.04.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 271.2-67(470.13) «17/18»

МЕЖКОНФЕССИОНАЛЬНЫЕ ОТНОШЕНИЯ УСТЬ-ЦИЛЕМСКИХ СТАРОВЕРОВ С ПРАВОСЛАВНЫМ ДУХОВЕНСТВОМ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XVIII – СЕРЕДИНЕ XIX ВЕКА

Т.И. ДРОНОВА

Институт языка, литературы и истории Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар
t_i_dronova@mail.ru

На основе архивных источников в статье рассматриваются конфессиональная ситуация в Усть-Цилемской волости и взаимоотношения усть-цилемских староверов с православным духовенством. Объясняются причины принятия староверами таинства венчания и единоверия. Раскрываются факторы, способствовавшие сохранению староверия на нижней Печоре.

Ключевые слова: **русские, старообрядцы-поморцы, православие, единоверие, церковь, обряды, венчание, окормление**

T.I. DRONOVA. FROM THE HISTORY OF RELATIONS BETWEEN THE UST-TSILMA OLD BELIEVERS AND THE ORTHODOX CLERGY IN THE SE-COND HALF OF THE XVIII - MID XIX CENTURIES

On the basis of archival sources the resettlement of Old Believers from the central and northwest areas to the European northeast is considered. In the early XVIII century the Velikopozhensky small secluded monastery on the river Pizhma and Omelinsky on the river Tsilma were founded. Further resettlement of the Old Believers to this region occurred in the late XVIII - early XIX centuries which dynamics had promptly increased during the reign of Nikolay I who had toughened the persecution of the Old Believers. From 1816 to the 1850-s the population of the Ust-Tsilma volost has doubled. Special attention is given to consideration of religious situation in the Ust-Tsilma volost and the relationships of Ust-Tsilma Old Believers with the Orthodox clergy. Until the 1840-s the oppression of Old Believers on the Pechora was not fixed in the archival documents. Orthodox priests were loyal to the Old Believers and did not aspire to eradicate them that promoted preservation of the Old Believers in the region. In the period of toughening the Ust-Tsilma Old Believers expressed the desire to adopt common faith and after long correspondence with representatives of the Arkhangelsk eparchy the common-faith parish was opened in the village of Ust-Tsilma. The Old Believers considered the common faith as the form of cover of their religious activities. In practice the Old Believers continued to serve as congregational praying in private meetinghouses and in the homes of the peasants. And for the priests who were putting into practice decrees of a sovereign on eradication of schism, possibly, fixing of transition of the Old Believers in common faith was quite enough. After opening of the common-faith parish services in the common-faith churches were conducted under old printing books and old ceremonies – this all distinguished the Ust-Tsilma coreligionists from others. The common-faith parish was closed in 1926. Wedding ceremony of the Old Believers in the Orthodox and common-faith churches was conducted exclusively owing to everyday needs - for the property inheritance, later some girls considered it as family "strengthening".

Keywords: **the Russians, Old Believers-Pomors, Orthodoxy, common faith, church ceremonies, wedding**

Введение

В первой трети XVIII в. Усть-Цилемская слободка (основана в 1542 г.) оставалась в числе двух русских поселений на нижней Печоре, входивших в Пустозерский уезд*. О раннем периоде её развития сведения скудны, в частности, о численном составе мужчин в семье сообщается в материалах первой ревизии 1719–1723 гг. Всего по данным 1722 г. в слободе насчитывалось 229 душ (мужского населения), 17 больших семей, 26 – малых) [1]. В числе переселенцев указаны выходцы с Кевролы, Пинеги, Мезени, «Пучемской деревни», «Белощенской деревни». В документ не вошли селения по р. Пижме, известные из документов под названиями «Жилище близ урочища Голый холм» и «Верхнее жилище при Нижней камень», образованные ориентировочно в 1721 и 1718 гг.**, и Великопоженский скит. Среди усть-цилемских населенных пунктов Великопоженский скит впервые упоминается в переписи 1834 г., несмотря на то, что он уже действовал с 1720-х гг. Вероятно, это были первые старообрядческие поселения, позднее включенные в состав Усть-Цилемской волости; образование двух населенных пунктов – д. Гарево (1729 г.) и с. Нерица (1731 г.) не связываются с переселением староверов. Переселенцами являлись коми-ижемцы, прибывшие исключительно с целью обретения свободных промысловых угодий [2, с. 108, 318].

До конца XVIII в. численный рост русскоязычного населения на нижней Печоре был незначительным: по материалам четвёртой ревизии (1782 г.) насчитывалось всего пять селений (приближенных к Усть-Цильме), а население составляло 1040 чел. (в графах, в том числе раскольников, стоит прочерк) [3]. Согласно статистическим данным, заметное увеличение численности населения и образование деревень начинается на рубеже XVIII – XIX вв., а в 1850 г. в Усть-Цилемской волости уже упомянуто 28 населенных пунктов с численностью 3146 чел., в самой Усть-Цильме проживало 1488 мужчин и 1658 женщин [4]. В числе переселенцев были жители пинежских и мезенских сел и деревень, незначительную часть составили староверы из центральных областей России.

Численность населения в Усть-Цилемской волости по данным ревизских сказок

Год	Количество селений	Численность мужчин	Численность женщин	Всего населения
1722	1	229	–	–
1782	5	477	563	1040
1816	8	815	858	1673
1834	10	1272	1396	2668
1850	28	1488	1658	3146

* Вторая – Пустозерская слободка.

** Впоследствии деревни были названы: Чуркинская (по фамилии первооснователя) и Верховская (по местоположению относительно расположения Великопоженского скита) [5].

Таким образом, активное увеличение численности населения и появление деревень в Усть-Цилемской волости было вызвано исключительно с процессом переселения староверов на нижнюю Печору, который начался в XIX в. и связывался с деятельностью Николая I, активизировавшего борьбу с расколом. За период его царствования с декабря 1825 г. по март 1855 г. было принято 426 постановлений, направленных на «ослабление раскола» [6]. В связи с этим исследовательский интерес к заявленному периоду – вторая половина XVIII – середина XIX в. – обусловлен необходимостью в изучении межконфессиональных отношений и выявлении факторов, способствовавших сохранению староверия на нижней Печоре.

Конфессиональная ситуация и межконфессиональные отношения

О религиозной ситуации в Усть-Цилемской волости в этот период становится известно из архивных документов, хранящихся в Государственном архиве Архангельской области. Со времен образования Усть-Цилемской слободки до 1856 г. в волости действовала православная церковь, освященная в честь Николы Мир Ликийских Чудотворца, в 1856 г. в с. Усть-Цильма был открыт единоверческий приход. Церковь также была освящена во славу Николы Чудотворца; 11 ноября 1865 г. был открыт приход в с. Замежная, церковь освятили во имя прпп. Зосимы и Саватия Соловецких Чудотворцев. Она была приписана к усть-цилемскому единоверческому приходу.

Прибывшие в Усть-Цилемскую волость староверы принадлежали к поморскому беспоповскому даниловскому согласию, поддерживали тесные взаимоотношения с насельниками Выговской обители. Кроме Великопоженского скита в волости действовал Омелинский скит по р. Цильме. В крупных деревнях и селах зажиточные крестьяне обустраивали в своих домах моленные, где собирались сельские жители по праздникам и воскресеньям на соборную службу. В малодворных деревнях хранителями староверия являлись исключительно старцы, поддерживавшие духовный порядок в семьях. В каждой деревне имелись сведущие в церковной грамоте люди, согласно местной терминологии *грамотные, грамотеи*, совершавшие богослужения и выполнявшие религиозные заказы (*требы*) крестьян – панихиды, молебны, литии. Общее окормление осуществляли духовники из Великопоженского скита, где обучали крестьян грамоте и готовили к наставнической деятельности.

Уместно предположить, что несмотря на активное упрочение церковной реформы в центре России, ещё многие десятилетия усть-цилемские крестьяне продолжали жить прежней церковной жизнью, сохраняя древлеапостольское правило. О том, что в православной церкви служили по старопечатным книгам, становится известно из описаний исследователей, посетивших Печорский край на рубеже XIX – XX столетий. При этом они ссылались, что службы до пожара 1745 г. правили по ста-

ропечатным книгам [7]. Безусловно, этому способствовала удаленность края и в силу этого безнадзорность над священниками, которые еще какое-то время, вероятно, оставались верными древлеправославию. Необходимо учитывать и факт лояльного отношения государства к староверам в периоды правления Петра III и Екатерины II, когда проявилась ярко выраженная терпимость к представителям старообрядчества, а время правления Екатерины II в научной литературе названо «золотым веком в истории русского раскола» [6].

Архивные материалы свидетельствуют, что борьба со старообрядчеством на нижней Печоре не отличалась большим усердием со стороны священников [8]. В архивном «Деле о постройке и открытии единоверческой церкви в Усть-Цилемском приходе Мезенского уезда и мерах, предпринимаемых для приобщения раскольников в православие» (начато 13 июня 1849 г., кончено 18 мая 1863 г.») [9] говорится, что еще в начале XIX в. священники Усть-Цилемской православной церкви вносили записи о крещении и венчании в метрические книги без совершения соответствующих обрядов в церкви [10, л. 5]. Эти обстоятельства выяснились, когда остро обозначился вопрос о стремлении устьцилёмов, приписанных к православию, но фактически являвшихся старообрядцами, перейти в единоверие, которое они рассматривали исключительно как прикрытие их религиозной деятельности*** (подробнее об этом далее).

Первые документы, удостоверяющие преследование старообрядцев и их религиозной деятельности в волостном центре, появляются в 1840-х гг. Известно, что в 1847 г. священнослужители православной церкви возбудили дело о ликвидации молельни в Усть-Цильме, размещавшейся в доме крестьянки Ирины Мяндиной. Моленная была опечатана, иконы и книги изъяты и переданы в православную церковь. Решением Ижемского суда крестьянка была приговорена к месячному заключению [11]. В окрестных деревнях пресечение религиозной деятельности не фиксируется. В ходе полевых исследований установлено, что в эти же годы в д. Конахино, расположенной в 3 км от волостного центра, в доме Степана Кузьмича Носова действовала моленная. При этом известно, что его сын Андрей Степанович был волостным писарем. В соседней д. Чукчино также имелась моленная в доме Демёшких, действовавшая до 1920-х гг. [Полевые материалы Т.И. Дроновой: записано от И.Л. Вокуевой, 1924 г.р. в д. Чукчино в 2013 г.].

Ещё одним фактом, свидетельствующим о вялой разъяснительной деятельности усть-цилемских священников по искоренению старообрядчества в крае, является сохранение родовых кладбищ в с. Усть-Цильма и прилегающих к ней деревнях. В настоящее время в некоторых селениях действуют по два и более кладбища (в с. Усть-Цильма – три, в д. Коровий Ручей и Гарево – по два). Известно, что в XIX в. строго предписывалось совершать погребения раскольников в специально отведенных местах на общеприходских кладбищах, но на деле старообрядцы хоронили близких на родовых могильниках (*могилы*). О таких фактах Архангельской епархии становилось известно из редких донесений священников, рапортов сельского управления, а также записок Мезенского земского суда, где рассматривались подобные дела. Решением суда предписывалось наказание, которое исполнялось сельской расправой: это могло быть наказание розгами, лишение свободы от трех недель до месяца и обязательно предписывалось отправлять виновных к Духовному начальству для вразумления [13]. Но несмотря на угрозы и наказания, старообрядцы продолжали хоронить близких по своим заповедям, но раньше установленных правилом сроков – на второй день смерти – и тем самым избегали погребения усопшего по церковным канонам. Практиковалось также погребение некрещеных младенцев на меже, вблизи жилых домов. Большое количество родовых кладбищ было закрыто уже в годы советского строительства; могильники распахивались под поля, а впоследствии земли были отданы под застройку. Только в районном центре Усть-Цильме было закрыто четыре кладбища.

О характере взаимоотношений между старообрядцами и представителями власти и церкви в середине XIX в. становится известно также из рапортов ижемского священника Алексея Зуева, который проводил активную работу по пресечению раскола в своей волости, и ему было предоставлено право надзора за усть-цилемским приходом. В рапортах священник подробно освящал жизнедеятельность усть-цилемских крестьян, сообщались их требования по вопросу открытия в волости единоверческого прихода и строительства единоверческой церкви. Вопрос о строительстве единоверческой церкви своеобразно был истолкован усть-цилемскими старообрядцами, как уже говорилось, видевшими в открытии единоверческого прихода и строительстве церкви спасение вероисполнения. Однако не все усть-цилемские старообрядцы были единодушны в этом вопросе. Наставники и более ревностные верующие были противниками единоверия. В частности, о неприятии пижемскими старцами единоверческой церкви в Усть-Цильме становится известно из письма старца Василия Чуркина, адресованного в 1859 г. жителю д. Подчерье А.С. Мартюшеву. В нем духовник не только давал советы (по поводу исповеди, женитьбы сына и др.), но и рассказывал о ситуации, сложившейся в Усть-Цильме, осуждая усть-цилемских крестьян за их вероотступничество: «А у нас на Устильме нынче бывшия христианы и крещения все запутались исправою пути сошли почитай все до одного человека. Задумали просить церковь и попа староверского, которое никак не может быть и в писании у святых отцов не сказано на это время, что будет такая церковь и учители негде взять прежде наших устелемов было ученых людей и в Данилов монастырь того недоходим по-

*** Известно, что «единоверие» как религиозное явление, призванное содействовать вовлечению старообрядцев в официальное православие, не было принято «остальцами древлего благочестия» и называлось не иначе как лицемерие [12].

тому что все до конца потеряно Никоном Еретником <…> и Богу служили без попов, а теперь устьцилемци попа воспросили себе на погибель души и другие узнали и неладно зделали и некак избыть стало пожелали и подписались под эту церковь но только узнал в Пижме никто не подписался и не знает что будет, а не желает приобщения» (сохранена орфография и пунктуация оригинала – *В.В.*)» [14]. Повсеместно в России единоверцы воспринимались как вероотступники [15].

Диалог крестьян с представителями православия об открытии единоверческого прихода в с. Усть-Цильма длился более 10 лет, начиная с 1849 г. Складывается впечатление, что усть-цилемские крестьяне не являлись скромными просителями, – они требовали от Синода и Архангельской епархии разрешения на открытие единоверческого прихода, выдвигая свои условия. Например, они добились, чтобы церковь была построена в волостном центре, тогда как представители епархии, опасаясь перехода в единоверие православного населения настаивали, чтобы церковь была возведена не ближе 50 верст, по ходу дальнейшей переписки – 15-20 верст от села «если только не дальше, и где притом будут жить только единоверцы, а не православные» [16, л. 14]. Следующим условием крестьян было открытие единоверческого прихода для всех жителей волости, включая староверов, приписанных к православному приходу. Устьцилёмы собирали сходы, на которые приходили и так называемые «православные», т.е. по сути те же самые староверы, которые по принуждению были крещены в православной церкви или приняли венчание, во время которого с них брали подписи о неотпадении от церкви. На сходе они выдвигали требования «полной воли» в делах управления приходом: предлагали самостоятельно решить вопрос о внутреннем устройстве церкви, обещая самостоятельно снабдить иконами, книгами и другими необходимыми для проведения служб атрибутами [17, л. 51]. Зуев в своем рапорте сообщает о настойчивости устьцилёмов и называет собрание староверов «бунтом», а строительство церкви неугодным делом в виду соблазна и возможного вредного последствия для других. Он призывает Синод посодействовать и через «гражданское начальство» усмирить бунтующих, дабы те не утруждали Синод и правительство ненужной изнурительной перепиской. На этот рапорт последовал ответ Святейшего Синода: Указ от 12 мая за № 4015, в котором говорилось следующее: через доверенных лиц вразумить просителей, что строительство церкви возможно только для раскольников, не приписанных к православной церкви и ввиду снисхождения к ним. Предписывалось: обратить особое внимание на качество и дарование священников к проповеди и, если те не справляются с поставленной задачей, то заменить их на более «благонадежнейших и способнейших» [18].

Из рапорта священника Алексея Зуева также известно, что все прихожане православного прихода (за исключением нескольких семей изначально православных) пожелали перейти в единоверие, и это вызывало немалые опасения у священников, поскольку могли закрыть православный приход, и местный священник опасался, что новое здание церкви будет передано единоверцам. В 1851 г. в Усть-Цильму приезжал епископ Архангельской епархии Варлаам, который пытался переубедить непокорных усть-цилемских крестьян остаться в православии, но его проповедь не возымела успеха. Устьцилёмы остались при своем мнении. Парадоксом усть-цилемского единоверия следует считать и тот факт, что староверы, приписанные к православию, все-таки добились разрешения на переход в единоверие, но для этого им необходимо было обратно обратиться в старообрядчество [19]. Как все это происходило, в архивных материалах не сообщается.

Ещё одним важнейшим требованием крестьян было прошение о назначении в священники единоверческого прихода некоего Фёдора Красильникова, пономаря, служившего в православной церкви. Дело в том, что Фёдор Красильников являлся сыном Якова Красильникова, священника, служившего в усть-цилемской православной церкви, явно симпатизировавшего староверам. Это был тот самый священник, который фиктивно вписывал староверов в православную метрику, не требуя их участия в службах и причастиях. И хотя желание крестьян не было удовлетворено, настойчивость устьцилёмов была очевидной.

В числе исполненных просьб было возвращение религиозной утвари и книг. Так, после закрытия Великопоженского скита крестьяне обратились к Архангельскому епископу с прошением о передаче единоверческому приходу икон и книг, изъятых из Великопоженского монастыря. Переписка длилась более двух лет и в 1859 г. 73 иконы были переданы в единоверческую церковь, немногим позднее и книги.

Отношение староверов к таинству венчания

Безусловного внимания заслуживает факт принятия некоторыми усть-цилемскими старообрядцами церковного венчания, практиковавшегося наряду с браком, оформлявшимся родительским благословением и *замолитствованием* в частной (домашней) моленной. Ранние краткие сведения о причастности к венчанию усть-цилемских староверов относятся к середине XIX в. На начальном этапе прихода староверов на Печору переселенцы избегали церковного общения, и венчание происходило исключительно по принуждению. Но уже во второй половине XIX в. в волостном центре некоторые крестьяне вопреки своим убеждениям обращались к церковному таинству венчания с тем, чтобы получить юридические права на наследство [11]. Н.Е. Ончуков пишет об этом: «Таинство брака, так же как и все прочие таинства, устьцилёмы отрицают, и они жили бы, не венчаясь, но “нужды ради идут сквернить в никонианскую церковь к щепотнику и табашнику попу”» [20, с. 1]. Со временем некоторые усть-цилемские женщины осознанно венчались в церкви, поскольку видели в этом «кре-

пость брака»: «Устьцилёмы венчались прежде гораздо меньше, чем теперь, жили просто сходясь, но зато семейные узы были несравненно слабее. <…> Молодые устьцилёмки, зная непрочность неоформленного союза, выражают упорное желание венчаться в церкви» [20, с.2]. Но венчание было более характерно для жителей волостного центра; даже в близлежащих деревнях, не говоря уже об удаленных селениях, родители запрещали молодым венчаться, хотя такие случаи бывали [21]. Например, в «Деле о священнике Усть-Цилемской единоверческой церкви Дмитрии Кошеве и псаломщике той же церкви Иване Чупрове, обвиняющихся крестьянином Семеном Носовым в том, что они принимали деятельное участие в преднамеренном повенчании дочери его Марфы без его согласия и благословления», сообщается о решительных действиях отца девушки и его сторонников, устроивших «крутую разборку» в церкви с кровопролитием и предотвративших венчание [22].

Несмотря на определенные усилия, священники усть-цилемского православного прихода вяло вели работу по обращению староверов в официальную церковь. Видя безнадежность своих призывов к отречению староверов от древлеправославия, они считали достаточным принятие таинства венчания, чтобы причислить староверов к церковно-православным. Фактически же верующие по-прежнему оставались в старообрядчестве. Е.А. Ляцкий пишет: «Устьцилемы аккуратно посещают церковь, говеют, исповедуются и таким образом номинально присоединяются к церкви. А в это время дома идут спешные приготовления и совершаются свои обычаи и обряды, весьма мало соответствующие чину церковного очищения. В этих целях брачующие обращались к священнику, принимая на себя на неделю вид добрых христиан» [23]. О несерьезном отношении устьцилёмов к церковному православию пишет один из священников усть-цилемского прихода: «Приходит время молодому раскольнику жениться; зная, что без присоединения к православию его в православной церкви не повенчают, он соглашается принять пред таинством брака православие. Новоприсоединенные записываются, таким образом, в приходские книги уже как православные. Но этим и кончается общение новоприсоединившихся к православной церкви; после брака они снова становятся такими же раскольниками, какими были ранее. За временное же свое пребывание в православии они исполняют разные епитимии и временные отлучения от трапезы своих домашних» [24]. Архивные материалы свидетельствуют, что вступившие в брак впоследствии не являлись на исповедь, хотя и числились как православные: «Марья Осташова , 80 лет от роду, не была на исповеди и у святого причастия 22 года за расколом. Вдова Васса Осташова, 95 лет, не была у исповеди и святого причастия 48 лет за расколом. Дочь ее Епистимия, 54 года, не была у исповеди 15 лет и др.» [25].

Несмотря на то, что усть-цилемские старообрядцы рьяно боролись за открытие единоверческого прихода, отношение к единоверию оставляло желать лучшего. По данным метрических книг, количество венчаний в православной церкви значительно превышало число венчаний в единоверческом приходе, рассматриваемом ими греховнее официального православия.

Вывод

Таким образом, благодаря пассивности священников и преданности старообрядцев вере своих предков на нижней Печоре сохранено древлеапостольское учение. Открытие единоверческого прихода рассматривалось ревнителями старины исключительно как прикрытие для их религиозной деятельности. На практике старообрядцы продолжали соборно служить в частных моленных, практиковалось исполнение важнейших треб в домах крестьян. После закрытия скитов в местах их нахождения были установлены массивные кресты, получившие статус святых мест. К крестам ежегодно приезжали старообрядцы не только из усть-цилемских деревень, но и со всей Печоры. А для священников, проводивших в жизнь указы государя по искоренению раскола, вероятно, было достаточным фиксации перехода старообрядцев в единоверие. После открытия единоверческого прихода службы в единоверческой церкви проводились по старопечатным книгам и старым обрядам – это отличало усть-цилемских единоверцев от прочих. Единоверческий приход был закрыт в 1926 г. Венчание старообрядцев в православной и единоверческой церквях совершалось исключительно в силу житейских нужд – для наследования имущества, позднее некоторые девушки видели в этом «упрочение » семьи.

Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований УрО РАН, проект №15-15-6-47 «Стратегии и практики освоения и заселения Европейской Арктики: локальные и кросскультурные процессы в исторической динамике».

Литература

1. *Вокуева Т.Д.* Книга переписная государственных черносошных крестьян и канцелярских служащих Ижемской и Усть-Цилемской слободок Пустозёрского уезда Архангельской губернии 1719–1723 гг.// Северные родословия. Вып. 2. Архангельск, 2008. С. 255–267.
2. *Жеребцов И.Л.* Населенные пункты Республики Коми: Историко-демографический справочник. М.: «Наука», 2001.
3. *Архангельская губерния* по статистическому описанию 1785 г. (итоги подворной переписи)// Издание Архангельского губернского статистического комитета. Архангельск, 1916.
4. *Жеребцов И.Л.* Коми край в XVIII – середине XIX в.: территория и население. Сыктывкар, 1998. С. 150.
5. *Вокуева Т.Д.* Великопоженский скит: жилища «Голый холм» и «Нижний камень» // История формирования и развития Велико-

поженского общежительства: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «За веру и крест». Замежная, 2013. С. 107–116.
6. *Водолазко В.Н.* Старообрядчество в царствование Николая I (по материалам «Собрания постановлений по части раскола 1858 г.») // Старообрядчество: история, культура, современность. М., 1998. С. 33.
7. *Истомин Ф.М.* О религиозном состоянии обитателей русской Низовой Печоры. Из путевых наблюдений по Печорскому краю летом 1890 г. СПб., 1891.
8. *Государственный архив* Архангельской области (далее – ГААО). Ф. 29. Оп. 1. Т.1. Д. 591 («Дело о постройке и открытии единоверческой церкви в Усть-Цилемском приходе Мезенского уезда и мерах, предпринимаемых для приобщения раскольников в православие» (начато 13 июня 1849 г., кончено 18 мая 1863 г.»).
9. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 1. Т.1. Д. 591.
10. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 1. Т.1. Д. 591. Л. 5.
11. *Гагарин Ю.В.* Преследование старообрядчества в Коми крае русской православной церковью и самодержавным государством в XIX – XX вв.//Вопросы истории Коми АССР (XVII–XX вв.) / Отв. ред. Я.Н. Безносиков. (Тр. ИЯЛИ Коми филиала АН СССР; №16). Сыктывкар, 1975. С.121.
12. *Пичугин Л.Ф.* О единоверии в русской церкви. М., 2009.
13. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 3. Д. 3346. Л. 5 – 6 об. (Дело о самоволии усть-цилемских крестьян в погребении умерших: нач. 3 авг. 1851 г. зав. 31 авг. 1874 г.).
14. *Власова В.В.* Скиты и кельи в старообрядческой традиции коми-зырян (XVIII – начало XX вв.) // История формирования и развития Великопоженского общежительства: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «За веру и крест». Замежная, 2013. С. 72.
15. *Машковцева В.В.* Взаимоотношения старообрядцев и православного духовенства Вятской губернии во второй половине XIX – начале XX вв. // Старообрядчество: история, культура, современость. М., 2007. С. 34.
16. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 1. Т.1. Д. 591. Л. 14.
17. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 1. Т.1. Д. 591. Л. 51.
18. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 1. Т.1. Д. 591.
19. *Хрушкая Л.Н.* Из истории единоверия в с. Усть-Цильма // Вторые Мяндинские чтения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Сыктывкар, 2011. Т. 1. С. 223.
20. *Ончуков Н.Е.* О расколе на Низовой Печоре. СПб., 1901.
21. *Национальный архив* Республики Коми. Ф. 254. Оп. 1. Д. 1043.
22. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 3. Т. 6. Д. 32. Л. 3 – 119.
23. *Ляцкий Е.А.* Поездка на Печору (из путевых заметок) // Вестник Европы. Кн. 12. СПб., 1904. С.717.
24. *Архангельские епархиальные* ведомости. 1898. № 7. С. 196-197.
25. *ГААО.* Ф. 29. Оп. 3. Д. 3346. Л. 5 – 6 об.

References

1. *Vokueva T.D.* Kniga perepisnaja gosudarstvennih chernosochnih krestjan i kanzeljarskih sluzhashchih Izhemskoj i Ust-Zilemskoj slobodok Pustozerskogo uezda Arhangelskoj gubernii 1719 – 1723 gg. // Severnie rodoslovija [Census book of government state peasantry and clerks of the Izhma and Ust-Tsilma settlements of Pustozersk district of the Arkhangelsk province 1719-1723 // Northern geneology]. Issue 2. Arhangelsk, 2008. P. 255-267.
2. *Zherebzov I.L.* Naselennye punkty Respubliki Komi. Istoriko-demograficheskij spravochnik [Settlements of the Komi Republic: Historical-demographic reference-book]. Moscow: «Nauka», 2001.
3. *Arhangel'skaya guberniya* po statisticheskomu opisaniyu 1785 r. (itogi podvornoy perepisi) // Izdanie Arhangelskogo gubernskogo statisticheskogo komiteta [Arkhangelsk province on 1785 statistical description (results of household census)//Edition of the Arkhangelsk Statistical Committee]. Arhangelsk, 1916.
4. *Zherebtsov I.L.* Komi kraj v XVIII – seredine XIX veka: territoriya i naselenie [The Komi territory in XVIII - mid of XIX centuries: territory and population]. Syktyvkar. 1998. P. 150.
5. *Vokueva T.D.* Velikopozhenskiy skit: zhilishcha «Golyj holm» i «Nizhnij kamen'» // Istoriya formirovaniya I razvitiya Velikopozhenskogo obshchezhitelstva. Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferenzii «Za veru I krest» [Velikopozhensky skit: dwellings "Goly Kholm" and "Nizhny Kamen"//History of formation and development of Velikopozhensky communal living: Materials of All-Russia Sci.-pract. Conf. "For the faith and the cross". Zamezhnaya, 2013. P. 107-116.
6. *Vodolasko V.N.* Staroobryadchestvo v zarstvovanie Nikolaya I (po materialam «Sobraniya postanovlenij po chasti raskola 1858 g.»)//Staroobryadchestvo: istoriya, kultura, sovre-mennost'[The Old Belief in the reign of Nikolai I (on materials of "Collection of resolutions on schism of 1858")//The Old Belief: history, culture and the present day]. Moscow, 1998. P. 33.
7. *Istomin F.M.* O religioznom sostoyanii obitatelej russkoj Nizovoj Pechory. Iz putevyh nablyudenij po Pechorskomu krayu letom 1890 g.[The religious condition of the inhabitants of the Russian Downstream Pechora. From travel observations in the Pechora land in summer of 1890]. St.Petersburg, 1891.
8. *Gosudarstvennyj arhiv* Arhangel'skoj oblasti (dalee – GAAO. («Delo o postrojke I otkrytii edinivercheskoj zerkvi v Ust'-Zilemskom prihode Mezenskogo uezda i merah predprinimaemym dlya priob-shcheniya raskolnikov v pravoslsvie» (nachato 13 iyunya 1849 goda, kon-

cheno 18 maya 1863 goda») [State archives of Arkhangelsk region (GAAO) ("The case of the construction and opening of the common-faith church in Ust-Tsilma parish of the Mezen district and the measures taken to introduce dissenters to Orthodoxy" (started June 13, 1848, completed May 18, 1863)]. F. 29. Op. 1. T.1. D. 591.
9. *GAAO* F. 29. Op. 1. T.1. D. 591.
10. *GAAO*. F. 29. Op. 1. T.1. D. 591. L 5.
11. *Gagarin Yu..V.* Presledovanie staroobryadchestva v Komi krae russkoj pravoslavnoj zerkov'yu i samoderzhavnym gosudarstvom v XIX –XX vv. // Voprosy istorii Komi ASSR (XVII-XX vv.) [The persecution of the Old Believers in the Komi region by the Russian Orthodox Church and the autocratic state in XIX-XX centuries] / Ed. Ya.N. Beznosov. (Proc. of Inst. of Language, Literature and History, Komi Branch, USSR Ac. Sci). Syktyvkar, 1975. P.121.
12. *Pichugin L.F.* O edinoverii v russkoj zerkvi [The common faith in the Russian Church]. Moscow, 2009.
13. *GAAO*. F. 29. Op. 3. D. 3346. L. 5– 6 ob. («Delo o samovolii ust'-zilemskih krest'yan v pogrebenii umershih: nach. 3 avg. 1851 g. zav. 31 avgusta 1874 g.») [The case of the self-will of the Ust-Tsilma peasants in the burial of the dead: started August 3, 1851, completed August 31, 1874].
14. *Vlasova V.V.* Skity I kel'I v staroobryadcheskoj tradizii komi-zyryan (XVIII–nachalo XX vv.) // Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferenzii «Za veru I krest». Istoriya formirovaniya I razvitiya Velikopozhenskogo obshchezhitel'stva [Skits and cells in the old believer tradition of the Komi-Zyryans (XVIII-beginning of XX centuries)//Collected materials of All-Russia sci.-pract. Conf. "For the faith and the cross". The history of formation and development of Velikopozhensky communal living]. Zamezhnaya, 2013. P. 72.
15. *Makovzeva V.V.* Vzaimootnosheniya staroobryadzev I pravoslavnogo duhovenstva Vyatskoj gubernii vo vtoroj polovine XIX – nachale XX vv. // Staroobryadchestvo: istoriya, kultura, sovremennost' [The relationship between the Old Believers and the Orthodox clergy of Vyatka province in the second half of XIX – beginning of XX centuries //The Old Belief: history, culture, the present day]. Moscow, 2007. P. 34.
16. *GAAO*. F. 29. Op. 1. T.1. D. 591. L 14.
17. *GAAO*. F. 29. Op. 1. T.1. D. 591. L 51.
18. *GAAO*. F. 29. Op. 1. T.1. D. 591.
19. *Hrushkaya L.N.* Iz istorii edinoveriya v s. Ust'-Zil'ma // Vtorye Myandinskie chteniya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferenzii [From the history of the common faith in the village of Ust-Tsilma// 2-nd Mandino readings: Materials of All-Russia sci.-pract.conf.] Syktyvkar, 2011. Vol. 1. P. 223.
20. *Onchukov N.E.* O raskole na Nizovoj Pechore [On the schism on the Downstream Pechora]. St.Petersburg, 1901.
21. *Nazional'nyj arhiv* Respubliki Komi [The national archives of the Republic of Komi]. F. 254. Op. 1. D. 1043.
22. *GAAO*. F. 29. Op. 3. T. 6. D. 32. L. 3 – 119.
23. *Lyatsky E.A.* Poezdka na Pechoru (iz putevyh zametok) [The trip to Pechora (from travel notes)] // Vestnik Evropy [Herald of Europe]. Book 12. St.Petersburg, 1904. P.717.
24. *Arhangelskie eparhial'nye* vedomosti [Arkhangelsk Eparchial Bulletin]. 1898. № 7. P. 196-197.
25. *GAAO*. F. 29. Op. 3. D. 3346. L. 5 – 6 об.

Статья поступила в редакцию 19.11.2014.

УДК 343.814:338.363(470.1/.2)

ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ ГУЛАГОВСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

А.Н. КУСТЫШЕВ

ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта
akustyshev@ugtu.net

В статье рассматриваются проблемы механизации производственного сектора исправительно-трудовых лагерей, колоний ГУЛАГа на Европейском Севере России. Репрезентативность выводов обеспечивается анализом ситуации в строительной, лесозаготовительной, угледобывающей и нефтедобывающей отраслях, слабая механизация которых являлась отражением общего состояния советской экономики.

Ключевые слова: **принудительный труд, механизация, транспорт, строительство, Европейский Север, экономика**

A.N. KUSTYSHEV. PROBLEMS OF MECHANIZATION OF GULAG PRODUCTION IN THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

Low level of mechanization of the production activity significantly influenced the formation of economic indicators of GULAG subdivisions.
This problem had permanent character for building and logging camps. Their provision with machines and mechanisms was low, and the most laborious works were often performed manually. Thus available machines worked inefficiently, often used not according to intended purpose.
Besides, the priority of manual labour in GULAG was connected with the desire of the camp management to fulfil the planned targets on the reduction of production costs at any cost. For this purpose it was much more favorable to use live labor of prisoners, to apply cartages, than to achieve intensification of production.
Seeking to raise mechanization at works connected with coal and oil production, the management of the Ministry of Internal Affairs issued orders and instructions which level of execution was rather low.
Weak mechanization of economy of the forced labor was the reflection of the general condition of the Soviet economy. Work of plants and factories in the USSR was essentially complicated by short deliveries and poor quality of components, frequent breakages of the equipment, low level of mechanization of production in general. These phenomena testify that the economy of the forced labor can be considered as an organic part of the Soviet economy as a whole.
The analysis of sources allows to conclude that economy of GULAG based mainly on hard physical labour, rejected technical progress. The need in investments in the mechanization of production processes was often ignored owing to availability of cheap, disfranchised forced labor in the camps and colonies of the People's Commissariat of Internal Affairs of the USSR.

Keywords: **production, forced labor, mechanization, transport, building, equipment, repair, European North, GULAG, economy**

В исторической литературе, посвященной экономическим аспектам гулаговской экономики, одним из ключевых является дискуссионный вопрос об эффективности принудительного труда. Рассмотрение данного вопроса, на наш взгляд, было бы не вполне корректным без анализа факторов, оказывающих существенное влияние на формирование экономических показателей (выполнение плановых заданий, себестоимость продукции, категорийность спецконтингента и др.). Одним из них являлся низкий уровень механизации производственной деятельности лагерей и колоний. Имеющиеся по теме исследования источники позволяют рассмотреть данную проблему в отраслевом разрезе.

Отметим, что низкий уровень механизации принудительного труда имплицитно фиксируется историками и публицистами в контексте достаточно широкого спектра проблем, связанных с таким многоаспектным явлением, как экономика ГУЛАГа. В отдельных случаях исследователи рассматривают данный вопрос абстрактно, отмечая,

что принудительный труд априори является преимущественно ручным. Доказывая то же самое, некоторые авторы пытаются оттолкнуться от эмпирики, используя многочисленные воспоминания бывших заключенных, свидетельствующие о преобладании на гулаговском производстве тяжелого физического ручного труда. И то и другое нельзя не признать поверхностным, поскольку не используются конкретные показатели, имеющие для рассматриваемой проблемы критериальное значение.

Строительная отрасль

С целью обеспечения репрезентативности выводов рассмотрим вопрос о механизации гулаговского производства в контексте ряда отраслей, имеющих наиболее приоритетное значение для экономики Европейского Севера России. Перманентный характер данная проблема носила для строительных лагерей. Обеспеченность строек НКВД России машинами и механизмами была низкой, и наиболее трудоемкие работы часто выполнялись вручную. В значительной степени одной из причин столь тяжелого положения строительной отрасли ГУЛАГа являлось неудовлетворительное использование механизмов и транспортных средств. Согласно источнику, на 1 января 1938 г. удельный вес недействующего оборудования составил 87 % [1, с. 151]. В приказе НКВД СССР № 447 от 20 октября 1937 г. «О подготовке к строительству 1938 г. и об улучшении организации работ» признавался факт провала планов механизации на стройках НКВД. В документе, в частности, указывалось, что «ставка на ручной труд, на грабарку как основные ресурсы строительства и антимеханизаторские настроения, на ряде строек уже в этом году привели к концентрации огромных количеств рабочей силы и создали целый ряд трудностей. Даже тот парк строительных механизмов, который имеется на стройках, используется в крайне ничтожном проценте. В результате почти на всех без исключения стройках ГУЛАГа имеется удорожание стоимости работ, и утвержденные планы не выполняются» [2].

Достаточно репрезентативной является ситуация, сложившаяся к 1940 г. на Кандалакшском алюминиевом заводе, где экскаваторы использовались на 45%, растворомешалки – на 48,9, краны – на 49, бетономешалки – на 74,6, камнедробилки – на 82%. Общий размер механизации отдельных работ составил: на дроблении щебня – 59 %, на земляных работах – 80, при приготовлении бетона – 97,9, раствора – 74 %. Автотранспорт использовался лишь на 63 % [3, л.221].

Уровень механизации отдельных работ, имеющих достаточно трудоемкий характер, был чрезвычайно низок. Так, в Сегежстрое земляные работы в 1940 г. были механизированы на 27, а в Архбумстрое – на 22%. На спецстроительстве Карело-Финской ССР механизация данного вида работ отсутствовала вовсе [3, л.50]. Приготовление раствора в среднем по строительным организациям НКВД было механизировано на 59, а дробление щебня – на 74% [3, л.221].

В значительной степени это было связано с недостатком экскаваторов, которыми располагали гулаговские стройки. К примеру, Сегежстрой и Архбумстрой имели только по два экскаватора, а Кандалакшское строительство, Пудожстрой – по одному [3, л.51]. Отсутствовали экскаваторы на Карело-Финском спецстроительстве, а также на строительстве Череповецкого завода. Помимо того, Карело-Финское строительство и Кандалакшский бетонный завод имели лишь по одной камнедробилке [3, л.51].

При этом имеющиеся в распоряжении строительств машины работали неэффективно, часто не по назначению. В частности, на Архбумстрое экскаваторы использовались как копры для забивания свай, а камнедробилки работали с простоями из-за необеспеченности булыжным камнем [3, л.51].

О невысоком уровне использования имеющейся в распоряжении строек техники свидетельствовали следующие показатели: процент эксплуатации растворомешалок по времени находился в диапазоне от 4,8 (Сегежстрой) до 33,7 (Карело-Финское строительство); бетономешалок – от 7,5 (Сегежстрой) до 60 (Архбумстрой); камнедробилок – от 2 (Кандалакшское строительство) до 75 (Архбумстрой); экскаваторов – от 25 (Кандалакшское строительство) до 57 (Архбумстрой) [3, л.68].

Показатели, фиксирующие уровень эксплуатации техники с учетом потенциала ее мощности, во многих случаях также были крайне низкими. На 2% от своей мощности эксплуатировались растворомешалки в Сегежстрое, на 12 – камнедробилки на Карело-Финском строительстве, на 13,3 – бетономешалки на Карело-Финском строительстве, на 33 % – экскаваторы в Сегежстрое [3, л.68].

Автотранспорт на гулаговском строительстве также применялся в недостаточной степени. Детально картина выглядела следующим образом: коэффициент использования автопарка за 1940 г. составил по Череповецкстрою (14 машин) – 0,99, по строительству на Карельском перешейке (99 машин) – 0,76, по Пудожстрою (32 машины) – 0,64, по Архбумстрою (60 машин) – 0,54; по Кандалакшскому строительству (46 грузовых машин) – 0,47 [3, л.72].

Уровень выполнения плана грузоперевозок, как правило, соответствовал низкому коэффициенту использования автопарка. Главным фактором простоя автотранспорта являлось отсутствие запчастей (40,2 % простоев). Помимо того, 31 % простоев был связан с отсутствием работы, 12,6 – с отсутствием резины, 5,4 % – с отсутствием горючего [3, л.72]. Производимые строительствами грузоперевозки были достаточно затратны. Стоимость перевозок зимой на километр пути тонны груза фактически во всех случаях была выше плановой [3, л.52].

Следует отметить, что производственные фонды на предприятиях лагерной экономики использовались намного хуже, чем на аналогичных предприятиях хозяйственных ведомств, где применялся вольнонаемный труд. Согласно данным известного исследователя О.В. Хлевнюка [4], использование основных фондов (выполнение строитель-

но-монтажных работ на один рубль стоимости основных фондов) на стройках ГУЛАГа в 1939 г. было почти в четыре раза ниже, чем на стройках Наркомата по строительству СССР. При этом в три раза хуже на гулаговском строительстве использовались строительные механизмы.

Лесозаготовительная отрасль

Одной из наиболее характерных черт гулаговской экономики на протяжении всего ее существования являлась слабая механизация лесозаготовительного сектора.

Уровень использования машин и механизмов, несмотря на высокую трудоемкость лесозаготовительных работ, оставался достаточно примитивным. Так, в ходе проверки в 1932 г. Коношского ЛПХ Мосгортопа, использовавшего труд спецпереселенцев, выяснилось, что имеющиеся на производстве шесть тракторов системы «Форд-Зон» бездействуют; из 282 пил «Компис» в работе находится только половина, а три моторные пилы «Долмар» не загружены полностью [5, л.73].

При этом в источниках фиксируется отсутствие не только техники, но и элементарных рабочих инструментов. Данная проблема нашла отражение в приказе ОГПУ № 44/21 «О мероприятиях по ликвидации кулачества как класса» от 2 февраля 1930 г., который обязывал выселяемых крестьян брать с собой топоры, вилы, лопаты, плотничьи инструменты [6]. Так, в сентябре 1933 г. работающим на лесобиржах Котласского района Северного края спецпереселенцам выдавались вместо топоров лопаты [7]. Подобных примеров можно было привести достаточно много. Выдача плохого инструмента, в частности, была зафиксирована в Верхней Тойме, Вожеге, Усть-Выми, Котласе на Пинеге [5, л.73].

В дальнейшем ситуация в лесозаготовительной отрасли практически не изменилась. Об этом свидетельствуют материалы о деятельности Каргопольского, Кулойского, Онежского, Усть-Вымского ИТЛ, колоний УНКВД Архангельской области за 1938 г. В частности, в них указывается на «слабое внедрение лучковой пилы» как на одну из причин невыполнения плана по Управлению лесной промышленности.

Особенно остро перед лесозаготовительными лагерями стоял вопрос о вывозке древесины. План механизированной вывозки за 1938 г. ИТЛ был фактически сорван: было вывезено лишь 57,1% древесины. Неудовлетворительно использовался автотракторный парк. Доля автомашин, задействованных на вывозке и подвозке леса, составила 63,1 %, остальные 36,4% были в ремонте или находились в простое. За 1939 г. из 540 тракторов в работе находилось только 150 или 27,8 % [8, л.8].

Плохое использование автотракторного парка в значительной мере объяснялось необеспеченностью лагерного производства ремонтными базами, которыми располагали только 36% механических пунктов. Качество ремонта при этом было плохое. Отсутствовали запчасти и авторезина. Топливные базы были не подготовлены для газогенераторного парка [8, л.9]. Помимо того, механизмы часто простаивали из-за отсутствия древесины и организованного складского хозяйства (Локчимлаг, Беломорско-Балтийский комбинат (далее – ББК)) [8, л.8]. Как следствие данной ситуации, показатели выполнения плана вывозки за 1939 г. оставались чрезвычайно низкими. В Локчимлаге они составили 62,3 %, Устьвымлаге – 62,4, Онеголаге – 71,9, Кулойлаге – 78,6 % [8, л.10]. За 1940 г. мехтранспортом было вывезено 38,6% добытого леса, тогда как конной силой – 60,4, вручную на тачках – 1,0 %.

В течение 1941 г. существенных изменений не произошло. При помощи мехтранспорта было вывезено 40,7 %, конной силы – 58,3, вручную, на тачках – 0,8 % древесины [9, л.150]. Следует отметить, что значительное недоиспользование автомобильного транспорта в лесных лагерях ГУЛАГа было связано с тем, что находящийся в распоряжении ИТЛ автопарк был серьезно изношен, запасных частей, особенно ходовых, резко не хватало, следствием чего были частые простои машин. Наиболее исправные же машины с полным комплектом запчастей с началом войны были переданы военному ведомству [10].

Следует отметить, что проблема транспортировки древесины часто носила искусственный характер. Речь в данном случае идет о просчетах в ее организации. Так, из-за несвоевременного завоза в Устьвымлаг и Локчимлаг продфуража, материалов и вещдовольствия значительная часть транспорта была использована в зимнее время не на транспортировке леса, а на перевозке хозяйственных грузов для лагеря [8, л.8]. На выполнение плановых заданий существенное влияние оказывали просчеты в организации производства. Так, изъятие Наркоматом путей сообщения СССР арендованных вагонов, которыми подвозилось сырье, приводило к срыву планов по лесопилению по причине необеспеченности лесозаводов сырьем [8, л.9]. Или же другой пример: лесозаводы ББК и Каргопольлага не были обеспечены и оборудованием, в результате чего в первом квартале 1938 г. руководство Каргопольлага сняло с завода рабочую силу и направило ее на лесозаготовки, в результате чего план по лесопилению и шпалопилению был сорван [8, л.9].

Как и в ситуации со строительными ИТЛ, удельный вес работающей техники, имевшейся в распоряжении лесных лагерей, был незначителен. В 1942 г. он составил: по автомобилям – 57,1, тракторам – 47,2, паровозам и мотовозам – 81,8. Имевшиеся в распоряжении лагерей лошади использовались на 75%. Находившийся в эксплуатации механизированный транспорт также использовался неудовлетворительно. Производительность на вывозке древесины на машиносмену составляла по автомашинам 69,0%, паровозам и мотовозам – 62,3, тракторам – 61,8 % [11, л.229].

В годы войны серьезной проблемой для всех лесозаготовительных ИТЛ по-прежнему являлась вывозка деловой древесины. Так, за 1943 г. Устьвымлагом было вывезено 231 тыс. фестметров деловой древесины (64,0%); Каргопольлагом –190 тыс., или 73,1 % от плановых показателей [12, л.178]. Порча не вывезенной древесины являлась

серьезным фактором убыточности производственной деятельности лагерей Управления лагерей лесной промышленности НКВД СССР.

Компенсировали недостаток техники лесные лагеря (Устьвымлаг и Каргопольский ИТЛ), разумеется, за счет гужевых и людских ресурсов. В результате, помимо серьезных потерь подневольной рабочей силы, наметились весьма высокие потери конского поголовья, составившие за 1943 г. 33,5 % [12, л.177]. В значительной степени это было связано с тем, что средние расстояния при подвозке древесины были в среднем увеличены в два раза (с 0,5 км до 1 км), а при вывозке на 17%. Дневная нагрузка на лошадь при подвозке возросла на 0,1 фестметров, а при вывозке – на 1,1 – 1,5. Подобные нагрузки сказывались на состоянии конского поголовья, которое в 1942 г. выводилось на 66,7% от наличия [11, л.229]. Между тем, по своему физическому состоянию до 40% всего конского поголовья в вышеуказанных ИТЛ составляли больные лошади («анемики» и «малеинщики»). Лошадей, пригодных к тяжелым работам, насчитывалось не более 42 – 43 % [12, л.176].

Недостаточное использование и плохая работа механизированного транспорта вызывали необходимость увеличить ручную (тачками) вывозку, которая в лесных ИТЛ в 1942 г. составила 611 тыс. фестметров вместо запланированных 100 тыс. или 611 % [11, л.229].

Характерно, что при исчислении производительности труда по вывозке древесины на всех занятых основных и вспомогательных рабочих производительность на всех видах вывозки, кроме ручной, была почти одинакова. Выработка, исчисляющаяся путем деления объемов вывезенной древесины (тыс. фестметров) на количество отработанных человеко-дней составила по механизированной вывозке 2,86; по конной – 2,94; по ручной – 3,25 [11, л.226]. Это еще раз подтверждает совершенно неудовлетворительную работу механизированного транспорта на вывозке и значительную роль ручного труда.

Анализируя уровень механизации производственных процессов в лесозаготовительных ИТЛ, следует отметить, что себестоимость их товарной продукции в определенные периоды, несмотря на тяжелое положение отрасли в целом, по ряду работ была ниже плановых показателей. Так, в 1942 г. по основному производству при плане 26 руб. 50 коп. за 1 фестметр себестоимость составила 24 руб. 99 коп.; по лесопилению при плане в 54 руб. 50 коп. – 53 руб. 02 коп. [9, л. 95].

Таким образом, на примере лесозаготовительного сектора гулаговской экономики, имеющего большой спектр трудоемких работ, просматривается одна из характерных ее особенностей. Ставя во главу угла лозунг снижения себестоимости продукции, лагерное руководство не проявляло заинтересованности в увеличении масштабов механизированной вывозки леса. С его точки зрения, гораздо выгоднее было использовать живую рабочую силу из заключенных и применять гужевой транспорт. Так, в объяснительной записке к сводному бухгалтерскому отчету за 1942 г. сообщалось, что перерасход стоимости по тракторной вывозке на 26,9 % и автомашиной – на 26,6 % удалось перекрыть снижением себестоимости по гужевой вывозке [9, л. 94].

Согласно объяснительной записке к отчету Управления лагерей лесной промышленности НКВД за 1941 г., фактическая себестоимость ручной подвозки составляла 2 руб. 99 коп., конной – 5 руб. 84 коп., тогда как механизированной подвозки – 7 руб.75 коп. Вывозка древесины имела следующие показатели себестоимости: ручная на тачках – 4 руб. 42 коп.; конная – 8 руб.21 коп. (ниже плановой по причине «недокорма лошадей»); механизированная вывозка (автомашиной) – 11 руб. 33 коп. (ниже плановой по причине «невыполнения норм по мехтранспорту, неудовлетворительного использования механизмов») [13]. Таким образом, цену выполнения плановых показателей по снижению себестоимости товарной продукции в значительной степени определял тяжелый, изнуряющий, преимущественно ручной труд.

Подобное состояние лесозаготовительного производства существенным образом ограничивало мобилизационный потенциал ГУЛАГа, востребованный в процессе промышленного освоения богатого лесными массивами Европейского Севера страны. С учетом данных обстоятельств следует отметить, что положение дел в лесозаготовительной отрасли страны в целом мало чем отличалось от состояния гулаговского производства. Уровень механизации лесозаготовительных процессов оставался крайне низким. В СССР в 1932 г. только 3,5 % трелевки леса осуществлялось тракторами [14], тогда как в США уже в 1928 г. данный показатель составлял 60 % [15].

Нефте- и газодобывающая отрасль

Существенно в большей степени от уровня механизации производства зависели структуры, связанные с эксплуатацией недр Европейского Севера страны. Данная зависимость была очевидна даже в условиях приоритета экстенсивных принципов хозяйствования, свойственных советской экономике. Наглядным примером тому служит ситуация, сложившаяся в Ухтпечлаге в 1935 г. Согласно объяснительной записке к бухгалтерскому отчету лагеря, план по добыче нефти был перевыполнен Первым промыслом Ухтпечлага за счет применения глубоких насосов на 14,4 %. При этом затраты труда на 1 т добытой нефти выразились в 9,5 чел./ч. В то же самое время Третьим промыслом, ориентирующимся на традиционную практику добычи нефти, плановое задание было недовыполнено на 24,4 %, а расход рабочей силы на 1 т нефти составил в среднем за год 5,81 чел./дней [16, л.1].

К середине 1930-х гг. добыча нефти производилась глубокими насосами, тартанием желонкой и самопереливом. При этом глубоконасосная эксплуатация с применением электромоторов постепенно становилась доминирующим способом эксплуатации. Всего в 1935 г. глубокими насосами было добыто 22 931,1 т, или 90, 8% [16, л.2]. Согласно структуре основных производств Ухтпечлага, в те-

чение 1937 г. шел процесс незначительного увеличения количества оборудования, строительных машин и механизмов, транспортных средств, задействованных на строительстве.

Но даже наличие необходимого количества инструментов и оборудования в условиях, когда от активного их использования зависело выполнение производственного задания, далеко не всегда означало эффективную работу в этом направлении. В данном случае показательна ситуация, сложившаяся в Ухтижемлаге. План разведочного и эксплуатационного бурения был выполнен лагерем в 1940 г. только наполовину. При этом чрезвычайно плохо использовался парк буровых станков. Четыре буровых станка в январе 1940 г. простояли 686 ч и дали только 33% плана проходки. Новые рабочие не были обучены работе на станках и бурильных молотках. В результате механизмы часто портились, выходили из строя. Поступающие на шахту станки, молотки месяцами лежали на складах [17].

Согласно сведениям из лагерной многотиражки, инженерно-технический состав почти не занимался практическими вопросами бурения. Даже инженеры-производственники редко бывали на месте работ, а «чиновники, засевшие в канцелярии, строчили приказ за приказом, распоряжение за распоряжением. Второй нефтепромысел за 10 месяцев 1940 г. получил из управления свыше 8 тыс. распоряжений» [17].

Определенная интенсификация производственных процессов в условиях гулаговского хозяйства влекла за собой множество проблем, имеющих технологический характер. В качестве аргументации данного утверждения следует обратиться к ситуации, сложившейся в Ухтижемлаге в 1938 г. Своевременный ремонт действующих нефтяных скважин лагерем не производился. Режим работы скважин (число часов работы, количество качаний насоса, длина хода и т.д.) устанавливался без учета индивидуальных особенностей каждой скважины. Имелись потери нефти и газа из-за плохого состояния оборудования, аварий, простоев и плохой организации хранения и перекачки нефти. Помимо того, лагерь не обеспечивал себя новыми нефтеносными разведанными площадками. В Ухтижемлаге отсутствовала служба по охране недр, в результате чего периодически случались обводнения и дегазация (Чибью, Крутая). На Водном промысле из имеющихся 292 скважин в эксплуатации находилось 83. Добыча асфальтита производилась кустарным способом. Месторождения его не были до конца разведаны, запасы не уточнены. Наконец, отсутствовал генеральный план развития районов Ухтижемлага, что привело к возможности создания диспропорции в хозяйственном развитии лагеря [18].

В Воркутинском ИТЛ уровень механизации процесса добычи угля был существенно ниже, чем нефтедобычи – в Ухтижемлаге. По воспоминаниям П. Негретова, все работы в шахте и на поверхности выполнялись в основном вручную. Даже лошади впервые появились в шахте только в 1940 г., а до этого вагонетки на ствол откатывали женщины. Нагора по наклонному стволу вагонетки выдавали подъемной лебедкой на конной и, позже, паровой тяге. Только в навигацию 1935 г. на Рудник были завезены локомобиль мощностью в 65 л. с. и генератор в 40 квт. Однако в шахту электроэнергия стала подаваться только с 1937 г., когда была смонтирована первая подземная шахтная подстанция. С этого времени в шахте появились бурильные молотки и врубовая машина [19].

Дополнительные трудности, существенным образом ограничивающие производственные возможности лагерей, занимающихся добычей нефти и угля, по свидетельству П.И. Негретова, были «обязаны своим происхождением … плохой организации снабжения» [19]. Достаточно характерный случай вспоминает В. П. Соколов: «В январе 1939 г. на Рудницкой локомобильной электростанции не оказалось вдруг ни одного исправного приводного ремня. Два шорника круглые сутки сшивали их. Шахту пришлось остановить, и электроэнергию подавали только на водоотлив. Из-за северного сияния радиосвязь с Москвой работала с длительными перерывами, другой же связи не было. По личному распоряжению наркома ремень доставлен на Воркуту самолетом через Архангельск и Усть-Цильму. Но оказалось, что «по халатности работника снабжения» воркутский ремень был отправлен на Дальний Восток. Прошло еще несколько дней, прежде чем этот злополучный ремень прибыл, наконец, на Воркуту. И все эти расходы по доставке ложились на себестоимость угля...» [19].

Примечательно, что в послевоенный период мало что изменилось. По-прежнему наибольшие трудности лагеря и колонии испытывали, сталкиваясь с необходимостью механизации производственных процессов. Данная особенность была характерна практически для всех направлений экономической деятельности ГУЛАГа. Но прежде всего она касалась производств, связанных с освоением недр с целью добычи полезных ископаемых, а также перерабатывающего производства.

Руководство МВД, пытаясь решить данную проблему, издавало приказы, распоряжения, уровень исполнения которых был достаточно низким. Приказом Министерства № 0219 от 7 апреля 1948 г. для промышленных предприятий Главного управления лагерей горно-металлургической промышленности МВД СССР были установлены среднепрогрессивные нормы использования машин, механизмов и агрегатов, а также нормы расхода энергии, топлива, материалов и сырья. Однако произведенная позднее проверка показала, что далеко не все средне-прогрессивные нормы выполнялись предприятиями. В Воркутинском комбинате была снижена производительность врубовой машины, очистной линии забоя. Механизированная добыча угля при плане в 78% составила за 1948 г. 68,8 %. В Интинском комбинате также была выявлена низкая производительность линии забоя. В Ухтинском комбинате не выполнялись среднемесячные нормы по эксплуатационному бурению [20].

Проблема механизации производственных процессов стояла не только перед лагерями, но и перед колониями. В среднесписочном составе хо-

зяйств подразделений УИТЛК УМВД Архангельской области в 1946 г. имелось 37 автомашин. При этом использование наличного парка автомашин было чрезвычайно низким и составляло только 46,0 % вместо 80,0 по плану, что объяснялось длительным нахождением машин в ремонте [21, л.60].

Аналогичная проблема существовала и в колониях Вологодской области. За 1947 г. использование машин на работе составило только 34,8 %, а полезный пробег с грузом – 54,6 % к общему пробегу автомашин [22, л.65 об.]. За 1949 г. выработка на один условный трактор достигла лишь 41,0 % к плану [21, л.105].

В колониях в послевоенный период эксплуатировались в основном старые автомашины выпуска 1936 – 1937 гг., прошедшие не один амортизационный срок. В свою очередь недостаточность и состояние транспортных средств, а также большие расстояния вывозки и плохое состояние дорог в осенне-зимний период оказывали негативное влияние на сбыт и реализацию готовой продукции [21, л.70].

К 1950 г. неудовлетворительный уход за оборудованием в подразделениях УИТЛК УМВД Архангельской области, низкое качество его ремонта привели к резкому ухудшению технического состояния действующего производственного оборудования. Так, согласно отчетным данным общественного смотра, количество станков и механизмов с оценкой «удовлетворительно» возросло в 1950 г. против плана 1949 г. в 5,5 раз, а с оценкой «отлично» сократилось в три раза [21, л.97].

Следует признать, что слабая механизация экономики принудительного труда была лишь отражением общего состояния советской экономики. Работа заводов и фабрик в СССР характеризовалась хронической неритмичностью, обусловленной, в том числе, недопоставками и низким качеством комплектующих изделий, частыми поломками оборудования [23, с.266]. По сведениям Д. Фильцера, машиностроительные заводы страны не выпускали запасные части к тому оборудованию, которое они поставляли. При этом вплоть до начала 1950-х гг. в Советском Союзе отсутствовала специализированная отрасль, производящая крепежные изделия. Поэтому запчасти и крепеж изготавливали на местах, в механизированных участках при предприятиях. Качество изделий было, как правило, низким, что приводило к поломкам оборудования и потерям рабочего времени [23, с.283].

Низкое качество ремонта, фиксируемое в рамках гулаговского производства, также являлось одной из проблем, стоящих перед промышленностью страны в целом. Для советских предприятий обычной являлась ситуация, когда станки на длительный срок изымались из эксплуатации для ремонта с тем, чтобы вновь отправиться на ремонт почти тотчас после его завершения [23, с.290]. Подобные явления свидетельствуют, что экономика принудительного труда может рассматриваться как вполне органичная часть советской экономики в целом.

Источниковый анализ подводит к выводу о том, что экономика ГУЛАГа, основанная преимущественно на тяжелом физическом труде, отторгала технический прогресс. Ее проблемы, связанные с низкой заинтересованностью в технических нововведениях, недостатком квалифицированных кадров, плохим качеством обслуживания и ремонта механизмов, носили хронический характер и решались за счет наращивания применения физической силы заключенных. Необходимость инвестиций в механизацию производственных процессов зачастую игнорировалась вследствие наличия в лагерях и колониях ГУЛАГа дешевой, бесправной рабочей силы.

Литература и источники

1. *История сталинского ГУЛАГа*. Конец 1920-х – первая половина 1950-х гг.: Собр. док. в 7-ми томах. Т. 3: Экономика ГУЛАГа / Отв. ред. и сост. О. В. Хлевнюк. М., 2004. С.151.
2. *Государственный архив Российской Федерации* (далее – ГА РФ). Ф. Р-9401.Оп.1а. Д.18. Л.151.
3. *Российский государственный архив экономики* (далее – РГАЭ). Ф. Р-7733. Оп.36. Д. 443.
4. *Хлевнюк О. В.* Экономика ОГПУ – НКВД – МВД СССР в 1930 – 1950-х гг.: масштабы, структура, тенденции развития // ГУЛАГ: экономика принудительного труда. М., 2008. С.85.
5. *Государственный архив Архангельской области* (далее – ГААО). Ф.290. Оп.1. Д.1446.
6. *История сталинского ГУЛАГа*. Конец 1920-х – первая половина 1950-х гг.: Собр. док. в 7-ми томах. Т.5. Спецпереселенцы в СССР / Отв. ред. и сост. Т.В. Царевская – Дякина. М., 2004. С.99.
7. *ГААО*. Ф.290. Оп.1. Д.1198. Л.3.
8. *ГАРФ*. Ф.Р-9414. Оп.1. Д.2976.
9. *РГАЭ*. Ф. Р-7733. Оп.36. Д.963. Л.150.
10. *ГАРФ*. Ф.Р-9414. Оп.1. Д.718. Л.84.
11. *РГАЭ*. Ф.Р-7733. Оп.36. Д. 961.
12. *РГАЭ*. Ф. Р-7733. Оп.36.Д.1259.
13. *РГАЭ*. Ф. Р-7733. Оп.36.Д.718.Л.10.
14. *Акимов Л.И.* Технический прогресс в лесной промышленности и пути дальнейшего повышения производительности труда // Вопросы экономики лесной промышленности. Пермь, 1959. С. 37.
15. *Кремнев А. И.* Экономика лесной промышленности СССР. М., 1958. С.72.
16. *ГАРФ*. Ф. Р-9414 а. Оп. 1а. Д.759.
17. *За Ухтинскую нефть*. 15 февраля 1941 г. №8. С.8.
18. *ГАРФ*. Ф. Р-9414. Оп.1. Д.21. Л.179.
19. *Негретов П. И.* Почтовый ящик № 223 // Печальная пристань / Сост. И.Л.Кузнецов. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1991. 464 с.
20. *РГАЭ*.Ф.Р-704.Оп.2.Д.106.Л.74.
21. *ГАРФ*. Ф.Р-9414. Оп.1. Д.3150.
22. *ГАРФ*. Ф.Р-9414. Оп.1. Д.3158.
23. *Фильцер Д.* Советские рабочие и поздний сталинизм. Рабочий класс и восстановление сталинской системы после окончания Второй мировой войны. М., 2011. 359 с.

References

1. *Istorija stalinskogo Gulaga.* Konec 1920-h – pervaja polovina 1950-h godov [History of Stalin's Gulag. The end of the 1920-s – fisrt half of the 1950-s]: Collected documents in 7 volumes. Vol. 3: Economy of Gulag / Ed.-in-chif and compiler O.V. Khlevnyuk. Moscow, 2004. P.151.
2. *Gosudarstvennyj arhiv* Rossijskoj Federacii (dalee – GA RF) [State Archive of the Russian Federation]. F. R-9401.Op.1a. D.18. L.151.
3. *Rossijskij gosudarstvennyj* arhiv jekonomiki (dalee – RGAJe) [The Russian State Archive of economy]. F. R-7733. Op. 36. D. 443.
4. *Khlevnyuk O.V.* Jekonomika OGPU – NKVD – MVD SSSR v 1930 – 1950 gg.: masshtaby, struktura, tendencii razvitija // GULAG: jekonomika prinuditel'nogo truda [Economy of Chief Political Administration – People's Comissariat of Home Affairs – Ministry of Internal Affairs of the USSR in the 1930-1950-s: scales, structure, development tendencies]. Moscow, 2008. P. 85.
5. *Gosudarstvennyj arhiv* Arhangel'skoj oblasti (dalee – GA AO) [The state archive of the Arkhangelsk region]. F.290. Op.1. D.1446.
6. *Istorija stalinskogo GULAGa.* Konec 1920-h – pervaja polovina 1950-h godov: sobranie dokumentov v 7-mi tomah [History of Stalin's Gulag. The end of the 1920-s - first half of the 1950-s]: Collected documents in 7 volumes/ Vol.5. Special settlers in the USSR / Ed.-in.chief and compiler T.V. Tsarevskaya– Dyakina. Vol.V. Moscow, 2004. P.99.
7. *GA AO.* F.290. Op.1. D.1198. L.3.
8. *GA RF.* F.R-9414. Op.1. D.2976.
9. *RGAJe.* F. R-7733. Op.36. D.963. L.150.
10. *GA RF.* F.R-9414. Op.1. D.718. L.84.
11. *RGAJe.* F.R-7733. Op.36. D. 961.
12. *RGAJe.* F. R-7733. Op.36.D.1259.
13. *RGAJe.* F. R-7733. Op.36.D.718.L.10.
14. *Akimov L.I.* Tehnicheskij progress v lesnoj promyshlennosti i puti dal'nejshego povyshenija proizvoditel'nosti truda // Voprosy jekonomiki lesnoj promyshlennosti [Technical progress in forest industry and ways for the further increase of labour productivity // Problems of economy of forest industry]. Perm, 1959. P. 37.
15. *Kremnev A.I.* Jekonomika lesnoj promyshlennosti SSSR [Economy of forest industry of the USSR]. Moscow, 1958. P.72.
16. *GA RF.* F. R-9414 a. Op. 1a. D.759.
17. *Za Uhtinskuju neft'* [For Ukhta oil]. February 15, 1941. №8. P.8.
18. *GA RF.* F. R-9414. Op.1. D.21. L.179.
19. *Negretov P.I.* Pochtovyj jashhik № 223 // Pechal'naja pristan' [Mail box No. 223 // Sad landing stage]/ Compiled by Kuznetsov I.L. Syktyvkar : Komi Publ. House, 1991. 464 p.
20. *RGAJe.*F.R-704.Op.2.D.106.L.74.
21. *GA RF.* F.R-9414. Op.1. D.3150.
22. *GA RF.* F.R-9414. Op.1. D.3158.
23. *Filtser D.* Sovetskie rabochie i pozdnij stalinizm. Rabochij klass i vosstanovlenie stalinskoj sistemy posle okonchanija Vtoroj mirovoj vojny [Soviet workers and late Stalinism. Working class and restoration of Stalin system after the end of the II World War]. Moscow, 2011. 359 p.

Статья поступила в редакцию 10.11.2014.

УДК 94 : 630*31 : 343.262-052(470.1)"1930–1939"

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУДА СПЕЦПЕРЕСЕЛЕНЦЕВ-«БЫВШИХ КУЛАКОВ» В ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО КРАЯ В 1930-е гг.

Н.М. ИГНАТОВА

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар
ignatova11@rambler.ru

В статье рассматриваются причины масштабного использования принудительного труда и численность занятых на лесозаготовительных предприятиях Северного края в 1930-е гг. (Республика Коми, Архангельская и Вологодская области), а также условия труда спецпереселенцев-«бывших кулаков». В Северном крае спецпереселенцы использовались для ускоренного развития лесозаготовительной отрасли. Труд спецпереселенцев был результативен, так как привел в резкому росту лесозаготовок, но не был эффективен с точки зрения индивидуальной производительности труда и вложенных затрат, по причине тяжелых условий труда и быта и высокой смертности спецпереселенцев.

Ключевые слова: **принудительный труд, спецпереселенцы, Северный край, лесозаготовительная промышленность**

N.M.IGNATOVA. THE USE OF LABOUR OF FORCED MIGRANTS – "FORMER KULAKS" – IN THE LOGGING INDUSTRY OF THE NORTHERN TERRITORY IN THE 1930-s

In modern historiography the problem of forced labour is considered from two points of view. Supporters of the first one consider violent measures of Stalin's modernization which have led to huge human losses, and make conclusions on the inefficiency of use of forced labour. Supporters of the second one think that as a result of modernization Russia in the XX-th century was transformed from agrarian into the industrial country, therefore it is impossible to identify the Soviet period only with GULAG's history. The Northern territory which structure in 1929-1936 included the Komi Autonomous (since 1936 - the Komi ASSR, since 1991 - the Republic of Komi), the Arkhangelsk and Vologda regions, is a vivid example of the region which industrial development has been directly connected with use of forced labour of forced migrants and prisoners. In the Northern territory the labour of forced migrants was used with a view of development acceleration of logging and timber industries. In 1934 at the enterprises of timber industry of the Northern territory 48038 labour migrants with family members (adults and children) were registered.
Despite the directives of the authorities to the maximum use of forced migrants, despite the Stakhanov movement and record-setters in work productivity among the forced migrants, constant housing and domestic problems and insufficient supply did not allow the logging enterprises to achieve high labour productivity and efficiency of work of forced migrants. The country leaders in the 1930-1950-s did not see any alternatives to forced labour in industrial development of the North, given the difficult living conditions of forced migrants, that had led to great human losses and to constant necessity to replenish the workforce through new flows of forced migrations.

Keywords: **forced labour, forced migrants, the Northern territory, logging industry**

Проблема использования принудительного труда на сегодняшний день является одной из наиболее актуальных в исторической науке. В исследовании «Эпоха Иосифа Сталина в России. Современная историография» один из авторов А. Литвин выделяет два направления в историографии принудительного труда: либеральное и консервативно-реставрационное. Сторонники либерального направления учитывают насильственные меры сталинской модернизации, которые привели к огромным людским потерям, и делают выводы о неэффективности применения принудительного труда. Сторонники консервативно-реставрационного направления считают, что в результате модернизации

Россия в XX в. преобразовалась из аграрной в индустриальную страну, поэтому нельзя советское время идентифицировать только с историей ГУЛАГа, так как в основе была модернизация страны и общества в самом широком смысле [1, с. 277–280].

Исследователь П.Грегори в монографии «Политическая экономия сталинизма» отмечает, что экономические и политические аспекты диктатуры были неразрывно связаны. Он также указывает на то, что с момента начала коллективизации развитие Советского Союза определялось общенациональными планами, направленными на индустриализацию страны в кратчайшие сроки [2, с. 21, 36, 65]. Один из самых авторитетных исследователей истории спецпереселенцев В.Н. Земсков принудительные миграции непосредственно связывает с экономическими причинами: «направление больших масс людей на спецпоселение – следствие государственной политики спецколонизации, т.е. освоения необжитых и малообжитых районов страны посредством насильственных переселений» [3, с. 20]. Исследователь истории спецпереселенцев в Сибири С.А. Красильников вводит термин «репрессивная экономика», где ключевой категорией выступает принудительный труд. Данная экономическая система основана на эксплуатации труда различных групп «спецконтингента» и призвана обеспечить достижение тех или иных целей и результатов в сроки и масштабах, не достижимых обычными, ординарными экономическими средствами [4, с. 99].

Следует отметить, что полем активной дискуссии становится вопрос эффективности принудительного труда (методы принуждения, формы стимулирования, принципы экономического управления). Отражением этого дискурса является коллективная монография «ГУЛАГ: экономика принудительного труда», в которой авторы едины во мнении, что принудительный труд был неэффективен [5]. Н. Верт отмечает, что быстрый рост ГУЛАГа в послевоенные годы привел к глубокому кризису системы принудительного труда и вопрос демонтажа ГУЛАГа, по крайней мере частичного, ставился еще при жизни Сталина [6, с. 14]. В.А. Бердинских подтверждает тезис о неэффективности принудительного труда: «XX век отчетливо доказал, что любые формы внеэкономического принуждения в массовом производстве катастрофически убыточны, и убытки эти не прекращаются с завершением эксперимента» [7].

Изучая историю спецпереселенцев-«бывших кулаков», подвергшихся выселению в период массовой коллективизации, американская исследовательница Л. Виола делает обширный вывод о том, что крестьянство являлось для страны «внутренней колонией», которую режим использовал для индустриализации, а также колонизации обширных удаленных северных и восточных территорий Советского Союза [8]. Из региональных исследователей можно выделить оригинальную точку зрения Н.В.Упадышева, который считает, что принудительный труд был неэффективен, но результативен, так как позволял «осваивать и колонизировать огромные периферийные регионы страны» [9, с. 279].

Северный край, в состав которого в 1929–1936 гг. входили Коми автономная (с 1936 г. – Коми АССР, с 1991 г. – Республика Коми), Архангельская и Вологодская области, является ярким примером региона, индустриальное развитие которого было напрямую связано с применением принудительного труда спецпереселенцев и заключенных. В 1930–1950-е гг. в СССР в рамках репрессивной политики государства проводились неоднократные массовые насильственные перемещения различных групп населения. Впервые массовые принудительные переселения (спецпереселения) в административном порядке были осуществлены в ходе массовой коллективизации и раскулачивания крестьянства в центральных и южных районах страны. В Северный край первые эшелоны с высланными стали прибывать в конце февраля 1930 г., к началу мая в Северный край было выселено 230 065 чел. (табл. 1). В 1931 г. численность спецпереселенцев в крае составила 285 609 чел. [10]. По данным В.Н. Земскова, в Северный край также производились переселения «бывших кулаков» в 1932 г. (3 260 чел.) и в 1933 г. (16 659 чел.) [3, с. 23, 24].

Таблица 1

Регионы выселения и численность спецпереселенцев, перемещенных в Северный край в 1930–1931-е гг.

Регион	Выселено в 1930 г.		Всего в 1930–1931 гг.
	семей	человек	семей
Украинская ССР	19658	93461	19658
Нижняя Волга	7931	40001	10963
Средняя Волга	5566	29211	5566
Центрально-Черноземный район	8237	42837	10236
Белорусская ССР	4763	22810	4763
Крым	407	1745	1553
Нижегородский край	-	-	2471
Итого	**46562**	**230065**	**55210**
Северный край*	-	-	3061
Всего	**46562**	**230065**	**58271**

*Внутрикраевое переселение в Архангельской и Вологодской областях в 1931 г. В Коми АССР внутрикраевого переселения не было.
Составлено по: [3, с. 17–18].

В Северном крае труд спецпереселенцев использовался в целях ускорения развития лесозаготовительной и лесообрабатывающей промышленности. Например, по Коми области в 1920-е гг. на лесозаготовках ежегодно было занято от 15 до 20 тыс. чел. Это были сезонные рабочие, трудившиеся семь-десять месяцев в году [11]. Постоянная рабочая сила в лесной промышленности практически отсутствовала. Кадровых рабочих в 1929 г. в Коми области было 603 чел., в 1930 г. – 1 287 [12]. В конце 1920-х гг. вербовка колхозников и единоличников в течение нескольких лет срывалась, поэтому ставка была сделана на завоз рабочей силы извне. В сводке Коми областного отдела ОГПУ о подготовке к лесозаготовкам от 5 сентября 1930 г., направленной в ПП ОГПУ Севкрая (г. Архангельск),

отмечалось: «Настроения некоторой части населения по отношению к лесозаготовкам отрицательны, имеются настроения к уходу на заработки за пределы области, чтобы избежать лесозаготовок, так как заработки малы, местами целые деревни отказываются от проведения самообязательства. На отрицательное настроение немало влияет то, что некоторые леспромхозы до сих пор не произвели расчета с рабочими не только за сплав, но даже за лесозаготовку, после чего некоторые граждане заявляют об отказе наняться на лесозаготовку» [13].

С первых месяцев заселения ставилась задача масштабного использования подневольного труда спецпереселенцев. В частности, Правление Союзлеспрома (Объединение лесной и деревообрабатывающей промышленности) ВСНХ СССР направило 17 сентября 1930 г. руководителям трестов Севролеса, Комилеса, Ураллеса, Севлестреста, Сиблестреста, Кареллеса, Западолеса предписание о необходимости «наметить конкретные мероприятия по максимальному использованию спецпереселенцев 2-й категории /кулаков/ на лесозаготовительных работах». По мнению Союзлеспрома, тресты не принимали «достаточных мер к нормальному использованию кулаков», в связи с чем начальник управления труда и кадров Союзлеспрома «немедленно» запрашивал материалы по «хозобустраиванию и использованию кулаков», в том числе по строительству жилья, продовольственному снабжению, производительности труда и размеру заработка [14]. Следует отметить, что первые два года заселения спецпереселенцы, занимаясь самостоятельно строительством бараков, жили преимущественно в шалашах. Инфраструктура, в том числе дороги, вокруг спецпоселков отсутствовала.

По многим аспектам регионы были совершенно не готовы к приему новой рабочей силы. В акте обследования строительства поселков для спецпереселенцев в Вожегодском районе Вологодской области начальником колонизационной партии окружного земельного управления за июль 1930 г. в частности указывалось: «Обувь [спецпереселенцы] почти всю износили. На некоторых участках плетут старики лапти, но в большинстве не умеют. Нами приказано организовать лапотное производство. У многих одежда изорвалась… Перебои со снабжением на всех участках были, но на одном из них не выдавали неработающим на строительстве совершенно [ничего из еды] 12 дней, даже хлеба. Рыба, крупы выдаются с большими перебоями» [15]. На фоне отсутствия нормального жилья и снабжения существенную роль играл недостаток инструментов. Например, в сентябре 1930 г. в Коми автономной области потребность в наличии инструментов для лесозаготовительного сезона (топоров, пил, напильников, лопат и др.) составляла 110 тыс. единиц, в наличии имелось в леспромхозах (ЛПХ) – 21 640, сведения об отгрузке на 5 сентября имелись на 11 800 инструментов [16].

Развитие лесозаготовительной отрасли в индустриальных планах было одним из наиболее приоритетных. В постановлении СНК СССР от 30 октября 1930 г. оговаривалось, что “кулацкие семьи, подвергшиеся раскулачиванию”, должны быть выселены в специальные поселки, которые образовывались, в том числе в “местностях, где ощущается недостаток в рабочей силе для лесозаготовительных работ” [17]. По Постановлению СНК СССР от 16 августа 1931 г. и генеральному соглашению между Всесоюзным Объединением лесной промышленности и лесного хозяйства ВСНХ СССР (Союзлеспром) и ГУЛАГом ОГПУ от 10 июля 1931 г. спецпереселенцы передавались трестам лесной промышленности и закреплялись как постоянные кадры лесных рабочих [18]. В соответствии с генеральным соглашением 10 июля 1931 г. ОГПУ переселял в распоряжение леспромхозов Союзлеспрома для использования на лесозаготовительных, сплавных и других лесных работах до 125 тыс. семей спецпереселенцев. В ведомство трех трестов Северного края передавалось 94 414 спецпереселенцев, что составляло 17,8% от общего числа, занятых в лесной промышленности (табл. 2). Следует отметить, что данное соглашение было подписано, когда основной поток спецпереселенцев, переселяемых в 1930–1931-х гг., был уже расселен в спецпоселках.

Таблица 2

Регионы расселения и численность спецпереселенцев, переселяемых для использования на лесозаготовительных и сплавных работах (по соглашению Союзлеспрома и ГУЛАГа ОГПУ 10 июля 1931 г.)

Регион	В распоряжение трестов	Семей	Человек
Урал	Ураллес	79272	333475
Восточная Сибирь	не указано	9413	47067
Западная Сибирь	не указано	8015	34748
Дальний Восток	Дальлеспром	1900	9500
Нижегородский край	Севвостлес	1485	5121
Казахстан	Казлес	1000	5000
Северный край	Северолес	14803	60738
	Комилес	8090	32305
	Севвостлес	504	1371
Всего		124482	530325

Источник: Национальный Архив Республики Коми (далее – НАРК). Ф.Р-144. Оп. 1. Д. 1575. Л. 41-42

В соглашении ГУЛАГа ОГПУ и Союзлеспрома в том числе было указано: «В распоряжение Союзлеспрома передаются только такие семьи спецпереселенцев, в составе которых имеется хотя бы один взрослый трудоспособный мужчина. Общие условия труда спецпереселенцев в отношении зарплаты, продолжительности рабочего дня и дней отдыха, а также продовольственного, жилищного и санитарно-медицинского обеспечения должны быть одинаковы с условиями аналогичных работ, выполняемых кадровой рабочей силой. Всем используемым на работах спецпереселенцам, по спискам местных органов ОГПУ, леспромхозы Союзлеспрома выдают расчетные книжки, в которые вносятся все касающиеся зарплаты записи. Зарплата выдается спецпереселенцам в размере 75 % их фактического заработка. Остальные 25 % заработка пе-

редаются Союзлеспрому в распоряжение ОГПУ на покрытие его организационных и административных расходов. Снабжение работающих спецпереселенцев производится наравне с обычными рабочими, т.е. за вырабатываемый кубометр, а семьи спецпереселенцев снабжаются в обычном для семей рабочих порядке кооперативной сетью. Фонды для всего этого снабжения получаются в централизованном порядке от НКСнаба Союзлеспром совместно с ОГПУ. Охрана и управление спецпереселенцами на работах и в поселках осуществляется органами ОГПУ» [19].

Несмотря на заявленные в соглашении Союзлеспрома и ОГПУ условия, они практически нигде не выполнялись. Северное краевое объединение лесной промышленности и лесного хозяйства (Севлеспром) 26 января 1932 г. направил в отдел переселения треста «Комилес» и отдел по спецпереселениям Полномочное представительство ОГПУ по Северному краю (ППОГПУ СК) секретное письмо о необходимости создания условий труда для спецпереселенцев: «При переключении спецпереселенцев на лесозаготовки в большинстве своем директора ЛПХ-ов условия труда спецпереселенцев приравняли к условиям труда кулачества, т.е. предоставляли исключительно худшие лесные массивы для разработки, где спецпереселенцы не в состоянии заработать себе на продовольствие… также предоставляет худшие жилища. Предлагаем во всех отношениях условия труда спецпереселенцев, занятых на лесозаготовках, полностью приравнять к постоянному кадру лесных рабочих» [20].

В основном, спецпереселенцы начали использоваться на лесозаготовках с декабря 1931 г. В 1932 г. они составляли в лесу основную рабочую силу. В справке «Комилеса» о подготовке к зимним лесозаготовкам по состоянию на 5 октября 1932 г. указывалось, что летняя заготовка леса выполнена на 33,7, вывозка – на 42,8 %, остаток невывезенной древесины от сезона 1931–1932 гг. составлял 580 тыс. км^3. Главная причина, по мнению руководства треста, состояла в недостаточном количестве завербованной рабочей силы. Сохранялись большие проблемы с вербовкой рабочей силы на лесозаготовки из местного населения. Среди колхозников были широко распространены антилесозаготовительные настроения: «В селе Часово Сыктывдинского района один из присутствующих на собрании сорвал собрание, заявив по приему самообязательств: «Теперь, “дружок”, на заготовку не заманишь, не те времена, теперь закон другой, принудительного труда нет. Так что, если захотим, пойдем сами, а нас не посылайте, а самообязательство не примем». В Сысольском районе середняк-единоличник в беседе с односельчанами заявил: «Пошли вы к чертовой матери с лесозаготовкой и собраниями. Теперь вольный труд. Принуждать меня никто не имеет права. Хочу – пойду, хочу – нет. Это мое право». Учетчик в беседе среди колхозников говорил: «Коли сей год под охраной винтовок не будут заставлять работать на лесозаготовке, все равно никто не пойдет. Теперь вольный труд, поэтому никто не имеет права кого-либо заставить. Хочешь – работай, хочешь – нет. Нужно всем коллективно бросить работать». В частности, в указанной справке отмечалось, что «леспромхозы и лесопункты вербовки рабочей силы среди колхозников до сего времени и не начинали и более 50% рабочих на производстве являются переселенцами» [21] (см. табл. 3).

Таблица 3

Рабочая сила треста « Комилес» на 5 октября 1932 г.

Вербовка рабочей силы	Человек
Потребность	10085
Завербовано	5959
Работает	4576
Процент выполнения	42,1
Всего работает	
Женщины	700
Кадровые рабочие	306
Колхозники	608
Единоличники	758
Зажиточные	116
Кулаки	30
Всего местного населения	2518
Спецпереселенцы	4271
Итого работает	6789
Организовано бригад	306
В бригадах работает людей	2847

Источник: НАРК. Ф.Р.-3. Д. 2360. Л. 61.

По итогам 1933 г. в состав рабочих теста «Комилес» входило 16 976 чел.: 3 787 постоянных рабочих (в том числе 3 096 спецпереселенцев – 81% от числа кадровых рабочих) и 11 850 сезонников [22]. С 1932 г. по 1936 г. в среднем на лесозаготовительных работах использовалось около 4 тыс. чел.

В Архангельской области, как и в Коми АССР, спецпереселенцы преимущественно использовались на лесозаготовках. Как отмечает исследователь В.И. Коротаев, спецпереселенцы рассматривались «как кадры для форсированных лесозаготовок», а на побережье Северного Ледовитого океана они должны были заниматься «иодными и рыбными промыслами». Далее автор отмечает, что около 90% спецпереселенцев было занято на работах в лесу. Кроме этого, они были задействованы на строительстве Архангельского целлюлозно-бумажного комбината и других целлюлозных и лесопильных заводов, Судостоя, гидросооружений, железных и автомобильных дорог [23, с. 33,39, 51].

В 1934 г. на предприятиях лесной промышленности Северного края числилось 48 038 трудпереселенцев* (взрослых и детей). Основными проблемами оставались жилищно-бытовая неустроенность и «крупная сверхнормальная задолженность трудпоселенцам по зарплате». На 1 декабря 1934 г. по лесозаготовительным трестам она составляла

* С 1933 г. спецпереселенцы-«бывшие кулаки» стали называться «трудпоселенцы», («трудпереселенцы», «трудссылка»), а спецпоселки, в которых они проживали – «трудпоселки».

896 520 руб., или 52 % месячного фонда зарплаты, к 15 декабря задолженность увеличилась до 977 025 руб. (табл. 4).

Таблица 4

Занятость трудпереселенцев в системе Наркомлеса в Северном крае на 15 декабря 1934 г.

Тресты	Всего трудпереселенцев, чел.	Не используются на работе, чел.	Задолженность по зарплате, руб.
Севлес	26028	856	561641
Комилес	15289	989	311119
Мосгортоп	5412	318	102390
Унжлес	1017	1	1875
Севхимлес	283	21	-
Итого	48029	2185	977025

Источник: Государственный Архив Российской Федерации (далее – ГАРФ). Ф. 9479. Оп. 1 сч. Д. 29. Л. 4.

Таблица 5

Трудоиспользование «бывших кулаков» в отраслях народного хозяйства СССР

Наркоматы и отрасли народного хозяйства	Человек с членами семей, 1937 г.	Используются на работах, 1.01.1938 г.
Тяжелая промышленность системы НКТП	362429	142311
Лесная промышленность системы НКЛеса, в том числе	170683	63926
Свердловская область	-	14609
Красноярский край	-	11974
Архангельская область	**-**	**8292**
Новосибирская область	-	6034
Коми АССР	**-**	**5992**
Дальне-Восточный край	-	4113
Омская область	-	4018
Вологодская область	**-**	**2609**
Иркутская область	-	2111
Другие края и области	-	4174
Сельское хозяйство	169842	73654
Совхозы и стройки НКЗема СССР	31281	19.105
Беломорско-Балтийский комбинат НКВД в Карельской АССР	28130	12483
Свеклосахарная промышленность, садвинтресты и хладобойни НКПищепрома СССР	21256	9055
Система НКПС на лесе	18516	-
Система НКСовхозов	15176	-
Легкая промышленность системы НКЛегпрома	12273	5166
Северные стройки и лесоразработки ГУСМП	3061	-
Разные государственные организации и обслуживание трудпоселков	47360	-
Мелкие хозяйственные организации и кустарная кооперация различных краев и областей	-	28212
Всего	880007	353912

Составлено по: История сталинского ГУЛАГа. Конец 1920-х – первая половина 1950-х годов: Сборник документов в 7-ми томах / Т. 5. Спецпереселенцы в СССР. М., 2004. С. 249 (данные по состоянию на 1937 г.); ГАРФ. Ф. 9479. Оп. 1 сч. Д. 48. Л. 3 (данные по состоянию на 1 января 1938 г.)

Лесная отрасль была одной из наиболее приоритетных в рамках «индустриального рывка». На 1 января 1938 г. на предприятиях Наркомлеса использовалось 18% от всех занятых на работах спецпереселенцев-«бывших кулаков» (трудпоселенцев). Кроме этого, спецпереселенцы занимались заготовкой леса в системе предприятий Наркомата путей сообщения и на различных стройках. По объему занятости спецпереселенцев лесная отрасль занимала второе место после тяжелой промышленности (табл. 5). При этом в документах НКВД указывалось, что в лесных организациях системы Наркомлеса СССР трудпоселенцы используются «наиболее неудовлетворительно». Также отмечалось следующее: «Заработная плата не выплачивается своевременно. Нередки случаи задержки зарплаты на три–четыре месяца. Снабжение продовольствием и промтоварами, особенно на лесозаготовках, производится в недостаточных размерах и с перебоями. Ремонт жилищ трудпоселенцев производится в крайне недостаточных размерах» [25].

К 1939 г. численность спецпереселенцев на территориях, входивших в Северный край, уменьшается до 67 417 чел., что составляло 7 % от общего числа спецпереселенцев в СССР (табл. 6).

Таблица 6

Спецпереселенцы-«бывшие кулаки» (трудпоселенцы)на европейском Севере СССР

Регион	1.07.1938	1.01.1939
СССР	997329	987 918
В том числе:		
Архангельская область	39031	38920
Коми АССР	20172	18968
Вологодская область	9606	9529

Составлено по: ГАРФ. Ф. 9479. Оп. 1 сч Д. 48. Л. 9-10 9 данные по состоянию на 1 июля 1938 г.); Земсков В.Н. Спецпоселенцы в СССР, 1930-1960. М., 2005. С. 40, 33 (данные по состоянию на 1 января 1939 г.).

Лесозаготовительные предприятия расширялись, необходимость в рабочих увеличивалась. При этом численность спецпереселенцев, которые составляли основу кадровых рабочих в 1930-е гг., значительно сократилась, особенно в 1931–1933 гг., когда во многих спецпоселках наблюдались голод, эпидемии и крайне высокий уровень смертности. Решить проблему нехватки рабочих рук были призваны новые партии спецпереселенцев, которые в 1930–1950-е гг. стали системным фактором в развитии лесозаготовительной отрасли на Европейском Севере. В 1940-е гг. на спецпоселения в северные регионы были направлены польские граждане, спецпереселенцы-немцы, члены семей ОУНовцев, выселенные из Литвы, «власовцы» и др. Государство нуждалось в природно-сырьевых ресурсах, которые размещались в малозаселенных и малоосвоенных регионах страны. Во многом общегосударственная политика спецпереселения строилась, исходя из потребностей регионов в трудовых кадрах. Это доказывает тот факт, что ни одна партия спецпереселенцев не была направлена, в частности,

в Коми край без согласования между Москвой и руководством Коми области (Коми АССР) [25].

В итоге можно сказать, что быстрые темпы роста передовых отраслей промышленности в регионах Европейского Севера, прежде всего лесозаготовительной, были обеспечены непосредственно за счет массовых вселений спецпереселенцев. Регионы, куда заселялись спецпереселенцы, испытывали в них особую заинтересованность, так как не обладали достаточными трудовыми ресурсами, а спецпереселение считалось с экономической точки зрения крайне эффективной операцией. Отрасли народного хозяйства были обеспечены даровой рабочей силой. Однако спецпереселение оказалось не столь экономически выгодным, как ожидалось. Существовали факты явного расточительства государственных средств. Это проявлялось уже на стадии расселения, когда из-за просчетов в выборе участков многие поселки подлежали переносу или ликвидации. Несмотря на установки органов власти к максимальному использованию спецпереселенцев, несмотря на наличие стахановского движения и ударничества среди спецпереселенцев, постоянные жилищно-бытовые проблемы и недостаточное снабжение не позволили лесозаготовительным предприятиям добиться высокой производительности и эффективности труда спецпереселенцев. Следует отметить, как негативный факт то, что в 1930–1950-е гг. руководство страны не видело альтернатив принудительному труду в индустриальном освоении Севера. Тяжелые условия жизни спецпереселенцев привели к большим людским потерям и постоянной необходимости пополнять рабочую силу за счет новых потоков принудительных миграций.

Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований УрО РАН, проект №15-15-6-47 «Стратегии и практики освоения и заселения Европейской Арктики: локальные и кросскультурные процессы в исторической динамике».

Литература и источники:

1. *Кип Дж., Литвин А.* Эпоха Иосифа Сталина в России. Современная историография. М., 2009. 326 с.
2. *Грегори П.* Политическая экономия сталинизма. М., 2008. 400 с.
3. *Земсков В.Н.* Спецпоселенцы в СССР, 1930-1960. М.: Наука, 2005. 306 с.
4. *Красильников С.А.* Корни и щепки. Крестьянская семья на спецпоселении в Западной Сибири в 1930-х – начале 1950-х гг. М., 2010. 359 с.
5. *ГУЛАГ: экономика принудительного труда*. М., 2008. 320 с.
6. *Верт Н.* Террор и беспорядок. Сталинизм как система. М., 2010. 448 с.
7. *Бердинских В.А.* Спецпоселенцы. Политическая ссылка народов Советской России. Киров, 2003. 473 с.
8. *Виола Л.* Крестьянский ГУЛАГ: мир сталинских спецпоселений. М., 2010. С. 126.
9. *Упадышев Н.В.* ГУЛАГ на Европейском Севере России: генезис, эволюция, распад. Архангельск, 2007. 487 с.
10. *Коротаев В.И.* На пороге демографической катастрофы: Принудительная колонизация и демографический кризис в Северном Крае в 30-е годы XX века. Архангельск: ПГУ, 2004. 133 с.
11. НАРК (Национальный архив Республики Коми). Ф.П.-1. Оп. 3. Д. 97. Л. 4.
12. *Коми область в борьбе за социализм.* Сыктывкар, 1931. С. 63.
13. НАРК. Ф.Р.-3. Оп. 1. Д. 2313. Л. 227
14. НАРК. Ф.Р-144. Оп. 1. Д. 3125. Л. 46.
15. *Спецпереселенцы в Вожегодском районе* (1930-е годы) // Вожега. Краеведческий альманах. Вып. 1. Вологда, 1995. http://www.booksite.ru/fulltext/voz/heg/one/13.htm
16. НАРК. Ф.Р.-3. Оп. 1. Д. 2313. Л. 227
17. *Спецпоселки* в Коми области: Сборник документов. Сыктывкар, 1997. 230 с.
18. НАРК. Ф.П.-374. Оп.1. Д. 2. Л. 100.
19. НАРК. Ф.Р.-144. Оп. 1. Д. 1575. Л. 41-42
20. НАРК. Ф.Р.-144. Оп. 1. Д. 3138. Л. 21.
21. НАРК. Ф.Р.-3. Д. 2360. Л. 67, 68, 69.
22. НАРК. Ф.П.-1. Оп. 2. Д. 986. Л. 9.
23. *Коротаев В.И.* На пороге демографической катастрофы: принудительная колонизация и демографический кризис в Северном крае в 1930-е годы XX века. Архангельск, 2004.
24. *История сталинского ГУЛАГа.* Конец 1920-х – первая половина 1950-х годов: Сборник документов в 7-ми томах / Т. 5. Спецпереселенцы в СССР. М., 2004. 823 с.
25. *Игнатова Н.М.* Спецпереселенцы в Республике Коми. Сыктывкар, 2009. 192 с.

References

1. K*ip J., Litvin A.* Epokha Iosifa Stalina v Rossii [The epoch of Iosif Stalin in Russia]. Modern historiography. Moscow, 2009. P. 277-280
2. *Gregory P.* Politicheskaya economia stalinizma [Political economy of Stalinism]. Moscow, 2008. Pp. 21, 39, 65
3. *Zemskov V.N.* Spetspereselentsy v SSSR [Special settlers in the USSR], 1930-1960. Moscow, 2005. 306 p.
4. *Krasilnikov S. A.* Korny I schepki. Krestianskaya semya na spetsposelenii v Zapadnoi Sibiri v 1930-nachale 1950-h gg. [Roots and chips. A peasant family on special settling in Western Siberia in the 1930-s – beginning of the 1950-s]. Moscow, 2010. P. 99
5. *GULAG:* ekonomika prinuditelnogo truda [GULAG: economy of forced labor]. Moscow, 2008. 320 p.
6. *Vert N.* Terror i besporyadok. Stalinizm kak sistema [Terror and disorder. Stalinism as a system]. Moscow, 2010. P.14.
7. *Berdinskikh V.A.* Specpereselentsy. Politicheskaya ssylka narodov Sovetskoi Rossii [Special settlers. Political exile of the people of the Soviet Russia]. Kirov, 2003. P. 473

8. *Viola L.* Krestyansky GULAG: mir stelinskih specposelenii [Peasant GULAG: the world of Stalin's special settlements]. Moscow, 2010. Pp. 126, 153, 233, 234
9. *Upadyshev N.V.* GULAG na Evropeiskom Severe Rossii: genesis, evolutsia, raspad [GULAG in the European North of Russia: genesis, evolution, disintegration]. Arkhangelsk, 2007. P. 279
10. *Korotaev V. I.* Na poroge demograficheskoi katastrofy: Prinuditelnaya kolonizaciya I demograficheskii krizis v Severnom Krae v 30-e gody XX veka [On a threshold of demographic crisis: Forced colonization and demographic crisis in the Northern Region in the 1930-s of XX century]. Arkhangelsk, 2004. P. 37.
11. *NARK* (National archive of the Komi Republic). F.P.-1. Op. 3. 97. L. 4.
12. *Komi oblast* v bor'be za socialism [The Komi region in the fight for socialism]. Syktyvkar, 1931. P. 63.
13. *NARK*. F.R.-3. Op. 1. 2313. L. 227
14. *NARK*. F.R-144. Оп. 1. 3125. L. 46.
15. *Specpereselency v Vozhegodskom* raione (1930-e gody) [Special *migrants* in the Vozhegodsky area (the 1930-s)//Vozhega. Local history almanac. Issue 1. Vologda. 1995. http://www.booksite.ru/fulltext/voz/heg/one/13.htm
16. *NARK*. F.R.-3. Op. 1. 2313. L. 227
17. *Specposelki v Komi* oblasti [Special settlements in the Komi region]. Collected documents. Syktyvkar, 1997. P. 230.
18. *NARK*. F.P.-374. Op.1. 2. L. 100.
19. *NARK*. F.R.-144. Op. 1. 1575. L. 41-42
20. *NARK*. F.R.-144. Op. 1. 3138. L. 21.
21. *HAPK*. F.R.-3. 2360. L. 67, 68, 69.
22. *NARK*. F.P.-1. Op. 2. 986. L. 9.
23. *Korotaev V. I.* Na poroge demograficheskoi katastrofy: prinuditelnaya kolonizaciya I demograficheskii krizis v Severnom krae v 1930-e gody XX veka [On a threshold of demographic crisis: forced colonization and demographic crisis in Northern Region in the 1930-s of XX century]. Arkhangelsk, 2004. P. 33, 39, 51
24. *Istoriya stalinskogo GULAGa*. Konets 1920-h – pervaya polovina 1950-h godov [History of Stalin's GULAG. The end of the 1920-s – first half of the 1950-s]: Collected documents in 7 volumes/ Vol. 5. Special migrants in the USSR. Moscow, 2004. 823 p.
25. *Ignatova N. M.* Specpereselency v Respublike Komi [Special migrants in the Komi Republic]. Syktyvkar, 2009. P. 98-108.

Статья поступила в редакцию 29.12.2014.

УДК 903.05(470.53)"00/04"(045)

СОСТАВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЦВЕТНОГО МЕТАЛЛА КРАСНОЯРСКОГО I МОГИЛЬНИКА

О.А. КАЗАНЦЕВА, С.Е. ПЕРЕВОЩИКОВ, Т.М. САБИРОВА

ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск
kazantsevaolga@yandex.ru, stasus63@mail.ru, lemelon@inbox.ru

В статье представлены результаты исследования состава изделий из цветного металла Красноярского I могильника. В результате рентгенофлуоресцентного анализа вещей из цветных металлов были выделены следующие типы сплавов: оловянно-свинцовая бронза, оловянная бронза, сплав на основе олова с медью, с медью и свинцом, с медью и мышьяком; один предмет выполнен из чистой меди. Прослеживаются определенные общие закономерности и особенности в составе изученных сплавов.

Ключевые слова: **археология, могильник, рентгенофлуоресцентный анализ, металлические сплавы**

O.A. KAZANTSEVA, S.E. PEREVOSHCHIKOV, T.M. SABIROVA. **COMPOSITION OF OBJECTS FROM NON-FERROUS METALS FROM KRASNOYARSKY I BURIAL GROUND**

The results of X-ray fluorescence spectrometry analysis of objects from non-ferrous metals from Krasnoyarsky I burial ground are presented. Krasnoyarsky I burial ground is dated from I to V century A.D. It is situated in Bardymsky district of the Perm Region, Russia.
The analysis of the artifacts from 20 burials of the Krasnoyarsky I burial ground allow us to define the materials of things and to identify several complexes of items which demonstrate different combinations of metals. Analyses allowed to reveal recipes of alloys used in the manufacture of metal products by Krasnoyarsk population.
The most common alloy is tin-lead bronze (CuSnPb) – 13 items. Also there are: tin bronze (CuSn, Cu>50%) – 8 items; tin alloy with copper (SnCu, Cu<50%) – 6 pieces; tin alloy with copper and lead (SnCuPb, 1%<Cu<50%) – 5 pieces; tin alloy with copper and arsenic (SnCuAs, 1%<Cu<50%) – 3 pieces; «pure» copper (Cu> 96%) – 1 item.
As a result of the investigation of items general tradition and specific elements in the burials items were noted. The composition of the Krasnoyarsk alloys are largely different from those used in the manufacture of items in the collections of Oshkinsky cemetery of the Vyatka River basin, Tarasovsky and Nyrgyndinsky I burial grounds of the Kama River basin.
Most important, that in the investigated samples there are no things made of an alloy of copper and zinc (brass), which was widely used in the Middle Kama region for the production of different things. A significant group of samples is represented by tin-based alloys with the addition of copper, lead and arsenic.

Keywords: **archaeology, burial ground, X-ray fluorescence spectrometry, metal alloys**

Введение

Красноярский I могильник расположен в бассейне р. Тулвы, правого притока р. Камы в Бардымском районе на юге Пермского края. Площадка могильника занимает невысокий выступ распахиваемой коренной террасы правого берега р. Тулвы. Территория памятника ограничена в южной части высоким правым берегом безымянного ручейка, где размещается дамба и проходит современная грунтовая дорога в д. Краснояр II, а в северной, западной и южной частях границы памятника фиксировались по погребениям. Могильник был открыт в 1986 г., а в течение 1987–1989 гг. отрядом КВАЭ УдГУ изучался стационарно под руководством О.А. Казанцевой [1]. В результате работ было исследовано 144 погребения, материалы которых отнесены к периоду I–V вв. н.э. Культурная принадлежность памятника определена автором раскопок как гляденовская; в настоящее время памятник является эталонным среди объектов гляденовской культуры, расположенных в бассейне р. Тулвы Среднего Прикамья. Обладая несомненным культурным своеобразием, материалы могильника находят аналогии

среди погребального инвентаря пьяноборского, мазунинского и кара-абызского населения [1, с.46–49]. По этой причине культурная принадлежность памятника вызывает оживленные дискуссии в научной среде [2].

Цель работы состоит в выяснении состава металла предметов из Красноярского I могильника и сравнении полученных результатов с уже введенными в научный оборот данными по цветному металлу аналогичного времени с территорий Среднего Прикамья [3 – 5] и бассейна р. Вятки [6]. Кроме того, данное исследование является частью работы по созданию информационной базы о составе изделий из цветного металла археологических памятников Прикамья. В ходе проведения измерений совершенствовались методические аспекты осуществления работы на всех его этапах – от подготовки образца к рентгенофлуоресцентному анализу до табличного и графического отображения и интерпретации результатов исследования.

Материал и методы

Коллекция Красноярского I могильника насчитывает 98 предметов, сделанных из цветных металлов; в основном, вещи представлены украшениями костюма и тела человека; единично – предметами быта и орудиями труда. Важным критерием отбора для выполнения анализа является сохранность изделий. Это требование обусловлено методикой проведения анализа: для его осуществления необходимо очистить часть поверхности предмета от патины, обнажив небольшой участок чистого металла. В случае, если слой патины велик, и механическая очистка может повредить целостность предмета, его анализ не проводится. Металл большинства плоских накладок и бляшек, выполненных из тонкой пластинки или проволоки, оказался замещен патиной практически целиком, что исключает их из исследования.

Таким образом, необходимым требованиям соответствовала сохранность 36 предметов, происходящих из 20 погребений (пп. 1, 2, 6, 13, 16, 21, 23, 25, 40, 51, 54, 55, 60, 76, 82, 98, 109, 111, 135, 143) и из сбора с поверхности могильника (фрагмент фибулы). В семи случаях было взято по два предмета из погребения (пп. 6, 21, 40, 55, 76, 111, 143), а из пп. 2, 51 для анализа оказались пригодными по четыре вещи, из погр. 98 – три предмета. Типологически предметы представлены следующими категориями (рис.1, 2): пронизки (7экз.), подвески (7 экз.), застежки с неподвижным крючком (6 экз.), бляшки (5 экз.), накладки (2 экз.); остальные вещи существуют в единственном экземпляре: браслет, перстень, гривна, бляха, фибула, дрот, слиток, ножны, цепочка. Полученная выборка является репрезентативной и объективно отражает данные по металлу памятника.

Рентгенофлуоресцентный анализ поверхности металлических изделий производился при помощи спектрометра S1 Turbo SD LE (производитель – Bruker, Германия). Процедура исследования стандартная, уже неоднократно апробированная на аналогичных по культурно-хронологической привязке материалах и заключается в предварительном удалении патины с части поверхности изделия [2-5]. Анализ проходил в универсальном режиме, время накопления спектра – одна минута. Ввиду негомогенности древнего металла количество проб на каждом предмете составляет до 5 шт. Изучаемая поверхность – площадь до 1 кв. см. Результаты серий измерений математически усреднены и представлены в табличном виде с процентным распределением содержания элементов в каждом образце (см. таблицу); проанализированные изделия разделены по типам сплавов. На этапе предварительной обработки из итоговой таблицы изъяты данные по содержанию в изделиях титана, марганца, кобальта, никеля, циркония, иридия, висмута, золота (оно встречено всего в двух случаях в ан. 547 и 549). Причиной их удаления стала крайне незначительная встречаемость этих элементов в образцах (несколько случаев на всю выборку) и микроскопические концентрации (сотые и тысячные доли процента), которые не могли быть истолкованы даже как следы присутствия элемента в сплаве.

Среди модификаций, применённых в ходе обработки этой выборки, следует отметить два момента. Во-первых, образцы, состояние которых не позволяло провести механическую очистку, изучались по слою патины. Следует признать, что анализ по патине дает некоторые искажения, обусловленные попаданием элементов из почвы в собственно патину. Однако исследование по патине всё же может дать представление о соотношении разных металлов в изделии, о чем свидетельствуют установочные эксперименты, проведенные для ряда предметов. Во-вторых, рисунки вещей, иллюстрирующие исследование, были снабжены графическими символами, указывающими на место взятия пробы как на лицевой поверхности изделия (звездочка), так и на обороте (звездочка в круге) (рис.1, 2). Символ позволяет увидеть, какая именно часть изделия была проанализирована, что особенно важно при работе с многосоставными украшениями и предметами костюма, детали которых могут быть сделаны из сплавов разных металлов.

Кроме основного метода изучения изделий из цветного металла Красноярского I могильника, в работе использован комплекс связанных методов, применяющихся в исследованиях вещеведческого плана. Среди них – планиграфический, позволяющий выявить закономерности расположения металлических предметов из сплавов в разных хронологических группах захоронений на памятнике, а также метод аналогий, применяющийся для сравнения полученных результатов с данными других выборок.

Методика работы

При определении группы сплава учитывалось процентное присутствие основных элементов, среди которых в выборке изделий из цветного металла Красноярского I могильника представлены: медь, олово, свинец, мышьяк. Конечно, любые древние сплавы содержат, помимо основных компонен-

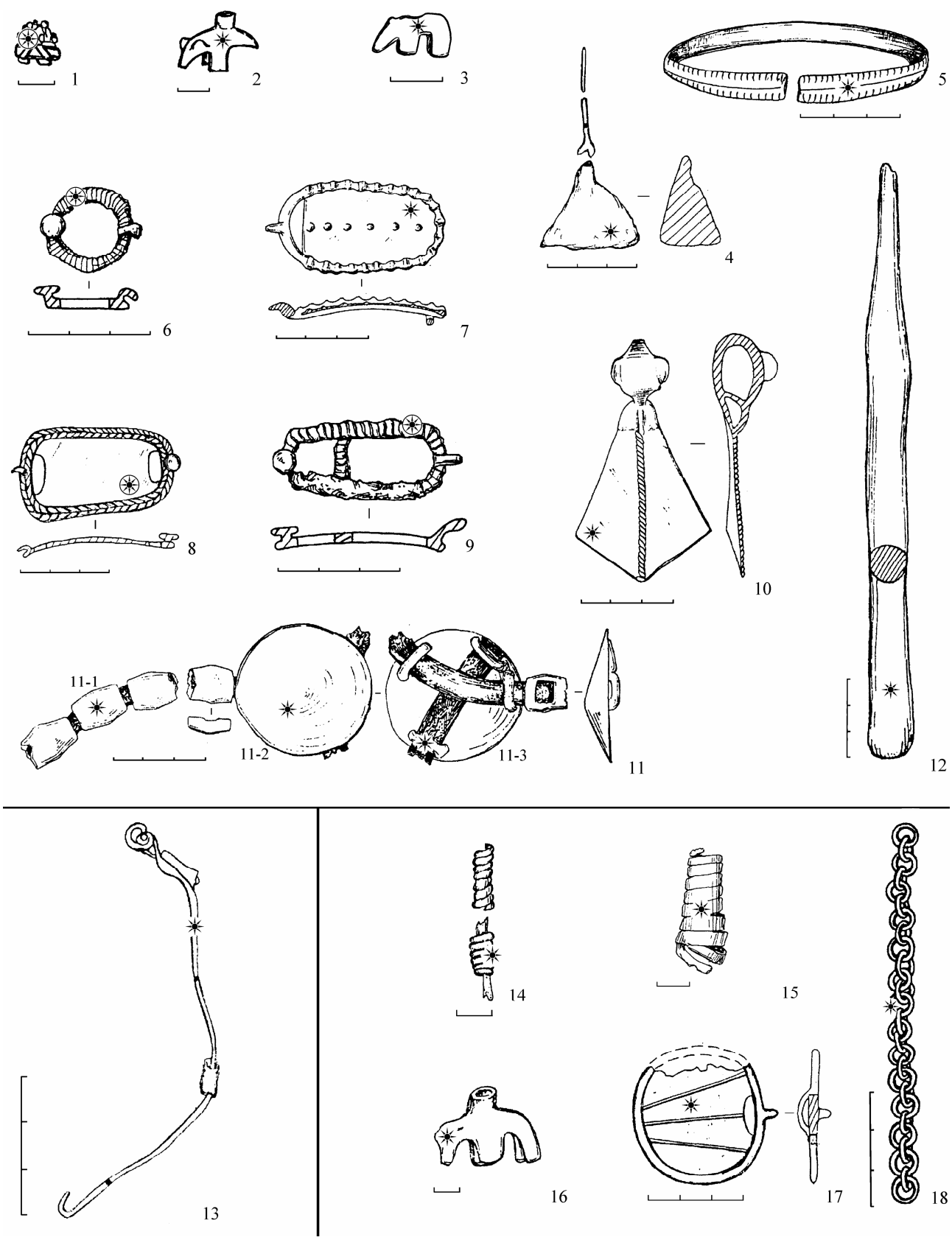


Рис.1. Красноярский I могильник. Предметы из оловянно-свинцовой бронзы. 1–перстень, фрагмент (п.82), 2–пронизка (п.76), 3–подвеска (п.40), 4–слиток (п.55), 5–браслет (п.54), 6-9–застежка с неподвижным крючком (пп.143,51,143,60), 10–подвеска (п.51), 11–пронизка, бляшка (п.51), 12–дрот (п.98). Предмет из чистой меди. 13–фибула, фрагмент (уч.б/27). Предметы из сплава олова с медью и свинцом. 14-15–пронизка (пп.1,111), 16–подвеска (п.98), 17–застежка с неподвижным крючком (п.6), 18–цепочка (п.76).

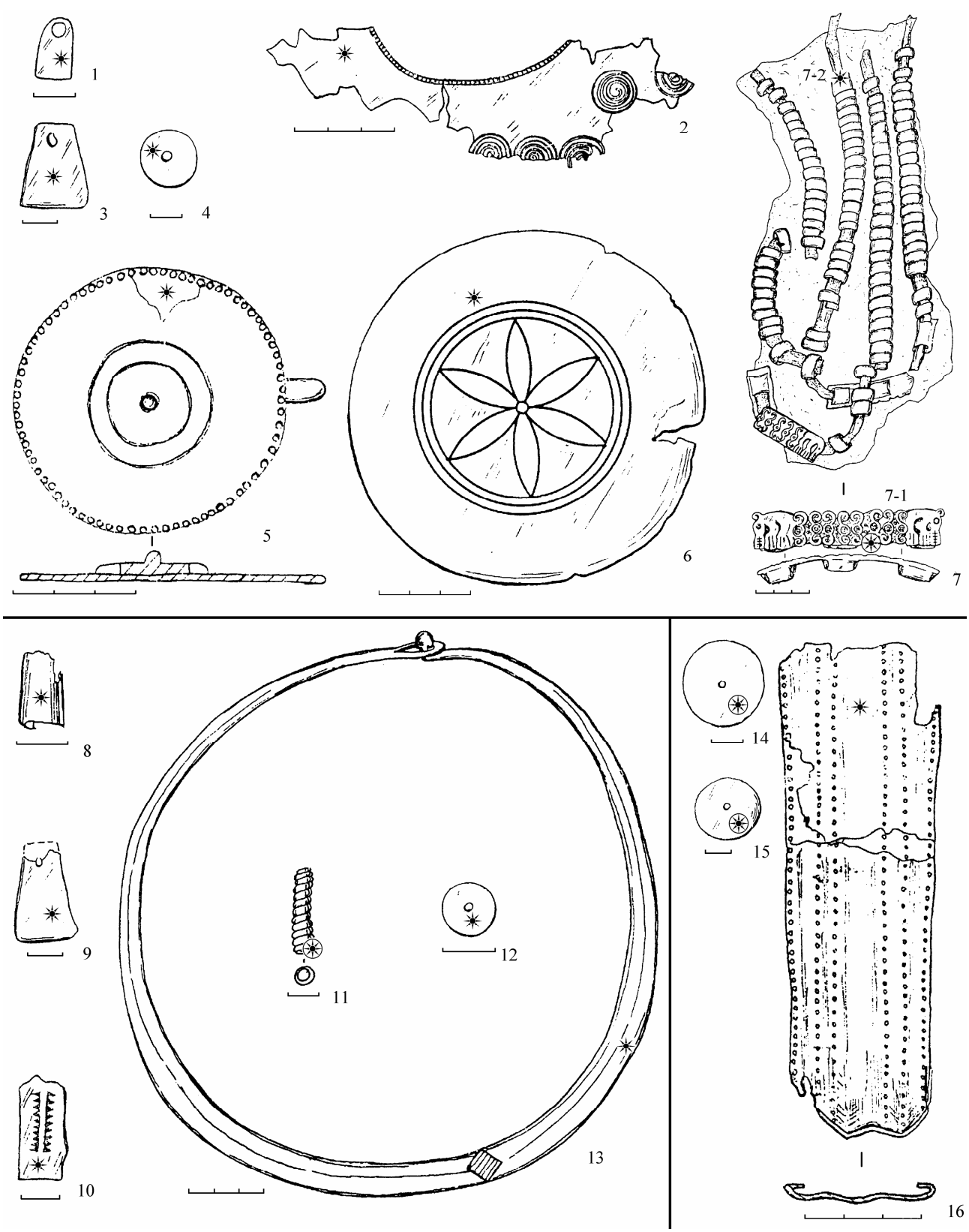


Рис.2. Красноярский I могильник. Предметы из оловянной бронзы. 1–подвеска (п.40), 2–накладка (п.16), 3–подвеска (п.2), 4–бляшка (п.111), 5–застежка с неподвижным крючком (п.23), 6–бляха (п.25), 7–ожерелье, пронизки (п.21). Предметы из сплава олова с медью. 8–пронизка (п.109), 9–подвеска (п.2), 10–накладка (п.13), 11–пронизка (п.135), 12–бляшка (п.2), 13–гривна (п.98). Предметы из сплава олова с медью и мышьяком. 14-15–бляшки (пп.55,2), 16–ножны (п.6).

тов и ряд примесей в микроконцентрациях. Эти добавки не являются сплавообразующими и, в большинстве случаев не оказывают никакого влияния на свойства металла, но их учет может быть важен с исследовательской точки зрения (например, определенные комбинации примесей, вероятнее всего, могут указать на источник происхождения руды, из которой получен металл). Большинство примесей имеют естественное происхождение; другие, например, железо, в изделиях из цветного металла могут появляться в больших количествах из-за сильной коррозии поверхности, особенно при нахождении их в погребении рядом с изделиями из черного металла.

Для единообразного описания типов сплавов авторы используют предложенную Н.В. Ениосовой, Р.А.Митоян и Т.Г.Сарачевой классификацию сплавов цветных металлов на основе меди и олова [7, табл.2.8, 2.9].

Результаты и обсуждение

Проведенные анализы позволили выявить рецептуры сплавов, использованных при изготовлении металлических изделий. Состав сплавов изделий выглядит следующим образом:

1. Оловянно-свинцовая бронза (CuSnPb) – 13 предметов;
2. Оловянная бронза (CuSn, в котором Cu >50%) – восемь предметов;
3. Сплав олова с медью (SnCu, в котором Cu<50%) – шесть предметов;
4. Сплав олова с медью и свинцом (SnCuPb; 1%<Cu<50%) – пять предметов; в том числе в одном случае, помимо указанных компонентов, предмет содержал также мышьяк (SnCuPbAs; 1%<Cu<50%);
5. Сплав олова с медью и мышьяком (SnCuAs; 1%<Cu<50%) – три предмета;
6. «Чистая» медь (Cu>96%) – один предмет.

Оловянно-свинцовая бронза является основным сплавом для изделий данного памятника. Из нее изготовлено 13 вещей, в том числе – застежки с неподвижным крючком (ан.520, 523, 524, 551; рис.1–6-9), браслет (ан.527, рис.1–5), подвески (ан.537, 550, 552; рис.1–2,3,10), петля от бляшки и сама бляшка (ан.547, 548; рис.1–11-2, 1–11-3), перстень (ан.522, рис.1-1), пронизка (ан.548, рис.1–11-1), слиток из цветного металла и дрот (ан.540, 554; рис.1–4,12). Добавка свинца к классическому сплаву (медь+олово) значительно улучшает литейные свойства сплава, повышая его жидкотекучесть и позволяя получать качественные изделия с меньшим количеством литейного брака. Следует отметить, что в изученных слитках количество свинца примерно такое же, как и в других предметах, а иногда и меньше. Это различие, по всей видимости, вызвано отсутствием каких-то строго выверенных рецептур у мастеров как при выполнении «заготовок», так и при производстве из них готовой продукции.

Оловянная бронза при содержании олова в готовом изделии свыше 24% считается высокооловянистой. В материалах Красноярского I могильника восемь изделий, сделанных из оловянной бронзы, относятся к высокооловянистым медным сплавам: содержание олова в них колеблется от 24 до 42%. В целом такой состав может быть охарактеризован как твердый, относительно хрупкий, коррозиеустойчивый [6, с.456]. Типологически выборка этих изделий представлена пронизками (ан.534, 535; рис.2–7-1, 2–7-2), подвесками (ан.530, 536; рис.2–1,3), накладкой (ан.529, рис.2–2), бляшкой (ан.541, рис.2–4), застежкой с неподвижным крючком (ан.544, рис.2–5) и бляхой (ан.546, рис.2–6).

В изделиях Красноярского I могильника встречены сплавы на основе олова. Общая их характеристика связана с более низкой температурой плавления олова по сравнению с температурой плавления бронз. Использование оловянных сплавов с концентрацией олова 50% и выше говорит о наличии у мастеров источника чистого олова. Таким образом, можно предполагать либо постоянное поступление олова к красноярскому населению, либо, что более вероятно, существовал относительно короткий промежуток времени, в который мастера обладали столь ценным сырьем и активно использовали его в производстве.

Изделия из *сплава олова с медью*, где олово выступает основным компонентом, представлены шестью предметами, в том числе пронизками (ан. 538, 539, рис.2–8, 11), накладкой (ан.528, рис.2–10), подвеской (ан.531, рис.2–9), бляшкой (ан.542, рис. 2–12) и гривной (ан.555, рис.2–13).

Часть вещей (5 экз.), помимо *олова и меди*, содержит *свинец* в концентрации от 3 до 7%: пронизки (ан.521, 545, рис.1–14,15), подвеска (ан.556, рис.1–16), застежка с неподвижным крючком (ан.525, рис.1–17), цепочка (ан.553, рис.1–18). В состав легирующих компонентов застежки, кроме вышеперечисленных, попал также мышьяк (2,3%).

В трех случаях состав металла предметов представлен смесью *олова, меди и мышьяка*: бляшки (ан.532, 533, рис.2–14,15) и ножны (ан.526, рис.2–16).

Исключением в плане состава сплава является фрагмент фибулы, выполненный из практически *чистой меди* (ан.623, рис.1–13). Сама находка также единична для этого памятника: лучковые подвязные фибулы, к которым ее можно отнести на основании сохранившейся части, были широко распространены на обширной территории, включающей Северное Причерноморье, Нижнее Поволжье и Южное Приуралье. В относительной близости от Красноярского I могильника зафиксировано несколько находок однотипных фибул, происходящих из погребений Тарасовского, Сасыкульского, Ошкинского, Худяковского могильников [8, с.56]. Интересно, что красноярская фибула имеет абсолютное сходство по содержанию меди с фибулой из Ошкинского могильника (99,0 и 98,34% соответственно) [6, с.465, ан.318]. В свою очередь, металл обеих фибул коррелирует с аналогичными южноуральскими фибулами [9].

Особое место среди проанализированных артефактов занимает металлический слиток-дрот (рис.2–14). Его состав: 73,7% – медь, 21 – олово и 3% – свинец (ан.554), что не находит пока прямых

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа изделий из цветного металла Красноярского I могильника

№ п/п	№ анализа	Наименование вещи	№ погр.	№ рис.	Шифр	Fe	**Cu**	Zn	**As**	Pd	Ag	**Sn**	Sb	**Pb**	**Тип сплава**
1	520	Застежка с неподвижным крючком	60	1-8	1546/922	0,50	**52,30**	-	-	0,14	0,48	**45,30**	0,02	**1,10**	CuSnPb
2	522	Перстень (кольцо)	82	1-1	1680/194	0,75	**54,55**	-	0,71	0,45	0,45	**41,05**	-	**1,81**	CuSnPb
3	523	Застежка с неподвижным крючком	143	1-6	1777/75	3,37	**53,73**	0,29	-	0,28	0,51	**28,80**	0,05	**12,83**	CuSnPb
4	527	Браслет	54	1-5	1546/772	1,01	**63,93**	0,38	0,01	0,43	0,48	**29,03**	-	**4,51**	CuSnPb
5	537	Подвеска	40	1-3	1546/544	12,40	**66,40**	-	-	0,23	0,33	**17,40**	-	**3,08**	CuSnPb
6	540	Слиток металла	55	1-4	1546/935	0,68	**55,93**	0,09	1,27	0,57	0,51	**37,73**	0,63	**2,13**	CuSnPb
7	547	Петля от бляшки	51	1-11-3	1546/546	0,62	**52,75**	-	-	0,57	0,63	**41,30**	0,29	**3,43**	CuSnPb
	549	Бляшка	51	1-11-2	1546/739	1,11	**52,75**	-	-	0,43	0,63	**40,95**	0,30	**3,46**	CuSnPb
8	548	Пронизка	51	1-11-1	1546/546	1,20	**51,40**	-	0,25	0,55	0,76	**43,35**	0,09	**2,26**	CuSnPb
9	550	Подвеска	51	1-10	1546/770	5,77	**71,55**	-	-	0,34	0,40	**20,15**	0,06	**1,52**	CuSnPb
10	551	Застежка с неподвижным крючком	51	1-7	1546/743	3,05	**50,65**	-	-	0,45	0,60	**41,75**	-	**3,08**	CuSnPb
11	552	Подвеска	76	1-2	1680/47	1,17	**52,30**	0,05	0,01	0,53	0,40	**43,65**	-	**1,75**	CuSnPb
12	554	Дрот	98	1-12	1680/312	1,13	**73,67**	0,37	-	0,28	0,47	**20,83**	0,06	**3,06**	CuSnPb
13	524	Застежка с неподвижным крючком	143	1-9	1777/77	6,01	**46,00**	-	-	0,13	0,39	**44,30**	-	**3,11**	CuSnPb
14	529	Накладка	16	2-2	1546/35	0,55	**55,70**	0,09	0,33	0,59	0,41	**41,95**	-	0,09	CuSn
15	530	Подвеска	2	2-3	1519/133	0,67	**56,53**	0,03	0,14	0,48	0,37	**41,45**	-	0,10	CuSn
16	534	Пронизка	21	2-7-1	1546/132	1,52	**63,50**	0,05	0,17	0,56	0,37	**33,33**	-	0,08	CuSn
17	535	Пронизка	21	2-7-2	1546/133	1,43	**57,35**	-	0,29	0,50	0,39	**39,60**	-	0,24	CuSn
18	536	Подвеска	40	2-1	1546/544	1,04	**73,30**	0,16	0,04	0,41	0,30	**23,93**	-	0,18	CuSn
19	541	Бляшка	111	2-4	1546/933	1,05	**54,85**	0,01	0,37	0,52	0,39	**42,15**	-	0,20	CuSn
20	544	Застежка с неподвижным крючком	23	2-5	1546/253	1,73	**63,90**	0,08	0,03	0,51	0,36	**32,80**	-	0,09	CuSn
21	546	Бляха	25	2-6	1546/258	0,74	**55,77**	0,03	0,05	0,53	0,36	**42,20**	-	**-**	CuSn
22	528	Накладка	13	2-10	1546/9	0,90	**47,30**	0,05	0,13	0,62	0,39	**50,05**	-	0,18	SnCu
23	531	Подвеска	2	2-9	1546/130	0,80	**45,55**	-	0,09	0,54	0,43	**52,50**	-	0,02	SnCu
24	538	Пронизка	135	2-11	1777/20	1,50	**37,60**	-	2,73	0,61	0,59	**55,50**	0,48	0,93	SnCu
25	539	Пронизка	109	2-8	1680/670	1,86	**42,00**	-	0,43	0,57	0,48	**54,40**	-	0,25	SnCu
26	542	Бляшка	2	2-12	1546/934	1,33	**19,45**	-	0,39	0,65	0,49	**77,55**	-	0,08	SnCu
27	555	Гривна	98	2-13	1680/306	1,37	**38,95**	-	0,01	0,33	0,55	**58,50**	-	0,14	SnCu
28	521	Пронизка	111	1-15	1680/677	1,88	**30,90**	-	-	0,62	0,55	**61,45**	-	**4,55**	SnCuPb
29	545	Пронизка	1	1-14	1510/88	4,49	**38,50**	-	0,41	0,65	0,57	**51,55**	0,23	**3,22**	SnCuPb
30	553	Цепочка	76	1-18	1680/47	4,38	**38,00**	0,01	-	0,51	0,67	**49,25**	-	**7,19**	SnCuPb
31	556	Подвеска	98	1-16	1680/311	1,06	**46,50**	0,07	-	0,53	0,47	**47,90**	0,04	**3,26**	SnCuPb
32	525	Застежка с неподвижным крючком	6	1-17	1519/219	4,68	**37,75**	0,91	**2,31**	0,54	0,58	**49,95**	-	**3,16**	SnCuPbAs
33	526	Ножны	6	2-16	1519/220	1,77	**43,15**	-	**2,34**	0,55	0,50	**51,05**	0,32	0,12	SnCuAs
34	532	Бляшка	55	2-14	1546/129	1,59	**48,87**	-	**1,81**	0,47	0,40	**46,40**	-	0,05	SnCuAs
35	533	Бляшка	2	2-15	1546/128	1,63	**45,67**	-	**1,67**	0,41	0,43	**49,90**	-	0,05	SnCuAs
36	623	Фибула	уч.б/ 27	1-13	1680/714	0,73	**99,00**	-	-	-	0,23	**-**	-	**-**	Cu

аналогий на соседних территориях. Вместе с тем, полуфабрикаты оловянно-свинцовой бронзы зафиксированы в погр. 335 Тарасовского могильника [4, с.82, рис.5, ан.267], а также в материалах Покровского могильника по данным рентгенофлуоресцентного анализа.

Результаты проведенных измерений позволили выделить определенные черты, характеризующие изделия из цветного металла Красноярского I могильника, и отличающие его от материалов других памятников.

Наиболее распространенной в красноярских материалах является оловянно-свинцовая бронза с большим содержанием олова и «чистая» оловянная бронза. Вторая по численности группа сплавов – сплавы на основе олова. Преобладание таких сплавов позволяет считать наличие олова отличительной деталью, присущей Красноярскому I могильнику. Также красноярские изделия не содержат цинк как сколько-нибудь значимый компонент сплава, что явно свидетельствует об отсутствии массового поступления на территорию бассейна Тулвы в Среднем Прикамье как латунных вещей и полуфабрикатов, так и изделий, созданных из латунного лома. Следует отметить, что в Красноярском I могильнике фиксируется не типичная для среднекамских могильников I–V вв. добавка мышьяка в размере 1,7-2,3% (ан.525, 526, 532, 533). Мышьяк в медных сплавах улучшал их физико-механические свойства – его ковкость в холодном состоянии, жидкотекучесть, что дает возможность получить более плотные отливки, более низкую температуру

плавления. В результате холодной ковки – наклепа твердость изделий из мышьяковистой меди резко повышается. Применение плавильщиками мышьяковых минералов реальгара и аурипигмента вполне может заменить использование олова [10, с.46].

Планиграфический анализ погребений могильника с указанием типов сплавов показывает концентрацию вещей, выполненных из разных сплавов в захоронениях III–V вв. н.э., причем фиксируемых по два–три вида сплавов в одном захоронении. В большинстве своем найдены изделия, выполненные из оловянно-свинцовой бронзы (6 экз.), отмечены также предметы из оловянной бронзы (4 экз.), сплава олова с медью (3 экз.). Интересно, что в погр. 98 отмечены вещи, изготовленные из разных сплавов: дрот из оловянно-свинцовой бронзы (рис.1–12), гривна из сплава олова с медью (рис.2–13), подвеска из сплава олова с медью и свинцом (рис.1–16). В погр. 55 слиток металла выполнен из оловянно-свинцовой бронзы (рис.1–4), а бляшка (рис.2–15) из смеси олова, меди и мышьяка. Однако не следует забывать и о том, что наличие разных сплавов может быть связано и с насыщенностью материалом этих погребений, и, соответственно, с преобладающим количеством пригодных для анализа вещей.

В погребениях более раннего времени – I–III вв. н.э. – единично отмечены предметы, выполненные из оловянной бронзы, сплава олова с медью и мышьяком (погр.2, рис.2–3, 15), в остальных случаях представлены вещи, изготовленные из оловянно-свинцовой бронзы (погр.82, рис.1–1), оловянной бронзы (погр.21, рис.2–7), сплава олова с медью и свинцом (погр.6, рис.1–17).

Таким образом, в результате проведенных исследований была выявлена рецептура металлических сплавов, типичная для красноярского населения. Наиболее распространенным сплавом Красноярского I могильника является оловянно-свинцовая бронза, выступающая, судя по всему, в качестве местного сплава, наиболее доступного населению Камско-Вятского региона в первой половине I тыс. н.э.

Важно отметить, что качественный состав сплавов в значительной степени отличается от тех, которые использовались при производстве вещей из Ошкинского, Тарасовского и Ныргындинского I могильников. В красноярских материалах отсутствуют вещи, выполненные из сплава меди с цинком – латуни (широко применяющейся на территории Среднего Прикамья для изготовления разных украшений), значительную по количеству группу составляют сплавы на основе олова с добавлением меди и, в меньших концентрациях – свинца и мышьяка.

Литература

1. *Казанцева О.А.* Красноярский могильник I–V вв. н.э. в бассейне р. Тулвы Среднего Прикамья. Ижевск, 2012. 180 с.
2. *Голдина Р.Д.* В.Ф. Генинг и проблемы изучения гляденовско-пьяноборского времени в Приуралье // Поволжская археология. 2014. Вып.1. С. 26–45.
3. *Голдина Р.Д., Перевощиков С.Е., Сабирова Т.М., Красноперов А.А.* О составе металла некоторых украшений Ныргындинского I могильника I–III вв. н.э. в Среднем Прикамье// Ныргындинский I могильник II–III вв. на Средней Каме. Т.22. Ижевск: Удмуртский университет, 2012. С. 341–362.
4. *Перевощиков С.Е., Сабирова Т.М.* Металлургическая продукция в Среднем Прикамье по материалам Тарасовского могильника I–V веков // Вестник Пермского университета. Сер. История. 2014. Вып.1. С. 71–82.
5. *Перевощиков С.Е., Сабирова Т.М.* К вопросу о «бляхах-зеркалах» Прикамья на примере Ныргындинского I могильника (II–III вв. н.э.) // Современные решения актуальных проблем евразийской археологии. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. С. 211–214.
6. *Перевощиков С.Е., Сабирова Т.М., Лещинская Н.А.* Цветной металл Ошкинского могильника конца I–III вв. по результатам рентгенофлуоресцентного анализа // Вятский край в пьяноборскую эпоху (по материалам погребальных памятников I–V вв. н.э.). Ижевск, 2014. С. 452–470.
7. *Цветные* и драгоценные металлы и их сплавы на территории Восточной Европы в эпоху средневековья / А.А. Коновалов, Н.В. Ениосова, Р.А. Митоян, Т.Г. Сарачева. М.: Вост. лит., 2008. 191 с.
8. *Сабирова Т.М.* Фибулы Среднего Прикамья первой половины I тыс. н.э.: Дис. канд. ист. наук. Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2015. 326 с.
9. *Мошкова М.Г.* Фибулы из позднесарматских погребений Южного Приуралья: вопросы хронологии и производства // Нижневолжский археологический вестник. Вып.3. Волгоград, 2000. С. 186–200.
10. *Мышьяк* // Горная энциклопедия. Т.3. Кенган-Орт / Под ред. Е.А.Козловского. М.: Советская энциклопедия, 1989. 623 с.

References

1. *Kazantseva O.A.* Krasnojarskij mogil'nik I–V vv. N.je. v bassejne r. Tulvy Srednego Prikam'ja [Krasnoyarsk burial ground of I-V centuries A.D. in the Tulva River basin of the Middle Kama region]. Izhevsk, 2012. 180 p.
2. *Goldina R.D.* V.F. Gening i problemy izuchenija gljadenovsko-p'janoborskogo vremeni v Priural'e // Povolzhskaja arheologija [V.F.Gening and the problems of studying the Glyadenovo-Pyanoborsky time in the SubUrals // The Volga region archaeology]. 2014. Issue 1. P. 26–45.
3. *Goldina R.D., Perevoshchikov S.E., Sabirova T.M.* O sostave metalla nekotoryh ukrashenij Nyrgyndinskogo I mogil'nika I–III vv. N.je. v Srednem Prikam'e [On the composition of some metal decorations of Nyrgyndinsky I burial ground of I-III centuries A.D. in the Middle Kama region]// Goldina R.D., Krasnoperov A.A. Nyrgyndinskij I mogil'nik II–III vv. Na Srednej Kame. Vol.22. Izhevsk: Udmurt Univ., 2012. P. 341–362.

4. *Perevoshchikov S.E., Sabirova T.M.* Metallurgicheskaja produkcija v Srednem Prikam'e po materialam Tarasovskogo mogil'nika I–V vekov [Metallurgical products in the Middle Kama region on the materials of the Tarasovsky burial ground of I-V centuries]// Perm Univ. Bull. Series History. 2014. Issue 1. P. 71–82.
5. *Perevoshchikov S.E., Sabirova T.M.* K voprosu o «bljahah-zerkalah» Prikam'ja na primere Nyrgyndinskogo I mogil'nika (II–III vv. N.je.) // Sovremennye reshenija aktual'nyh problem evrazijskoj arheologii [To the problem of the "plates-mirrors" of the Kama region on the example of Nyrgyndinsky I burial ground (II-III centuries A.D.)//Modern solutions of actual problems of Eurasian archaeology]. Barnaul: Altai Univ. Publ., 2013. P. 211–214.
6. *Perevoshchikov S.E., Sabirova T.M.* Cvetnoj metall Oshkinskogo mogil'nika konca I–III vv. Po rezul'tatam rentgenofluorescentnogo analiza // Leshhinskaja N.A. Vjatskij kraj v p'janoborskuju jepohu (po materialam pogrebal'nyh pamjatnikov I–V vv. N.je.) [Nonferrous metal of Oshkinsky burial ground of the end of I-III centuries according to the results of x-ray fluorescence analysis//Vyatka region in the Pyanobor epoch (on materials of the funerary monuments of I-V centuries A.D.)]. Izhevsk, 2014. P. 452–470.
7. *Cvetnye* i dragocennye metally i ih splavy na territorii Vostochnoj Evropy v jepohu srednevekov'ja [Non-ferrous and presious metals and their alloys on the territory of Eastern Europe in the Middle Ages] / A.A. Konovalov, N.V. Eniosova, R.A. Mitoyan, T.G. Saracheva. Moscow: Oriental literature, 2008. 191 p.
8. *Sabirova T.M.* Fibuly Srednego Prikam'ja pervoj poloviny I tys. N.je. [Fibulae of the Middle Kama region of the first half of I millennium A.D.]: Diss. Cand. Sci. (History). Izhevsk: Udmurt State Univ., 2015. 326 p.
9. *Moshkova M.G.* Fibuly iz pozdnesarmatskih pogrebenij Juzhnogo Priural'ja: voprosy hronologii i proizvodstva // Nizhnevolzhskij arheologicheskij vestnik [Fibulae from the Late Sarmatian burials of the Southern Urals: Problems of chronology and production//Low Volga Archaeological Bull. Issue 3. Volgograd, 2000. P. 186–200.
10. *Myshyak* // Gornaja jenciklopedija [Mountain encyclopedia]. Vol.3. Kengan-Ort. / Ed. Kozlovsky E.A. Moscow: Soviet encyclopedia, 1989. 623 p.

Статья поступила в редакцию 27.02.2015.

УДК 398 (=945.32)

ИЖМО-КОЛВИНСКИЙ ЭПОС: ВСТРЕЧА ТРАДИЦИЙ

А.В. ПАНЮКОВ

Институт языка, литературы и истории Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар
apankomisc@mail.ru

Представляя ижмо-колвинскую эпическую традицию во всем жанровом многообразии зафиксированных в среде коми оленеводов фольклорных произведений, автор демонстрирует ее исходную биэтничность и бикультуральность. На основе обобщенных данных о традиции в статье обосновывается необходимость системного подхода к исследованию этой культуры во взаимосвязи с целым рядом специфических надфольклорных факторов.

Ключевые слова: **фольклор, коми, ненцы, межэтнические контакты**

A.V. PANYUKOV. **THE IZHMA-KOLVA EPOS: MEETING OF TRADITIONS**

Representing the Izhma-Kolva epic tradition in all genre variety of folklore works fixed in the Komi reindeer breeders, the author shows its initial biethnicity and biculturalism. Mutual convergence of two absolutely different cultures – the Komi-Izhma people in a short time have mastered reindeer breeding and the world of the nomads, and the Kolva Nenets have passed to a settled way of life, have adopted the language and customs of the Izhma Komis - has got systemic effect. On the basis of the generalized data on the tradition, the necessity of the systemic approach to studying this culture in interrelation with variety of specific above-folklore factors is substantiated, among them the occurrence of special religious-mythological two-worlds (combining paganism of the Nenets and the Orthodoxy of the Komi-Izhma people adapted for fast perception by adherents of different faith and corresponding to a new way of life). Here special "intra-family two-worlds" emerged (the Komi-Izhma girls, marrying the Kolva Nenets, brought in a new life their language, their customs, their lyrical perception of the world, and men - bearers of the epic world, epic knowledge – at that remained the Nenets). The semi-nomadic reindeer breeding combining rural space and the world of the nomads, created both two epic perceptions of the world, and two audiences the executors oriented at. All these processes are deeply interrelated with the life of folklore culture as that. Namely they, having incorporated in a culturogenic impulse, have caused an explosion-like (just a few generations) birth of a new folklore aesthetics and a new tradition not separable on ethnic components.

Keywords: **folklore, the Komi, the Nenets, interethnic contacts**

Введение

То, что разнообразие и жизнеспособность культурных традиций базируются на возможности принимать и усваивать инновации, сегодня представляется фактом общепризнанным. Разногласия начинаются там, где возникают вопросы, связанные с механизмами вхождения «чужеродного» в систему устоявшихся канонов: как происходят процессы усвоения новых артефактов, что с чем взаимодействует – и шире – как культуре удается при этом сохранять свою органичность. В силу этого многие мысли А.Н. Веселовского, положенные в основу его синтетической теории «бытовых и психологических основ» фольклора, не потеряли свою актуальность[1]. Без «встречного течения», по мысли Веселовского, невозможно взаимодействие культур. Поэтому в центре внимания исследователей должно быть не только то, что приобретается в процессе культурного обмена, но и то, что происходит с приобретенным в новых условиях «усвояющей среды». С этих позиций ижмо-колвинский эпос как одно из наиболее ярких фольклорных открытий XX в. неотделим от целого ряда надфольклорных и даже надэтнических составляющих, породивших это уникальное явление. Об этой системности и пойдет речь в данной статье.

Основной свод памятников ижмо-колвинской фольклорной традиции был записан в 1950–1970-е гг. в Ижмо-Печорском регионе Республики Коми, на Кольском и Канинском полуостровах, а также на Ямале среди населения, говорящего на ижемском

[1] О синтетическом характере научной теории А.Н. Веселовского см: [1]. Одна из последних попыток еще раз переоценить научное наследие А.Н. Веселовского предпринята в работе И. Шайтанова [2].

диалекте коми языка. В ходе многочисленных экспедиций было записано более 500 произведений, среди них около 50 записей эпических произведений, составляющих ядро этой фольклорной традиции. Несмотря на то, что исследователи застали уже почти угасшую певческую традицию, им удалось записать репертуар целого ряда талантливых исполнителей[2], эпические песни которых, наиболее объемные и яркие, были опубликованы в первом выпуске «Коми народных песен» (Ижма и Печора, 1967 г.)[3], в фольклорных сборниках «Коми эпические песни и баллады» (1969 г.) [4] и «Коми народный эпос» (1987 г.) [5]. Таким и предстал ранее почти неизвестный северный эпос, соотносимый по своим масштабам с лучшими поэтическими традициями народов мира, но при этом – взятый вне времени и пространства – эпос, производящий впечатление чего-то инородного для собственно коми фольклора.

На самом деле это первое впечатление улетучивается, как только начинаешь всматриваться в репертуарные списки самих сказителей, а тем более пытаешься объять сотни других неопубликованных фольклорных памятников на коми языке, записанных по обе стороны Урала и представляющих ту самую культуру коми оленеводов, за какие-то полтора – два столетия освоивших и европейские тундры, и просторы Зауралья. Ведь даже из собственно эпических произведений (варианты тех же эпических песен, эпические сюжеты, менее яркие в музыкально-поэтическом плане или записанные фрагментарно, прозаические версии героического эпоса и далее – широкий спектр т.н. «яран мойд», повествовательные песни – «яран сьыланкыв» – более полусотни записей) было опубликовано всего лишь 20[3]. Поэтому наше представление об ижмо-колвинском эпосе и фольклоре в целом весьма обобщенное. Эта обобщенность проявляет себя на каждом шагу, как только глубже пытаешься проникнуть в эпический универсум конкретных исполнителей, разобраться в истоках конкретного сюжета или даже понять точки зрения самих исследователей ижмо-колвинской традиции.

Ижмо-колвинская традиция как объект исследования

Если А.К. Микушев начинал с глубокого исследования ижемских традиций, то для него органичная связь ижмо-колвинского фольклора с материнской культурой коми-ижемцев была очевидной. И первые записи песенных импровизаций автобиографического характера, которые он позже назвал *нуранкыв,* и первые эпические песни – *яран сьыланкыв,* были записаны им на Ижме от коми-ижемских исполнителей. Для Ю.Г. Рочева, который сам был родом из зауральских коми-ижемцев, знакомство с ижмо-колвинской традицией начиналось со своей родины. В его магнитофонных записях 1962 г., открывающих коллекцию зауральских материалов фольклорного фонда ИЯЛИ Коми НЦ, органично перемежаются и ижмо-колвинские эпические песни, и собственно ижемский репертуар, и хантыйские импровизации, записанные от коми исполнителей. И для Ю.Г. Рочева как исследователя была очевидна фольклорная взаимосвязь коми-ижемцев и обских угров. Свое представление об эпических песнях северных коми-зырян возникло и у венгерского исследователя Эрика Васойи в ходе его короткой экспедиции в Усинский р-н (Колва, Уса).

Столь же трудно сводимые к общему знаменателю характеристики этой фольклорной культуры дают экспедиционные записи разных собирателей. Так, например, если обратиться к полевым материалам, которые были записаны в с. Колва – в родовом центре традиции, то увидим весьма разноречивую картину. В 1961 г. П.И. Чисталев зафиксировал здесь абсолютно традиционный ижемский песенный репертуар (причитания, хороводно-игровые песни, коми лирические песни, в большинстве своем в хорошем ансамблевом исполнении, что характеризует стержневой пласт фольклора). Кроме того, от М.И. Лабазова помимо песенной лирики (коми и русские песни в хорошем исполнении) были записаны четыре прозаических эпико-героических «яран мойд» (яранские сказки); при этом исполнитель оговаривается, что расскажет их на коми языке («Чотан старуха кӧрт чомйын» (Хромоногая старуха в железном чуме), «Ӧтик Танюга» (Один Танюга), «Озыр Чёнеко» (Богатый Чёнеко), «Куим вок» (Три брата) – сказка об охотнике-богатыре Пильямдерко). Вслед за ними М.И. Ла-

[2] Среди них можно выделить Улиту Алексеевну Коскову из с.Колва (Усинский р-н РК), Александру Николаевну Выучейскую из пос. Харута, Ивана Степановича Хатанзейского из пос. Кара, Илью Григорьевича Пичкова из с. Несь (Ненецкий автономный округ), Григория Николаевича Валеева из с. Мужи (Шурышкарский р-н Тюменской области), Михаила Гавриловича Терентьева из пос. Белоярск (Приуральский р-н Тюменской области).

[3] «Важен вӧлі ӧтик Сюдбей» (Прежде жил один Сюдбей), «Куим Вай вок» (Три Вай-брата) – А.И. Выучейская, пос. Харута, Архангельская область, Ненецкий автономный округ; «Керча-ю кӧзяин» (Хозяин Керча-ю), «Сэро Ёвлё» (Сэро Ёвлё), «Вӧли помлась» (О Вели), «Вӧвле помлась» (О Вавле), «Ныы да племеньник» (Девушка и племянник) – Г.Н. Валеев, пос. Мужи, Тюменская область; «Небыд юрсиа ныв» (Девушка Мягкие волосы), «Евильӧ-вок» (Брат Евилё), «Сват да сватья» (Сват и сватья) – У.А. Коскова, с. Колва, Усинский р-н РК; «Бӧжа ку парка» (Горностаевый Совик), «Ыджыд Марка» (Старший Марка) – В.М. Батманов, дер. Ямгорт, Тюменская область; «Носи озыр морт да Дзоля Тысъя пи» (Носи богатый человек и Младший Тысъя сын), «Куим еджыд син» (Три белоглазых хозяина), «Куим Тынгос» (Три Тынгоса), «Сядэй старик пи» (Сын Сядея старика) – И.С. Хатанзейский, пос. Кара, Архангельская область, Ненецкий автономный округ; «Сизимлаэ нюклясем морт да Быдтас» (Семью хозяевами униженный и его Быдтас-Приемыш) – М.Г. Терентьев, пос. Белоярск, Тюменская область; «Кӧр дорсалэн пи» (Сын оленевода), «Дзоля Тынгос» (Младший Тынгос), «Гӧрд кӧра старик пи да Нявуча пи» (Старик Хозяин Красных оленей и Нявуча сын) – И.Г. Пичков, с. Несь, Ненецкий автономный округ. К этим 20 текстам можно присовокупить несколько опубликованных лиро-эпических произведений: «повествовательная песня-импровизация автобиографического характера» «Ведэ» (Е.В. Ануфриева, с. Мохча Ижемского р-на), один из вариантов «любовно-повествовательной песни» «Важӧн вӧлі яран» (Прежде жил ненец) (М.Я. и Ю.В. Чупровы, дер. Бакур Ижемского р-на) и песня «Яран гӧсти лэччис» (Ненец в гости отправился) (А.П. Малькова, с. Колва Усинского р-на) [6].

базов исполнил коми волшебную сказку «Старик гозъя» (Чета стариков) с сюжетом о чудесном рождении героя от волшебной птицы – ласточки. То есть никакого песенного эпоса П.И. Чисталев в Колве не обнаружил.

В 1966 г. Э. Васойи и Г.Г. Бараксанов также записали здесь около десятка ижемских лирических песен в сольном и ансамблевом исполнении. От 70-летней У.А.Косковой (по каким-то причинам П.И.Чисталеву не удалось ее записать), помимо коми частушек, записали несколько ижмо-колвинских эпических песен с вариантами пересказа («Важен олісны рочъяс» (Прежде жили русские), «Сват да сватья», «Небыд юрсиа чой» (Сестра с мягкими волосами). Кроме того, от нее же были записаны коми волшебно-героические сказки «Сар пи да салдат» (Царский сын и солдат), «Купеч пи да Арко Аркович» (Купеческий сын и Арко Аркович). От А.П. Мальковой записаны коми частушки и лирическая песня «Опой чаркаасем» (Выпивание чарки) («уникальная зырянская песня с явным юрако-самоедским влиянием»; в «Коми народных песнях» опубликована под названием «Яран гӧсти лэччис»). Еще один вариант фольклорной аккультурации представлен записанной от А.П. Килиной волшебной сказкой «Инька да Ёма» (Ненка и Ёма). Собственно, с публикаций эпических песен, записанных в этой экспедиции, и связано открытие песенного эпоса северных коми[4].

Немногим позже, в 1972 г., в с. Колва работали Ф.В. Плесовский и Н.Д. Бомбергер. Они записали от той же У.А. Косковой четыре волшебно-героические сказки: «Арко Аркович», «Сар» (Царь), «Чудеснӧй чери йылысь» (О чудесной рыбе), «Шыр да кеня» (Мышь и ронжа), две детские сказки и две прозаические «яран мойд» («Небыд юрсиа чой» (Сестра с мягкими волосами) и «Вит вок» (Пятеро братьев) – варианты сказок, записанных в 1966 г. Оба этих прозаических текста были записаны и Э. Васойи в качестве пересказов ранее спетых эпических песен, но в записи 1972 г. нет и намека на возможность песенного исполнения, т.е. через шесть лет после Э. Васойи собиратели уже не зафиксировали здесь никакого песенного эпоса.

Даже такой беглый взгляд на исполнительский репертуар одного села позволяет увидеть другие составляющие фольклорной традиции – составляющие, без которых вряд ли мог бы возникнуть и собственно песенный эпос, опирающийся на развитую музыкально-поэтическую культуру. Каждая новая запись вносила что-то новое в общую фольклорную картину, результаты каждой новой экспедиции заставляли еще раз задуматься над уникальностью этой культуры.

Спустя почти четверть века после публикации «Коми народного эпоса», коми фольклористы вновь обратились к этой уникальной культуре и выпустили в свет фольклорный сборник «Фольклор коми и ненцев Ненецкого автономного округа» [9]. В него вошли 56 фольклорных произведений, из них восемь – на ненецком языке, и материал здесь отобран таким образом, чтобы дать более широкое представление не только о жанровом разнообразии записей, которое удалось застать исследователям полвека назад, но и о многогранности исследуемой фольклорной традиции в целом.[5]

Для того, чтобы дать целостное представление об этой чрезвычайно подвижной и разнообразной музыкально-поэтической культуре, при структурировании книги составителям пришлось отказаться от привычных жанрово-тематических рамок. Как и во многих других эпических традициях, здесь нет границы между прозаическими и песенными произведениями. Столь же невозможно однозначно разделить эпические песни от произведений лироэпического характера, а обрядовый фольклор – от необрядового (например, те же похоронные причитания-импровизации от импровизаций-нуранкыв). Поэтому, разбив публикацию на два, в определенном смысле условных раздела, «фольклор коми» и «фольклор ненцев», мы не стали выделять внутренних рубрик, хотя определенная последовательность «вхождения» в традицию все же соблюдается. Отталкиваясь от общего содержания этого фольклорного сборника, попытаемся еще раз воссоздать общую картину.

Проблема этничности носителей

Отстаивая термин «ижмо-колвинский эпос», А.К. Микушев вполне обоснованно исходил из языковой ситуации: это эпические произведения, исполняющиеся на ижемском диалекте коми-зырянского языка. При этом, несмотря на то, что имена эпических героев, образность, мотивы и коллизии данного эпоса традиционны для самодийского фольклора, ни один текст в целом не находит в ненецком эпосе прямого аналога или прототипа. По мере расширения ареала бытования эпических произведений на коми языке расширялось и представление об этом уникальном явлении, что позволило А.К. Микушеву говорить о северно-коми эпосе как о сложном, органичном соединении финно-угро-самодийских компонентов.[6]

Сами носители этой эпической традиции в большинстве своем достаточно четко определяли этническую принадлежность как *колва яран* 'колвинские ненцы', противопоставляя себя и *изъватас* – ижемцам и *выненця* – ненцам, сохранившим приверженность к ненецкому языку и ненецкому образу жизни. Общую характеристику этой этнографической группы, проживавшей в конце XIX–

[4] Три эпические песни изданы Э. Васойи в венгерском журнале «Этнография» [7]. Экспедиционные записи Э. Васойи и Г.Г. Бараксанова намного позже полностью опубликованы небольшим тиражом в англоязычном издании 2001 г.[8].

[5] Нужно отметить, что сборник охватывает далеко не весь материал, собранный в ходе экспедиций этих лет. Здесь не отражены записи, не связанные напрямую с музыкально-поэтической культурой. Достаточно объемный пласт самых разнообразных этнографических и фольклорных сведений был поднят в ходе полевых исследований 2003–2008 гг., которые также остались за рамками этого фольклорного сборника.

[6] Основные положения его концепции возникновения и бытования ижмо-колвинской традиции изложены в [10] и ряде других работ по этой теме [11–15].

начале XX вв. в нижнем и среднем течении р. Колвы, в пределах так называемой Колвинской волости (Ижмо-Печорский уезд Архангельской губернии), дает К.В. Истомин в ряде своих статей [16]. В начале XIX в. эта группа сильно отличалась от основной массы тундрового ненецкого населения, прежде всего, своим оседлым образом жизни и использованием ижемского диалекта коми языка в качестве разговорного. Обособление *колва яран* тесно связано с деятельностью известного проповедника епископа Вениамина, распространявшего православное христианство среди европейских ненцев в 1820–1840 гг. В 1827 г. по его инициативе была основана православная церковь в 20 км выше устья р. Колвы, ставшая впоследствии центром формирования новой волости. Это место было расположено на границе между тайгой и лесотундрой среди обширных лугов в низовьях реки, здесь проходил один из самых больших оленегонных маршрутов. К концу XIX в. ненцы Колвинской волости и более южных районов в большинстве своем были уже православными и вели, как и ижемские оленеводы, полукочевой образ жизни [17]. Во второй половине XIX в. некоторые колвинцы вместе с коми-ижемцами стали перекочевывать за Урал в пределы Тобольской губернии. Сейчас в Тюменской области потомки колвинцев проживают в Березовском р-не ХМАО и в Шурышкарском, Приуральском, Надымском ЯНАО. Они носят характерные фамилии, производные от названий ненецких родов: Хатанзеевы, Валеевы, Артеевы, Лагеевы и др. [18]. В 1887 г. четыре коми-ижемские семьи со своими стадами, спасаясь от эпизоотии, перешли по льду из Большеземельской тундры на Кольский полуостров, в 90-х гг. XIX в. к ним присоединились другие коми-ижемцы, а вместе с ними переселились и их пастухи-ненцы.

Здесь важно подчеркнуть, что уже и во время фольклорных экспедиций 1960–1970 гг. самоназвание *колва яран* нуждалось в корректировке. Так, у зауральских носителей традиции, наряду с *колва яран,* использовался этноним *изьва яран '*ижемские ненцы*'*. Например, Г.Н. Валеев, один из лучших исполнителей эпоса, определял себя именно так, идентифицируя себя не только по языку, но и по своей кровной связи с Ижмой. По данным исследовательницы Л.В. Хомич, еще в 1970-х гг. большинство колвинцев считали себя ненцами, хотя понимали, что отличаются от основной массы ненцев, сохранивших родной язык и национальную культуру. Тундровые ненцы называли их, как и всех коми, *зырянами*, а коми-ижемцы – *изьва яран '*ижемские ненцы*'*. По наблюдениям К.В. Истомина, современные ненцы употребляют слово *яран* (коми этноним для ненцев) для обозначения всех ненцев, говорящих на коми языке как на родном, вне зависимости от образа жизни и происхождения как их самих, так и их предков. Кроме того, *колва яран* в восточной части Большеземельской тундры могут называть «говорящих по-коми ненцев, которые кочуют в районе р. Колва». Таким образом, данный этноним, по-видимому, не является в современной речи ненецкого населения этой части тундры обозначением членов специфической этнографической группы, а просто указывает на территорию кочевания части комиязычного ненецкого населения. Данный факт подтверждается также наличием терминов *кара яран* и *коротайка яран* для обозначения комиязычных ненцев Югорского Шара (пос. Кара) и р. Каратайки соответственно. А в западной части Большеземельской тундры этноним *колва яран* может использоваться как синоним к более употребительному *яран '*ненец, говорящий на коми языке*'* [19].

Рассуждая о географической детерминанте, следует иметь в виду и то, что эпический репертуар, введенный в научный оборот, почти равномерно распределен по всей территории проживания именно коми-ижемских оленеводов, и только несколько произведений было записано в самом с.Колва. Более того, если Л.В. Хомич в одной из своих статей [20] (1980 г.) утверждает, что в настоящее время колвинцы широко расселены в поселках Харута, Хорей-вер и Красное, то по этнографическим сведениям последних лет практически все население этих поселков не только отрицает свою генетическую связь с Колвинской волостью, но часто и свою связь с ненецким народом. Например, в пос. Харута антропологу Отто Хабеку удалось найти только одного информатора, сообщившего, что его предки могли быть из Колвы. Те же ненцы, которые действительно проживают в обоих поселках, ведут свой род от тундровых ненцев, хотя и пользуются в разговорной речи коми языком [21].

Парадоксальная, на первый взгляд, проблема этнического определения может быть развернута во многих направлениях. При составлении сборника «Фольклор коми и ненцев Ненецкого автономного округа» автор столкнулся с той же ситуацией размытости собственно языковых границ. Для живого бытования традиции, которое еще удалось застать исследователям, нет непроходимой границы между ненецким и коми фольклором, как нет четкой этнической границы ни в исполнительстве, ни в исполнительской аудитории. В 1960–1970-е гг., когда проходили фольклорные экспедиции, двуязычность, и даже владение тремя – ненецким, коми и русским – языками было широко распространенным явлением среди всех европейских ненцев. Многие информанты, с которыми работали участники фольклорной экспедиции, владели и коми, и ненецким языками, могли исполнять эпические произведения как на одном, так и на другом языке. Именно таким творцом, носителем двух культур, может быть назван Федор Иванович Хатанзейский из дер. Волоковая, «колва яран» по крови, но волею судьбы связанный с культурой тундровых ненцев. Записанная в ходе Канино-Тиманской экспедиции эпическая песня-сюдбабц *Си”ив Хабартаков* – Сизим Лола (*Семь Хабарта* – Семь Лосей) в его исполнении представляет собой яркий образец двуязычной исполнительской традиции. Вначале исполнитель поет фрагмент на ненецком, затем переводит и комментирует на коми языке. Таким образом, он здесь как бы одновременно выступает в двух ипостасях: и в роли основного певца, соот-

носимого с ненецким *сюдбабц мэта,* и в роли поясняющего – *тэлтангода* (вполне вероятно, что исполнителю доводилось слышать такую, дуэтную форму исполнения эпоса тундровыми ненцами). Эпическая песня представляет типичный для ижмо-колвинских произведений сюжет о юноше-мстителе: у семи братьев Хабарта-Лосей, убитых в войне с родом Семи Варо, подрастает Быдтас-Питомец – главный герой, которому предназначено одолеть врагов. Ю.Г. Рочев записывал Ф.И. Хатанзейского несколько дней (около шести часов магнитофонной записи), но по каким-то причинам песня так и не была записана до конца. По комментариям исполнителя, за это время он не успел дойти и до середины сюжета, и главный герой только еще движется к своей цели – освободить семь земель братьев Хабарта.

Такой же двуязычный и двувидовой песенно-прозаический вариант исполнения характерен и для упомянутого выше И.Г. Пичкова из с. Несь, органично впитавшего и традицию *колва яран,* и традицию канинских ненцев. Как отмечает в своем отчете об экспедиции А.К. Микушев, Илья Григорьевич мог бы по праву представлять не только коми, но и ненецкую эпическую традиции. И вполне вероятно, именно двуязычная форма исполнения предшествовала появлению моноязычной коми песенной эпической традиции, формировала ту первую среду слушателей и носителей ижмо-колвинского эпоса. По воспоминаниям односельчан, он пел ненецкие сказки на ненецком языке и для коми слушателей, вслед за пением пересказывая пропетый фрагмент на коми языке: *«Сьыліґмоз мойдэ, изьва кылэн верме висьтооны. Первой яран кылэн сьылас, сэсся изьва кылэ переводитас, объяснитас, медым гӧгервоисныс»* (Сказывал, напевая, на ижемском языке может рассказать. Вначале по-ненецки споет, затем переведет на ижемский, объяснит, чтобы все поняли) [22].

Говоря о коми-ненецком языковом и культурном двуязычии как исходной среде бытования, стоит иметь в виду и существование «встречного» течения». Так, по воспоминаниям современников, многие из коми-ижемских оленеводов владели ненецким языком. По материалам экспедиции 1972 г., канинские коми хорошо помнят Егора Андреевича Вокуева, ижемского оленевода из с. Сизябска. Он славился как мастер сказывать ненецкие «сказки» – «яран мойд мойдны», сам переводил ненецкие песни и исполнял их на коми и на ненецком языках. Многие годы, с самой юности, Е.А. Вокуев пас оленей вместе с большеземельскими ненцами, а, переселившись на Канин (в начале прошлого века), стал исполнителем и популяризатором ненецкой эпической традиции. По воспоминаниям дочери Е.Е. Чупровой, накануне Великой Отечественной войны его не раз возили в Нарьян-Мар петь ненецкие песни.

Истоки эпической традиции

В терминах удвоения может быть рассмотрена и собственно эпическая традиция, поскольку она органично соединила в себе и ненецкий фольклор, и фольклорный мир коми-ижемцев. Основные темы ижмо-колвинской эпической традиции типичны для исходных форм героического эпоса (тема героического сватовства, сюжеты о юноше-мстителе), и при этом легко «вписываются» в сказочно-мифологическое пространство коми традиции. Не случайно сами исполнители называют исполняемые эпические произведения «яран мойдъяс» (ненецкие сказки), «сьылэмен яран мойдъяс» (ненецкие поющиеся сказки), «яран мойдъяс изьватас кылэн» (ненецкие сказки на ижемском языке). Эти две сказочно-эпические составляющие могут противопоставляться как «яран мойд» («об оленеводческой жизни») и «изьватас мойд» (ижемские сказки о «христианской» – т.е. крестьянской жизни; с типичным зачином «Олыс-вылыс хрестьянин» (Жил-был один крестьянин)[7]. Здесь уместно отметить и то, что и в сказочном фольклоре самих ненцев весьма популярны сказки, заимствованные из русского фольклора, которые даже при четком разграничении – *луца лаханако '*русские сказки*'*, несомненно, обладают местной, ненецкой спецификой [8].

Этот же двоичный код связывает и две формы – песенную и прозаическую – бытования эпических произведений. Вероятно, заимствуемая певческая традиция – «сьылэмен яран мойдъяс» (ненецкие поющиеся сказки) – изначально занимает свою специфическую нишу в культуре ижемских коми, противопоставляясь не только как песни и обычные прозаические повествования – *подэна мойд* букв. *'*сказка, рассказываемая пешим шагом*'*, но и как экзотические музыкальные произведения собственно коми повествованиям. Отметим, что при пересказе песенных произведений исполнители используют определения *кывъен '*словами*'*, *речен висьтала '*речью перескажу*'*. В качестве «подэна мойд» фигурируют и традиционные коми сказки с песенными рефренами[9]. Поэтому вполне допустимо предположить и определенную противопоставленность «пеших» и «ездовых», оленеводческих произведений.

В общем контексте исполнительской традиции сказки о ненецких героях, «стреляющих стре-

[7] Фольклорный фонд ИЯЛИ (далее – ФФ ИЯЛИ) В1901–19. Исп.: Е.А. Терентьева, 1923 г.р., г. Салехард. Соб.: А.В. Панюков, П.Ф. Лимеров, 2003 г.

[8] Об этом см., например, в работах Е.Т. Пушкаревой [23, 24]. О некоторых сказочных сюжетах в фольклоре большеземельских ненцев упоминается в совместной статье Т.И. Дроновой и К.В. Истомина [25].

[9] Так, например, Ф.Н. Хатанзеева из с. Мужи вслед за эпической песней «Озыр Мандо» исполнила комбинированный (с песенными вставками-рефренами) вариант сказки «Красная Марфида» («Куим чоя-вока»). По сюжету Ёма превращает Красную Марфиду в «гуся-лебедя»; она тайком прилетает кормить своего маленького сына, оборачиваясь в женщину; сыну удается ее поймать и вернуть человеческий облик. В ее исполнении эта сказка и в содержательном, и в музыкальном отношении абсолютно изолирована от «яран мойд» (разве что в тексте появляются слуги – «паслукъяс»). По определению исполнителя, это «подэна висьталэм» – прозаический вариант сказки (ФФ ИЯЛИ К256–6, с. Мужи Шурышкарского р-на Тюменской области. Соб.: А.К. Микушев, Ю.Г. Рочев, 1970 г.).

лами», органично дополняют популярные у коми сказки о русских богатырях, которые были и в репертуаре многих эпических певцов, записанных собирателями. То, что две эти эпические традиции сосуществовали в едином пространстве, имеет множество подтверждений. Так, например, в тех же Мужах помнят о сказочнике Егоре Выучейском, жившем в одно время с Г.Н. Валеевым: «Егорша старик: каждый вечер рассказывал, мастер был. Три вечера, бывало, одну сказку рассказывал. О богатырях, о Князе Владимире и тому подобных. Выучейский фамилия, тоже был *колва яран*. Рассказывал и «яран мойдъяс» – «ньӧлӧн лыйсемъяс» (о стрельбе из луков) – как *яраны* воюют между собой. Так рассказывал, не пел»[10].

В материалах экспедиций в НАО есть сказки «Добрыня да Алёша Попович помлась», «Фифилиста яснэй сӧкӧл», «Иван царевич, Иван коровин, Иван слугин», «Морской царь и купеческий сын» (сюжет об обещанном водяному царю сыне). Константин Федорович Канев из пос. Харута упоминает о книге сказок, которые они пересказывали друг другу: *«Бова королевич да мыйке сэтшем француз Венециан да. Ас костаным мойдлім»* (Бова королевич, француз Венециан и тому подобные. Между собой пересказывали). (Францель Венециан – популярный герой т.н. сказок-романов; встречается и в лубочной традиции, и в некоторых русских богатырских сказках, например, «Добрыня Никитич»). Так, по записям А.К. Микушева Дарья Григорьевна Канева из с. Несь (1888 г.р.), «знающая сказки про Илью Муромца» (от нее была записана сказка «Добрыня да Алеша Попович»), еще застала время, когда на Ижму с Сысолы приезжали певцы – «стих сьылысьяс» и пели по коми духовные стихи о святых – Алексее человеке божьем, Федоре Кироне и др. [26].

Контаминация отдельных образов и мотивов коми и ненецкого фольклора характерна для таких исполнителей ижмо-колвинского эпоса, как И.Г. Пичков. Таковой является и опубликованная в сборнике сказка – *яран мойд* «Озыр кӧрдорсалӧн пи» (Сын богатого оленевода). Образ главного героя здесь соединяет в себе черты ненецкого богатыря и смекалистого солдата популярных сказок. Собственно, и сюжет произведения представляет собой такую же контаминацию ненецкого эпоса и русской народной сказки, освоенной коми традицией: после троекратного призыва помочь в битве с врагом, *Ёнар тэта* едет на войну, хитростью попадает в стан неприятеля и убивает колдуна, ковавшего из камня вражеское войско. В финале он женится на дочери *Салехардъеру* 'Хозяина Салехарда' и остается жить во дворце.

Особое место в контексте всей фольклорной традиции занимает репертуар Михаила Гавриловича Терентьева из пос. Белоярский, которого записывала В.М. Кудряшева в 1970 г. Этого исполнителя сложно назвать носителем певческой традиции, поскольку большая часть его музыкально-поэтических произведений представляют собой распетые в определенной манере тексты (как прозаические, так и песенные) без особого соблюдения метрики и ритмики[11]. Но при этом определенная свобода от музыкально-стилистических рамок позволяет ему свободно обращаться с отдельными мотивами, образами, фабулами и сюжетами, которые он слышал, но, видимо, никогда не исполнял как певец. Так, в совершенно одной манере и на один и тот же напев М.Г. Терентьев исполнил традиционную песню «Ехор Вань» и песню «Оліс-выліс Ехорей» (Жил-был Егорий), представляющую собой версию духовного стиха о Егории Храбром[12]. Репертуар этого исполнителя разрывает всякие жанровые границы, но благодаря такому синтезу нарративных знаний в произведениях М.Г. Терентьева воссоздается оригинальное сказочно-мифологическое пространство-время, ярко демонстрирующее некоторые общие черты всей ижмо-колвинской эпической традиции. В его эпической песне «Оліс-выліс Сюр Труж старука нук» (Жил-был внук старухи по имени Сюр Труж) встречается уникальный образ семиголового гундыра-сюдбея – «сизим юра гундур-сюдбей»)[13]; эпическая песня «Оліс-выліс беднэй детина» (Жил-был парень-бедняк) представляет собой распетый на авторский манер прозаический текст волшебной сказки «Лиса-помощница» (сюжет известной сказки «Кот в сапогах»: лиса съедает пять куриц бедняка и хитростью женит его на царевне); песня-«яран мойд» «Куим Нынгыроо» (?Лынгыра) также явно воспроизводит прозаический сюжет.

[10] ФФ ИЯЛИ В1907–22, дер. Киеват Шурышкарского р-на Тюменской обл., исп.: С.Ф. Конев, 1934 г.р. Соб.: А.В. Панюков, П.Ф. Лимеров, 2003 г.

[11] Единственная эпическая песня, более или менее «вписывающаяся» в размер и строфику, и имеющая связный сюжет, опубликована в «Коми народном эпосе» под названием «Сизимлаэ нюклясема морт да Быдтас» (Семью хозяевами униженный и его Быдтас-Приемыш) (№ 13). Это произведение представлено как образец эпической песни социально-исторического характера, хотя трудно согласиться с такой «социальной» интерпретацией имени главного героя: *сизимлаэ нюклясем* 'семь раз согнутый' скорее связано с гиперболизацией высокого роста богатыря – «такой высокий, что семижды сгорбился»; униженное положение будущего богатыря-мстителя (Быдтаса-Приемыша) характерно для большинства сюжетов о юноше-мстителе.

[12] Другой вариант этого духовного стиха на апокрифический сюжет о муках Егория Храброго («Ехорей да Идол цар») был записан в той же экспедиции в дер. Харсаем Приуральского р-на от К.С. Рочевой (ФФ ИЯЛИ К269–14): Идол-царь заставляет Егория обратиться в его веру, Егория жгут на костре, приковывают к камню, распиливают пилой, погружают в котел с кипящей смолой – но он остается невредимым; Идол-царь сам прилипает к смоле.

[13] К сожалению, исполнитель достаточно несвязно воспроизводит сюжет произведения, который представляет собой контаминацию нескольких известных исполнителю сказок. Имя *сюр труж* можно перевести с коми языка как 'стружка от рога'; по фабуле песни мальчика разлучают с сестрой, бросают в тундре; тот вырастает и становится хорошим охотником; разбогатев, он находит сестру. Начальная часть песни представляет собой контаминацию нескольких сказочных микросюжетов: внук Старухи по имени Сюр Труж живет в избе, которая вращается на пне; семиголовый гундур-сюдбей пытается разрушить его дом; далее герой путешествует и приходит к реке; медная лодка старухи перевозит его, а идущую следом Ему топит в реке (сюжет связан с «Старуха и Ёма»). Далее герой ищет свою сестру (ФФ ИЯЛИ К263–2).

Вероятно, творчество сказителей, умение создавать новые образы и сюжетные ходы, было ориентировано, прежде всего, на ожидания слушателей. Константин Федорович Канев из пос. Харута в своих воспоминаниях описывает типичную для него аудиторию, которую составляли как коми оленеводы, так и «колва яран», владевшие коми языком. То есть опять же коми-ижемец по происхождению выступал не только в роли носителя, но и проводника эпической традиции для самих колвинцев. При каждом удобном случае его приглашали в гости как умелого сказителя: *«Сэк вот, ме тэныд висьтала, сэтшем, значит, порядок вӧлі. Тэ ке, значит, чомъе воин, тэнэ удасныс, вердасныс, значит и юасеныс. Вообще, комиыс сідз вӧлі, значит, да и яран костас: "Гашке тэ мыйке мойдны кужан?" Водасны, значит, да биыс кусэ. А вот, тэ, значит, мойдам-висьталан*[14] (Тогда вот, я тебе скажу, такой обычай был. Если ты в чум пришел, тебя напоят, накормят, значит, и спрашивают. Вообще, и у коми так было принято, и у ненцев: "А может ты сказывать умеешь?". Разлягутся, значит, свет погаснет. А ты, значит, рассказываешь сказки). Репертуар К.Ф. Канева чрезвычайно показателен в плане общего представления о жанрово-тематическом своеобразии произведений, которые определяются исполнителями как «яран мойд». Константин Федорович так определял все свои сказки, две из них («Ырген Пиллёо» (Медный Пиллёо) и «Дик Валей» (Глупый Валей) включены в сборник «Фольклор коми и ненцев». Имя главного героя Ырген Пиллёо представляет собой полукальку, где *пилёо* – ненец. *пыялё* 'передние ответвления рогов', а *ырген* коми 'медный'; таким образом имя можно перевести как *меднорогий*. В качестве «яран мойд» в его репертуаре зафиксирована сказка о трех братьях-ветрах, в которой создан очень яркий в плане межэтнического симбиоза триединый образ: жили в чуме три брата, *Тӧӧныр бахатыр* – старший брат (коми *тӧӧныр* 'вихрь'), средний брат *Недся/Некся Абӧ* (? вероятно, тоже персонаж-дух ветра, в имени героя отражено диал. ненец. *абэй* 'сильный злой дух'; общераспр. *абэй* – ненецкое междометие, «ой!», передающее страх) и младший брат *Вихер Вихеревич.* В соответствии с «жанровыми ожиданиями», герои стреляют из луков так, что поднятым стрелой ветром сносит чумы, а у Тӧӧныр-богатыря лук величиной с лодку-*ветки* (так коми называют долбленую лодку). Эта сказка интересна и своей этиологической направленностью: по сюжету, от брака старших братьев с дочерями хозяина морского мыса произошли *яраны* – «яран племя»[15]. Мотив происхождения ненецкого народа как один из экзотических элементов в сюжетике «яран мойд», вероятно, был достаточно популярным в традиции. Так, например, еще одна версия представлена в финале «яран мойд», записанной в с. Колва от М.И. Лабазова «Ӧтик Танюга» (Один Танюга): «*Сюдбей сэсся яран оз кут бырӧдны. Ставыс бӧр лои чёрнокожей морт, коді ненецъяс, значит чёрнокожеесь вӧлыныс. И паськалі ӧні земля тырыс, тасянь вӧлись, вылись пуксис мортыс. Сюдбеес виисныс и конец*»[16] (Сюдбей больше не стал ненцев убивать. И обратно стало много чернокожих людей, кто ненцы, те, значит, чернокожие были. И распространились они по всей земле, с этого времени снова человек расселился. Сюдбея убили, вот и конец).

Ярким образцом взаимосближения коми сказочной и ненецкой эпической традиции может быть названа эпическая песня на сюжет сказки о лягушке-царевне с типичным зачином «Прежде жили ненец с ненкой, у них было три сына». Музыкально-поэтическое переложение прозаического текста весьма тонко схватывает жанрово-тематическую специфику ненецкой эпики: это и тема героической женитьбы младшего сына, и типичный набор эпических персонажей, и ключевой для сюжета мотив стрельбы из луков, и многое др. Более того, если бы не чуждый для данной фольклорной эстетики образ «лягушки», это произведение вполне «вписалось» бы в сюжетику ижмо-колвинского эпоса. Здесь достаточно вспомнить зеркально симметричный сюжет эпической песни «Сядей старик пи» (Сын Сядея старика): сын Сядея был превращен в собаку, которая по ночам оборачивается в человека; жена сжигает собачью шкуру, и герой вынужден три года блуждать по тундре. Мотив поиска героем своей стрелы инициирует, например, сюжет эпической песни «Хетэнзей»: юноша-богатырь пускает стрелу, которая пронзает лисицу и трех оленей, отправляется на поиски стрелы – и дальше начинаются его героические приключения.

Нуранкыв в жанровой системе традиции

Если основными исполнителями героического, богатырского эпоса были мужчины, то *нуранкыв* – это женский жанр со своей особой поэтикой и аудиторией. Этому жанру, как, собственно, и термину, сложно дать точное определение в силу того, что под ним подразумевается широкий спектр песенных произведений импровизационного характера. Как особое жанровое определение термин *нуранкыв* появляется в записях А.К. Микушева 1968 г. Сами исполнители называют свои песни *нурем*, связывая его, прежде всего, с особой манерой исполнения. *Нурем* – это монотонное негромкое исполнение песни для себя, иногда про себя («вомгорулӧ») во время поездки по тундре, на досуге у костра в чуме и т.д. – что уже само по себе вызывает ассоциации с песенной традицией ненцев. Так, один из рассказчиков Ю.Г. Рочева – Василий Федорович Филиппов – из дер. Волоковая дает такое определение: *«Нурны – абу кӧреннэя сьыны, а кымынке кыы только ӧтторе повторяйтны. Дадьден муныген нуре сідь, мунэ-сьылэ. Тиманскей старикъяс нурлісныс, яранъяс. Дадюусэ сьылэдас. Бур ке, да мый да? Тае мый Хатанзейскей [Федор*

[14] ФФ ИЯЛИ А2003–7, пос. Харута НАО, исп.: К.Ф. Канев. Соб.: А.К. Микушев, 1968 г.

[15] ФФ ИЯЛИ А2003–8, пос. Харута, исп.: К.Ф. Канев. Соб.: А.К. Микушев, 1968 г.

[16] ФФ ИЯЛИ №68р1, с. Колва Усинского р-на, исп.: М.И. Лабазов. Соб.: П.И. Чисталев, 1961 г.

Ивановичлэн], только кучас сьыныы, гажа юрис да только сіе и повторяйтэ: «Анекдарей, анекдарей». Мый сія и лоо, ме ог и төд-а… Этша шоччыштас да бара сіе же кыыяссэ нуре и нуре»[17] (*Нурны* – это не по-настоящему петь, а только несколько слов повторять. Когда на упряжке едет, так напевает себе под нос, едет-напевает. Тиманские старики так напевали, яраны. Свою упряжку припоет. Хорошая, так что не припеть? Это вот Хатанзейский [Федор Иванович] только станет петь, захмелевший, так он только это и повторяет: «Анекдарей, анекдарей». А что это значит, я и не знаю… Немного отдохнет и опять те же слова напевает и напевает). Харутинские исполнители различают коми и ненецкую («яран ноген», «яран модэн») манеры исполнения. Так, к *нуранкыв* М.Г. Чаклиновой был записан вариант «ненецкого» напева: «*яран ноген нурем, дзоля кылэн сьылэм, тачкеччемен сьылэм*» (напевание на ненецкий манер, «малым» голосом, пение с постукиванием).

Общей чертой большинства этих произведений является их автобиографичность. Поэтому практически каждая песня-*нуранкыв* привносит нечто новое в представление об этой уникальной импровизационной традиции. В некоторых случаях и на уровне сюжета достаточно сложно отделить *нуранкыв* от песен, определяемых самими исполнителями как «яран сьыланкыы» (ненецкая песня). Органичное родство с эпическими песнями обнаруживается в *нуранкыв* Феодосии Ефимовны Чаклиновой «Куд вылэ ке чатырчча» (Если на короб горделиво сяду). Этот *нуранкыв* с равным основанием можно было бы отнести и к типичным эпическим песням о героическом сватовстве, поскольку биографические и фактографические детали в нем значительно оттеснены элементом эпическим. В совершенно той же манере и на тот же самый мотив Ф.Е. Чаклинова исполнила коми эпическую песню «Мича Рöман» на сюжет русской былины-баллады о Прекрасном Романе. Неслучайно свою разновидность *нуранкыв* исполнительница назвала «мойдігмоз сьылэм, нуремен мойд», что может быть переведено как «пение в манере сказки, *нуранкыв* в манере сказки». Такое определение подчеркивает исконную взаимосвязь между песнями-*нуранкыв* и эпосом.

Кроме того, оленеводческие *нуранкыв* опираются на устойчивую традицию коми-ижемских внеобрядовых импровизаций и зачастую они близки и по тематике, и по приуроченности к определенным событиям из жизни. Например, таковы *нуранкыв* «Трава öктэм помлась» (О сборе трав на Иванов день) или *нуранкыв*, исполненный по случаю дня рождения – «Нимлун кузя»[27]. По мнению А.К. Микушева, песни-*нуранкыв* можно определить как разновидность житийных причитаний автобиографического характера, известных и другим этнографическим группам коми.

Вероятно, говоря об истоках этого жанра, вполне допустимы параллели с ненецкими песнями-плачами *ярабц* и личными песнями *ябе сё.* Так, типичные для женских личных песен образы и мотивы можно увидеть в песнях-*нуранкыв* Е.В. Косковой «Важен оліс яран гозъя (Прежде жили ненец с ненкой), Ф.Е. Чаклиновой «Куд вылэ ке чатырчча» (Если на короб горделиво сяду) и многих других. При всем разнообразии сюжетов и тем нарративной доминантой этого жанра, на наш взгляд, является не столько внешняя событийность (характерная для импровизаций типа «что вижу, то и пою»), сколько эмоциональный образ-воспоминание, заложенный в основу той или иной фабулы: неожиданное появление медведя возле играющих детей (*нуранкыв* «Харейвöрын кык керка» (В Хорей-Вере две избушки)[18], неожиданная трагическая гибель парня, оборвавшая первую любовь девушки (*нуранкыв* «Колва кузя ветлыллі» (По Колве прохаживалась), детское воспоминание девочки-подростка об охоте, на которой ей по жребию выпал самый хороший улов («Кынясем помлась» (Об охоте на песцов)) [29].

Записанные собирателями *нуранкыв* различны и по содержанию, и по объему. Некоторые из них насчитывают всего по 15–20 стихотворных строк, а *нуранкыв* А.И. Выучейской состоит из 1130 стихов и соотносим с лучшими образцами эпических песен. Как отмечает А.К. Микушев [30], зачастую *нуранкыв*, первоначально отобразивший какой-либо конкретный и вполне реальный факт, в процессе устного бытования насыщался элементами эпичности, сказочности, лиричности. Так, например, *нуранкыв*, сложенный о колвинском оленеводе по прозвищу Ёгор Вань, со временем превратился в лиро-эпическую песню «Ёгор Ване, Ёгор Вань да кöр местэыд выйым-эм?» (Ёгор Вань, ты Ёгор Вань, есть ли пастбище для оленей?), которая стала популярной по всей Ижме, Печоре, за Уралом, на Кольском полуострове. Собственно лиро-эпическими можно назвать и многие другие эпические песни, попавшие в женский репертуар, в которых тема сватовства становится ведущей: «Куим мама-пия» (Мать и два сына), «Вит көрес ке кутала» (Поймаюка я пятерых своих оленей), «Важен оліс яран гозъя» (Прежде жили ненец с ненкой). Вероятно, столь же неслучайно в эпических песнях А.И. Выучейской почти полностью исчезает сказочно-мифологическое начало, характерное для ненецких сюдбабц, а на первый план выходит та же тема сватовства (скорее уже не героического, а удачного).

[17] Материалы Канино-Тиманской фольклорной экспедиции 1972–1973 гг. // НА Коми НЦ. Ф.5. Оп.2. Д.118. Т.3. Л.220.

[18] В экспедиционном отчете А.К. Микушев отмечает: «Около ста лет назад произошел случай, рассказанный в нуранкыв «Харейвöрын кык керка» (В местечке Хорей-вер две избушки). На примере данного нуранкыв наглядно видно, как произошло обрастание сказочными деталями действительно происшедшего факта. Первонасельником пос. Хорей-вер был дед Е.В. Косковой, исполнивший нам данный нуранкыв. Както летом в отсутствие родителей неожиданно к избушке явился лесной хозяин – медведь, и страшно напугал резвившихся на лужайке детишек. Об этом событии впервые еще в прошлом веке сложила импровизацию мать Е.В. Косковой. Импровизация перешла по наследству к дочери. В процессе устного бытования первоначальный конкретный факт получил сказочное освещение, а сам нуранкыв превратился в эпическое повествование, близкое по своим атрибутам к ижмо-колвинским эпическим песням» [28].

Таким образом, перед нами предстает парадоксальная и с лингвистической, и с этнологической точек зрения картина бытования фольклора, поскольку система «Исполнитель – Текст – Аудитория», на которой зиждется любая фольклорная традиция, оказывается биэтничной и бикультурной во всем своем триединстве: исполнитель может быть и коми, и ненцем, текст и аудитория могут быть и коми, и ненецкими. Отталкиваясь от этнической детерминанты, мы можем вычленить из этой системы или фольклор на коми языке, или репертуар только коми исполнителей, или фольклор, исполняемый для коми аудитории, но даже и в этих трех вариантах мы не сможем соблюсти идентичность. Вероятно, для понимания феномена ижмо-колвинской традиции необходимо отталкиваться от более глубоких системных принципов.

Системный эффект

Общая картина зарождения этой самобытной культуры кажется достаточно очевидной: произошло взаимосближение двух абсолютно разных культур – коми-ижемцы за короткий срок (конец XVIII – первая половина XIX вв.) освоили оленеводство и мир кочевника, а колвинские ненцы перешли на оседлый образ жизни, переняли язык и обычаи ижемских коми. При этом ни один из процессов нельзя назвать специфически ижмо-колвинским: переход на оседлость был характерен едва ли не для всех ненцев Европейского Севера. Явление этнической или языковой ассимиляции также нельзя назвать уникальным; знание коми языка было характерно и для других групп ненцев. Здесь важно то, что в ситуации с коми-ижемцами и колвинскими ненцами эти процессы приобрели системный, синергетический эффект, вызвавший появление эмерджентных свойств, ранее не присущих ни ненцам, ни коми-ижемцам.

Очевидно, что это сближение было бы невозможным без религиозного единения. Само народное православие представляло собой один из «сильных» вариантов культурного двуязычия и играло ключевую роль в межэтнических отношениях, и, в первую очередь, в самой возможности межэтнических браков – лежащих в основе возникновения особой этнографической группы *колва-яран*. Неслучайно и в северно-русских местностях, пограничных с иноэтническим населением, важным православным «знаком» невесты являлось наличие в ее селении церкви [31]. По этнографическим данным, браки *колва яран* с тундровыми ненцами, не принявшими крещение, не практиковались уже в середине XIX в., а тенденция брать в жены православных коми-ижемок прослеживается и в начале XX в. Кроме того, уникальность ижмо-колвинской традиции может быть связана с возникновением особого «религиозно-мифологического двоемирия»: языческого (собственно ненецкого) и православно-христианского (коми-ижемского), которое, в отличие от официального православия, само уже представляло вариант народно-православного двоемирия, адаптированного для быстрого восприятия иноверцами, а главное – соответствующего новому образу жизни. Эта тема достойна отдельного исследования, и здесь мы можем позволить себе отметить два тонких штриха к общей картине. Один из них связан с путевыми заметками А. Кастрена по европейским тундрам, где он в нескольких словах описывает редкие для своего путешествия минуты отдыха: «*В нашем пестром кружку наслаждение жизнию проявляется однако ж чрезвычайно разнообразно. Русский распевает веселыя песни, шутит, подсмеивает, дурачится; Зырянин – читает молитвы, рассказывает жития святых и преподает нравственныя наставления; Самоед – сидит тихо и внимательно слушает, что говорят люди умнейшие*» [32]. Второй штрих связан уже с образом *колва яран.* Современники (коми-ижемцы) вспоминают о Г.Н. Валееве не только как об эпическом сказителе, но и как о глубоко верующем человеке, и во времена всеобщего атеизма соблюдавшем православные каноны: «Григорий Никифорович был нашим бригадиром (оленеводческой совхозной бригады; 1960–1970-е гг.). В праздники, бывало, нас поставит в чуме, долго молитвы читает»[19].

Исключительную роль в становлении этой биэтничной фольклорной традиции сыграло своего рода «внутрисемейное двоемирие»: коми-ижемки, выходя замуж за колвинских ненцев, приносили в новую жизнь свой язык, свои обычаи, свое лирическое мировосприятие, а мужчины – носители эпического мира, эпических знаний – при этом оставались ненцами. В фольклорной картине мира это «двоемирие» закреплено в терминах *яран* и *инька*, где *яран* имеет значение 'муж, мужчина' (при общеупотребительном 'ненец'), а термин *инька* 'жена, супруга *ярана*' явно соотносится с коми *инь* 'женщина', *инька* 'свекровь'. При этом в самой ижемской культуре свекровь называют *матушкой*, а в ижмо-колвинском термине *инька* может присутствовать собственно ненецкий компонент. Так, по предположению К.В. Истомина, производным для этого термина могло послужить ненецкое *иняхы* 'то, что привязано' [33], т.е. изначально слово представляло собой некий аналог термина *супруга.*

В фольклорной культуре это «внутрисемейное двоемирие» соотносимо с двумя основными жанрами данной традиции – эпическими богатырскими песнями и песнями-импровизациями *нуранкыв*.

Полукочевое оленеводство, уникальное во многих отношениях, предполагало и особое «социально-экономическое двоемирие», совмещающее и деревенский космос (в зимний период), и мир кочевника. В контексте бытования фольклорной традиции оно, видимо, создавало и два эпических мировосприятия, и две аудитории, на которые были ориентированы певцы.

Вероятно, многие открытия, связанные с ижмо-колвинской культурой, еще ждут своего часа, и в изложенной выше схеме свое место займет еще и обско-угорский компонент. В любом случае кажется

[19] ФФ ИЯЛИ. В1907–21. дер. Киеват Шурышкарского р-на Тюменской обл., исп. С.Ф. Конев, 1934 г.р. Соб. П.Ф. Лимеров, А.В. Панюков, 2003 г.

очевидным, что все эти процессы глубоко взаимосвязаны и с жизнью фольклорной культуры как таковой. И все они вместе, соединившись в единый культурогенный импульс, вызвали взрывоподобное (всего за несколько поколений) рождение новой фольклорной эстетики и уже не разделимой на этнические слагаемые новой традиции.

Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований УрО РАН, проект №15-15-6-47 «Стратегии и практики освоения и заселения Европейской Арктики: локальные и кросскультурные процессы в исторической динамике».

Литература

1. *Топорков А.Л.* Теория мифа в русской филологической науке XIX в. М., 1997. С. 317.
2. *Шайтанов И.О.* Классическая поэтика неклассической эпохи. Была ли завершена «Историческая поэтика»? // Вопросы литературы. 2002. № 4. С.82–135.
3. *Коми народные песни*: Ижма и Печора / Сост. А.К.Микушев, П.И.Чисталев. Изд.2. Сыктывкар, 1994. Т.2.
4. *Микушев А.К.* Коми эпические песни и баллады. Л.:Наука, 1969. 292 с.
5. *Коми народный эпос* / Под ред. А.К. Микушева. М.: Наука, 1987. 686 с.
6. *Коми народные песни*: Ижма и Печора. № 22, 25, 26. 1994. С. 86–100. (?)
7. *Vászolyi E.* Eszaki zurjen epikus énekek // Ethnographia. Budapest, 1967. № 3. P.438–451; 1968. №3. P.408–420.
8. *Vászolyi–Vasse, Eric:* Syrjaenica II. Narratives, Folklore and Folk Poetry from Eight Dialects of the Komi Language. V.2: Kolva and Usa Specimina Sibirica XV, XVII, XIX. Savariae – Szombathely, 2001. 531 p.
9. *Фольклор коми и ненцев Ненецкого автономного округа* (в записях Фольклорного фонда ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН 1968–1973 гг.) / Сост. А.В.Панюков. Сыктывкар, 2009. 500 с.
10. *Микушев А.К.* Коми народный эпос // Коми народный эпос / Вступ. ст., комм., перевод текстов А.К. Микушева. М., 1987. С.12–13.
11. *Микушев А.К.* Коми эпические песни и баллады. Л., 1969. 292 с.
12. *Микушев А.К.* Жанровые особенности эпоса северных коми зырян // Специфика фольклорных жанров: Сб. ст. М., 1973. С.200–226.
13. *Микушев А.К.* Оленеводческие песни-нуранкыв и ижмо-колвинский эпос // Проблемы изучения финно-угорского фольклора. Саранск, 1972. С.123–131.
14. *Микушев А.К.* Эпические формы коми фольклора / Отв. ред. А.М. Астахова, В.И. Лыткин. Л., 1973. 256 с.
15. *Микушев А.К.* Взаимосвязи традиционной композиции импровизационных песен коми и ненцев // Фольклор народов РСФСР: Межвуз. сб. Уфа, 1988. С.5–12.
16. *Истомин К.В.* Колва-яран: происхождение, межэтнические контакты, прирост населения поселения оседлых ненцев, колвинские ненцы в XX в. // Сайт «Традиционная культура народов Европейского Севера». 2001. Доступ: http://www.komi.com/folk/nenci/ (Дата обращения 01.01.2015).
17. *Истомин К.В.* Колва-яран: происхождение // Сайт «Традиционная культура народов Европейского Севера». 2001. Доступ: http://www.komi.com/folk/nenci/ (Дата обращения 01.01. 2015).
18. *Хомич Л.В.* Ненцы. Очерки традиционной культуры. М., 1970. С.45.
19. *Истомин К.В.* О термине колва-яран // Сайт «Традиционная культура народов Европейского Севера». 2001. Доступ: http://www.komi.com/folk/nenci/52.htm. (Дата обращения 01.01.2015).
20. *Хомич Л.В.* Развитие межэтнических связей в Ненецком автономном округе // Этнографические аспекты изучения современности. Л., 1980. С.48–63.
21. *Истомин К.В.* Колвинские ненцы в XX в. // Сайт «Традиционная культура народов Европейского Севера». 2001. Доступ: http://www.komi.com/folk/nenci/52.htm. (Дата обращения 01.01.2015).
22. *Микушев А.К.* Научный отчет о Канино-Тиманской фольклорной экспедиции (май-июнь 1972 г.) // НА Коми НЦ. Ф.5. Оп.2. Д.118. Т.1. С.22.
23. *Пушкарева Е.Т.* Русская сказка в фольклоре ненцев // Фольклор народов РСФСР. Уфа, 1989. С.40–51.
24. *Пушкарева Е.Т.* Специфика жанров фольклора ненцев и их исполнительские традиции // Фольклор ненцев / Сост. Е.Т. Пушкарева, Л.В. Хомич. Новосибирск, 2001. С.29.
25. *Дронова Т.И., Истомин К.В.* Межэтническое взаимодействие в Печорском крае: ненцы, русские (устьцилёмы) и коми-ижемцы // Этнографическое обозрение. М., 2003. С.54–67.
26. *Микушев А.К.* Научный отчет о Канино-Тиманской фольклорной экспедиции (май-июнь 1972 г.). Л.35.
27. *Фольклор коми и ненцев Ненецкого автономного округа* (в записях Фольклорного фонда ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН 1968–1973 гг.). № 38, 37.
28. *Микушев А.К.* Научный отчет о первой Большеземельской фольклорной экспедиции 1968 г. // НА Коми НЦ. Ф.1. Оп.11. Д.310. Л.16.
29. *Фольклор коми и ненцев Ненецкого автономного округа* (в записях Фольклорного фонда ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН 1968–1973 гг.). № 23, 20, 24.
30. *Микушев А.К.* Научный отчет о первой Большеземельской фольклорной экспедиции 1968 г. Л.15.
31. *Гладких А.Н.* Крестьянские свадебные обряды и прочее у жителей села Торговижского Красноуфимского уезда Пермской губернии // Тр. Пермской губ. Ученой архивной комиссии. Пермь, 1913. Вып. 10. С. 39.

32. *Путешествие Александра Кастрена* по Лапландии, северной России и Сибири (1838–1844, 1845–1849). М., 1860. IV. С.175.
33. *Дронова Т.И., Истомин К.В.* Межэтническое взаимодействие в Печорском крае: ненцы, русские (устьцилёмы) и коми-ижемцы // Этнографическое обозрение. М., 2003. С.58.

References

1. *Toporkov A.L.* Teoriya mifa v russkoy filologicheskoy nauke XIX v. [The theory of myth in Russian philology of the XIX century]. Moscow, 1997, P. 317/
2. *Shaitanov I.O.* Klassicheskaya poetika neklassicheskoy epohi. Byla li zavershena «Istoricheskaya poetika»? [Classical poetics of a non-classical epoch. Whether the "historical poetics" has been completed?] // Questions of Literature, 2002. № 4. P.82-135]
3. *Komi narodnye pesni:* Izhma i Pechora [Komi folk songs: Izhma and Pechora] / Compiled by A.K. Mikushev, P.I. Chistalev. Syktyvkar, 1994. Vol.2. Edit.2. Syktyvkar, 1994.
4. *Mikushev A.K.* Komi epicheskie pesni i ballady. [Komi epic songs and ballads]. Leningrad: Nauka, 1969. 292 p.
5. *Komi narodnyy epos.* [Komi folk epos] / Ed. A.K. Mikushev. Moscow: Nauka, 1987 - 686 p.
6. *Komi narodnye pesni:* Izhma i Pechora. [Komi folk songs: Izhma and Pechora]. №№ 22, 25, 26.
7. *Vászolyi E.* Eszaki zurjen epikus énekek. [Epic songs of nordic Zyryans] // Ethnographia. Budapest, 1967. №3. P.438-451; №3 1968. P.408-420.
8. *Vászolyi–Vasse, Eric:* Syrjaenica II. Narratives, Folklore and Folk Poetry from Eight Dialects of the Komi Language. V.2: Kolva and Usa Specimina Sibirica XV, XVII, XIX. Savariae – Szombathely, 2001. - 531 p.
9. *Folklor komi i nencev* Neneckogo avtonomnogo okruga (v zapisyah Folklornogo fonda IYaLI Komi NC UrO RAN 1968–1973 gg.) [Folklore of the Komis and Nenets of the Nenets Autonomous Area (in records of 1968-1973 of Folklore fund of Inst. of Language, Literature and History, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS)] / Compiled by A.V. Panyukov. Syktyvkar, 2009. -500 p.
10. *Mikushev A.K.* Komi narodny epos [Komi folk epos // Komi folk epos / Introductory article, comm., translation of A.K. Mikushev. Moscow, 1987. P.12-13.
11. *Mikushev A.K.* Komi epicheskie pesni i ballady [Komi epic songs and ballads]. Leningrad, 1969. 292 p.
12. *Mikushev A.K.* Zhanrovye osobennosti eposa severnyh komi zyryan // Specifika folklornyh zhanrov [Genre features of the epos of northern Komi Zyrians // Specificity of folklore genres]: Collected papers. Moscow, 1973. P.200-226.
13. *Mikushev A.K.* Olenevodcheskie pesni-nurankyv i izhmo-kolvinskiy epos [Reindeer-breeding songs-nurankyv and Izhma-Kolva epos] // Problems of studying the Finno-Ugric folklore. Saransk, 1972. P.123-131.]
14. *Mikushev A.K.* Epicheskie formy komi folklora [Epic form of Komi folklore] / Eds. A.M. Astakhova, V.I. Lytkin. Leningrad, 1973.
15. *Mikushev A.K.* Vzaimosvyazi tradicionnoy kompozicii improvizacionnyh pesen komi i nencev. [Interrelations of traditional composition of improvised songs of the Komi and Nenets] //Folklore of the people of RSFSR: Interuniversity collection. Ufa, 1988. P.5-12.
16. *Istomin K.V.* Kolva-yaran: proishozhdenie; mezhetnicheskie kontakty; prirost naseleniya poseleniya osedlyh nencev; kolvinskie nency v XX v. [Kolva-yaran: origin, interethnic contacts, increase in population, settlements of the settled Nenets, the Kolva Nenets in the XX century] //Site "Traditional Culture of the People of the European North". 2001. Access: http://www.komi.com/folk/nenci/(Accessed 01.01.2015)
17. *Istomin K.V.* Kolva-yaran: proishozhdenie [Kolva-yaran: origin] //Site "Traditional Culture of the People of the European North". 2001. Access: http://www.komi.com/folk/nenci/ (Accessed 01.01.2015)
18. *Khomich L.V.* Nency. Ocherki tradicionnoy kultury [The Nenets. Sketches of traditional culture]. Moscow, 1970. P.45
19. *Istomin K.V.* O termine kolva-yaran [About the term kolva-yaran] //Site "Traditional Culture of the People of the European North". 2001. Access: http://www.komi.com/folk/nenci/52.htm. (Accessed 01.01.2015)
20. *Khomich L.V.* Razvitie mezhetnicheskih svyazey v Neneckom avtonomnom okruge [Development of interethnic contacts in the Nenets Autonomous Area] //Ethnographic aspects of studying of the present. Leningrad, 1980. P. 48-63.
21. *Istomin K.V.* Kolvinskie nency v XX v. [The Kolva Nenets in the XX century] //Site "Traditional Culture of the People of the European North"]. 2001. Access: http://www. komi.com/ folk/nenci/52.htm. (Accessed 01.01.2015).
22. *Mikushev A.K.* Nauchnyy otchet o Kanino-Timanskoy folklornoy ekspedicii (may-iyun 1972 g.) [The scientific report on the Kanin-Timan folklore expedition (May-June, 1972)] // Sci. Archive of Komi Sci.Centre. F.5. Op.2. 118. Vol.1. P. 22.
23. *Pushkareva E.T.* Russkaya skazka v folklore nencev [Russian fairy tale in folklore of the Nenets] //Folklore of the people of RSFSR. Ufa, 1989. P. 40-51.
24. *Pushkareva E.T.* Specifika zhanrov folklora nencev i ih ispolnitelskie tradicii [Specificity of folklore genres of the Nenets and their performing traditions] //Folklore of the Nenets / Compiled by E.T. Pushkareva, L.V. Khomich. Novosibirsk, 2001. P. 29.
25. *Dronova T.I., Istomin K.V.* Mezhetnicheskoe vzaimodeystvie v Pechorskom krae: nency, russkie (ustcilyomy) i komi-izhemcy [Interethnic inter-

action in the Pechora region: the Nenets, the Russians (Ust-Tsilma people) and the Komi-Izhma people] // Ethnographic review. Moscow, 2003. P. 54-67.

26. *Mikushev A.K.* Nauchnyy otchet o Kanino-Timanskoy folklornoy ekspedicii (may-iyun 1972 g.) [Scientific report on the Kanin-Timan folklore expedition (May-June 1972)]. P.35.
27. *Folklor komi i nencev* Neneckogo avtonomnogo okruga (v zapisyah Folklornogo fonda IYaLI Komi NC UrO RAN 1968–1973 gg.) [Folklore of the Komi and Nenets of the Nenets Autonomous Area (in records of 1968-1973 of Folklore fund of Inst. Of Language, Literature and History, Komi Sci.Centre, Ural Branch, RAS)]. No. 38, 37
28. *Mikushev A.K.* Nauchnyy otchet o pervoy Bolshezemelskoy folklornoy ekspedicii 1968 g. [The scientific report on the first Bolshezemelsky folklore expedition of 1968] // Sci.Archive of Komi Sci. Centre. F.1. Op.11. 310. L.16.
29. *Folklor komi i nencev* Neneckogo avtonomnogo okruga (v zapisyah Folklornogo fonda IYaLI Komi NC UrO RAN 1968–1973 gg.) [Folklore of the Komi and Nenets of the Nenets Autonomous Area (in records of 1968-1973 of Folklore fund of Inst. of Language, Literature and History, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS)]. No. 23, 20, 24.
30. *Mikushev A.K.* Nauchnyy otchet o pervoy Bolshezemelskoy folklornoy ekspedicii 1968 g. [The scientific report on the first Bolshezemelsky folklore expedition of 1968] // Sci. Archive, Komi Sci. Centre. F.1. Op.11. 310. L.15.
31. *Gladkikh A.N.* Krestyanskie svadebnye obryady i prochee u zhiteley sela Torgovizhskogo Krasnoufimskogo uezda Permskoy gubernii [Peasant wedding ceremonies and others in inhabitants of the village Torgovizhsky of Krasnoufimsky district of the Perm province] // Works of the Perm provincial scientific archival commission. Perm, 1913. Issue 10. P.39.
32. *Puteshestvie Aleksandra Kastrena* po Laplandii, severnoy Rossii i Sibiri (1838–1844, 1845–1849) [Alexander Kastren's travel across Lapland, northern Russia and Siberia (1838–1844, 1845–1849)]. Moscow, 1860. IV. P.175.
33. *Dronova T.I., Istomin K.V.* Mezhetnicheskoe vzaimodeystvie v Pechorskom krae: nency, russkie (ustcilyomy) i komi-izhemcy [Interethnic interaction in the Pechora region: the Nenets, the Russians (Ust-Tsilma people) and the Komi-Izhma people] // Ethnographic review. Moscow, 2003. P.58.

Статья поступила в редакцию 26.06.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 330.3+332.12+338.45

ИНВЕСТИЦИОННО-ИННОВАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

М.М. СТЫРОВ, Д.В.КОЛЕЧКОВ

Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар
styrovmm@mail.ru, kdb1970@mail.ru

В статье оценивается инновационно-инвестиционная активность промышленности северных регионов России в 2012–2013 гг. Исследование проводилось путём многомерной классификации регионов методом иерархического кластерного анализа по показателям, отобранным с помощью факторного анализа. Выявлены три устойчивые группы регионов: «лидеры по инновациям», «лидеры по инвестициям», «средние по инвестициям и инновациям». Показано, что в большинстве случаев инвестиционные процессы не имеют должной инновационной составляющей из-за слабой к тому мотивации, а инновационный потенциал используется не полностью из-за недостаточного финансирования. Необходима активизация использования инновационно-инвестиционного потенциала Севера и выравнивание его по регионам и отраслям, в первую очередь, за счёт поддержки обрабатывающих производств.

Ключевые слова: **инвестиции, инновации, научные исследования, промышленность, Север, регион, добывающие производства, обрабатывающие производства, энергетика**

M.M. STYROV, D.V. KOLECHKOV. **INVESTMENT AND INNOVATION ACTIVITY OF THE INDUSTRY IN THE NORTHERN REGIONS OF RUSSIA**

For the modernization of economy the proper regulation of innovation and investment activity is very important, because without each other these processes do not give harmonious economic development. There is a special need in studying these relationships in the northern regions of Russia due to the growing geopolitical and economic importance of these territories and the great spatial and sectoral nonuniformity of their development. The sphere of industrial production as a place of the highest concentration of technological innovations and financial resources is of the greatest interest.
The aim of the research was coupled estimation of innovative and investment activity of the industry in northern regions of Russia. The research was conducted by multidimensional classification of regions by the method of hierarchical cluster analysis on indicators of scientific, innovative and investment activities which were selected through factor analysis.
Three stable groups of northern regions of Russia are revealed: "leaders in innovations", "leaders in investments","medium in investments and innovations".
Disharmony of the studied phenomenon is shown: in most cases the investment processes lack adequate innovation component due to weak incentives, and the innovation potential is not fully used due to insufficient financing, the main reason being stagnation of the manufacturing industry and disproportionate development of the extracting industries.
It is shown that the industry of the North of Russia has rather high potential of innovation and investment activity, however the intensification of its use and the essential alignment on regions and branches, particularly the support of manufacturing activities is required.
The research results can be used in analytical and administrative work of the regional and federal authorities, as well as in the business plans of enterprises. The methodical approach can be applied to the analysis at the level of other macroregions of Russia or the whole country.

Keywords: **investments, innovations, scientific research, industry, the North, region, mining industry, processing industry, energy sector**

Введение

В предыдущих работах [1, 2] мы рассматривали по отдельности уровень инвестиционной и инновационной активности промышленности северных регионов России. Были сделаны следующие выводы (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики инвестиционной и инновационной активности северных регионов России в 2006–2012 гг.

Инвестиционная активность	Инновационная активность
ОБЩЕЕ	
• Существенное повышение активности в период 2006–2012 гг. • Сильное доминирование сырьевых отраслей • Заметное отставание обрабатывающих производств как от других отраслей, так и от среднероссийских показателей • Противоречивые процессы неравномерного роста в энергетике • Очень высокая неоднородность, разорванность пространственной картины развития • Повышенная затратность инновационной и инвестиционной деятельности на Севере в относительном исчислении издержек к основным фондам, выпуску продукции	
РАЗЛИЧНОЕ	
Превосходство Севера над среднероссийскими значениями	**Отставание** Севера от среднероссийских значений

Следующим логичным шагом исследования является сопряжённая оценка этих двух видов активности в каждом из регионов для более глубокого понимания специфики их развития, выявления однородных групп и определения для них общих направлений модернизационной политики.

В настоящее время в России немало говорится об актуальности оценки и скоординированной «настройки» инновационной и инвестиционной активности на региональном уровне, поскольку «реализация инноваций предполагает осуществление инвестиций. Поэтому интенсивность инновационной деятельности в регионе определяется в первую очередь его инвестиционным потенциалом. Имеет место и обратная зависимость: эффективность инвестиций в современной экономике в определяющей степени зависит от того, насколько они направлены на реализацию новейших достижений техники и технологии» [3, с.193]. Исследователями также подчёркиваются сложность и нелинейность взаимосвязи инвестиций и инноваций [4], необходимость существенного повышения уровня тех и других для предотвращения деградации научно-производственного потенциала [5], усиление значимости региональной политики в данной сфере в силу усугубления пространственной дифференциации страны [3], влияние инноваций на уровень рентабельности инвестируемых отраслей [6] и т.д.

Методика исследования

В современной научной и деловой среде известно очень большое число подходов к оценке и ранжированию регионов по уровню инвестиционной или инновационной деятельности. А вот совместная оценка этих двух сторон регионального хозяйства и выявление взаимосвязи между ними – гораздо менее разработанная область знаний, но всё чаще занимающая умы исследователей.

Наиболее популярным подходом к решению данной задачи является расчёт интегральных показателей. Так, Б.Л.Лавровский и Р.С.Лузин для этой цели предлагают использовать расчётный параметр, представляющий собой объем производственных инвестиций, необходимых для сокращения потребности в условном дополнительном работнике [4]. И.А.Баев и И.А.Соловьёва идут путём агрегирования частных показателей-индексов методом многомерной средней величины [7]. В статье К.В.Подпятниковой и И.П.Савельевой в качестве интегрального показателя предлагается использовать коэффициент экономической привлекательности, характеризующий инвестиционный потенциал, инвестиционный риск и инновационную активность региона [8]. По мнению М.Е. Кулагиной, наилучший результат даёт метод балльных оценок, в который вовлекаются также показатели общей динамики социально-экономического развития, ресурсного потенциала и качества стратегии развития региона [9].

В данной работе для оценки инновационно-инвестиционной активности территорий использован метод иерархического кластерного анализа, позволяющий выполнить многомерную классификацию регионов. Достоинство данного метода состоит в том, что он дает возможность выявить группы относительно однородных объектов не на основе показателя-агрегата, а учитывая специфику сочетания ключевых показателей, формирующую сходство регионов. Эти ключевые показатели выбираются с помощью факторного анализа из общей совокупности индикаторов и характеризуют бо́льшую часть их дисперсии. Процедура исследования достаточно хорошо известна и широко применяется в социально-экономических и других изысканиях*. Расчёты проводились с использованием программных продуктов MS Excel и IBM SPSS Statistics 21.0.

Территориальный охват исследования – 12 северных регионов России**, что обусловлено осо-

* Особенности математического аппарата данного метода хорошо описаны в электронном учебнике компании Statsoft [10].

** Под северными регионами нами понимаются субъекты России, территория которых согласно Постановлению Совмина СССР от 03.01.1983 № 12 (с последующими изменениями и дополнениями) полностью относится к районам Крайнего Севера или приравненным к нему местностям: республики Карелия, Коми и Саха (Якутия), Камчатский край, Архангельская, Магаданская, Мурманская и Сахалинская области, Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий, Ненецкий и

бым интересом к проблемам и перспективам развития данного макрорегиона в силу его всевозрастающей стратегической значимости [11] и повышенной пространственно-временной неравномерности модернизационных процессов [12]. Объектом анализа выступает не экономика в целом, а только промышленность: добывающие, обрабатывающие и энергетические виды деятельности. Именно эти отрасли на Севере концентрируют около 2/3 инвестиций и более 90% инновационных вложений и продукции из общего объёма по экономике, фиксируемого статистикой. Период исследования – 2012-2013 гг., поскольку более ранних сведений по некоторым показателям не имеется, а данные за 2014 г. в полном объёме пока не опубликованы. Методика анализа пригодна для проведения расчётов в любом пространственном и отраслевом разрезе.

Факторный анализ

В табл. 2 приведены показатели, характеризующие область исследования, имеющиеся в открытом доступе в изданиях и базах данных Росстата.

По мнению авторов, этого перечня достаточно для выявления наиболее общих различий в инновационной и инвестиционной активности между регионами. Поэтому сюда не включены индикаторы, характеризующие отдельные специфические аспекты изучаемых хозяйственных отношений (экспорт и импорт технологий, применение нанотехнологий, структура источников и направлений инвестиций и др.).

Факторный анализ этих показателей методом главных компонент за 2012 и 2013 гг. показал, что среди них могут быть выделены пять наиболее существенных компонент с начальным собственным значением выше единицы, в совокупности характеризующих почти 90% всей дисперсии исходных показателей.

Выявленные компоненты интерпретируются следующим образом. Первая из них тесно связана с показателем численности научно-исследовательского персонала, её можно назвать «*уровень развития науки*». Вторая, третья и четвёртая с разных сторон характеризуют *уровень инновационной активности*, поскольку имеют высокую степень корреляции с показателями доли затрат на технологические инновации в общем объёме инвестиций, объема инновационных товаров, работ, услуг на одного занятого и количества используемых передовых производственных технологий, соответственно. Наконец, пятая компонента почти полностью совпадает с объемом инвестиций на одного занятого, т.е. отражает *уровень инвестиционной активности* промышленности региона.

Итак, с помощью отобранных показателей-компонент можно достаточно точно охарактеризовать основную часть различий в инновационно-инвестиционной деятельности промышленности регионов Севера. По этим параметрам выполнена многомерная группировка регионов методом иерархического кластерного анализа.

На графическом изображении мер близости (дендрограмме) регионов чётко выделяются три группы (рис. 1). Идентичные по составу общности были выявлены и по данным за 2012 г., что свидетельствует об устойчивости результатов оценки.

Таблица 2

Показатели инновационно-инвестиционной активности промышленности региона

Показатель	Единица измерения
Наука*	
Организации, выполняющие научные исследования и разработки, на 10 тыс. занятых	единиц
Численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, на 10 тыс. занятых	человек
Коэффициент изобретательской активности (число отечественных патентных заявок на изобретения, поданных в России в расчете на 10 тыс. человек)	единиц
Внутренние затраты на научные исследования и разработки, на одного занятого	тыс. руб.
Инновации	
Затраты на технологические инновации на одного занятого	тыс. руб.
Доля затрат на технологические инновации в общем объёме инвестиций	%
Доля затрат на технологические инновации в общем объёме ВРП региона	%
Доля затрат на технологические инновации в общем объёме отгрузки продукции	%
Объем инновационных товаров, работ, услуг на одного занятого	тыс. руб.
Доля инновационных товаров, работ, услуг в общем объёме отгрузки всех товаров, работ, услуг	%
Инновационная активность организаций промышленного производства (удельный вес организаций, осуществлявших технологические, организационные и (или) маркетинговые инновации, в общем числе обследованных организаций)	%
Число разработанных передовых производственных технологий, на 100 тыс. занятых	единиц
Число используемых передовых производственных технологий, на 100 тыс. занятых	единиц
Инвестиции	
Объём инвестиций в основной капитал на одного занятого	тыс. руб.
Удельный вес инвестиций в основной капитал в ВРП	%

Чукотский автономные округа. Из рассмотрения исключена Республика Тыва, во-первых, вследствие практически нулевых показателей инновационной активности промышленности, а, во-вторых, из-за резкой географической обособленности от остальных рассматриваемых нами регионов.

***Показатели научной деятельности взяты не по промышленности, в целом по регионам, без дробления на виды деятельности, поскольку отраслевое их разделение в статистике не осуществляется.

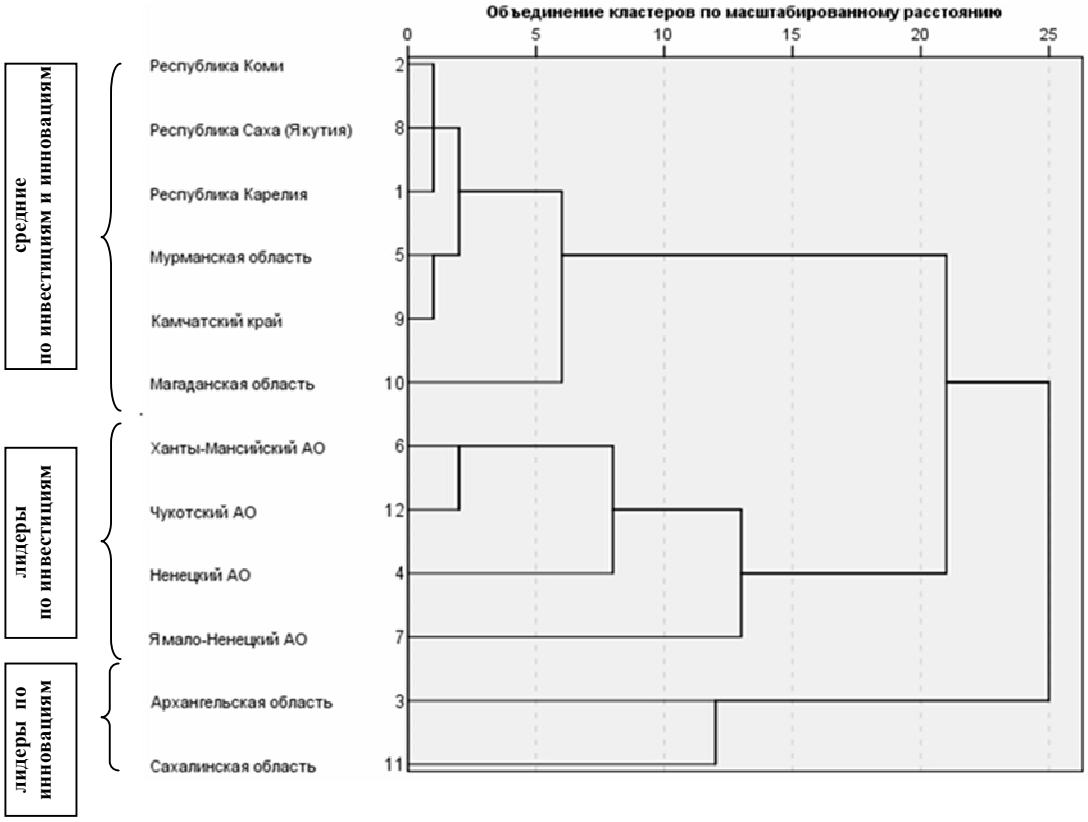


Рис. 1. Дендрограмма регионов Севера России по показателям инновационно-инвестиционной активности за 2013 г. (Метод Варда, квадрат расстояния Евклида, стандартизация Z-значениями).

Рисунок показывает, что эти группы, кардинально различаясь между собой, не являются внутренне однородными. Характеристики регионов по группам представлены в табл. 3 и на рис. 2.

Интерпретация результатов анализа

Первая группа – «лидеры по инновациям». Главная особенность данной группы, состоящей из Архангельской и Сахалинской областей, заключается в очень высоком уровне выпуска инновационных товаров на одного занятого – более 4 млн. руб. в год, что на порядок больше других северных регионов и среднего по стране значения. На Сахалине эти цифры в основном обеспечиваются выпуском сжиженного природного газа, в Архангельской области – машиностроительной и судостроительной продукцией, в том числе военного назначения. При этом оба региона стали показывать столь впечатляющие показатели лишь на протяжении последних двух-трёх лет.

Вторая отличительная черта первой группы – весьма высокий удельный вес инновационной составляющей в инвестициях – 20-30%. Такой показатель присущ наиболее передовым регионам страны и приближается к ведущим зарубежным странам. Для остальных регионов Севера в анализируемый период он недосягаем, хотя в отдельные годы некоторые из них демонстрировали недолговременный всплеск данного индикатора. Здесь также существует вероятность его снижения после завершения соответствующих проектов.

По количеству научного персонала рассматриваемые регионы на фоне Севера непримечательны – около 20 научных сотрудников на 10 тыс. занятых в экономике. Аналогично и по числу использованных передовых производственных технологий – около 200.

Однако между «одногруппниками» есть глубокое отличие – объём инвестиций в основной капитал. Сахалинская область, ориентируясь на переработку и экспорт природных ресурсов, имеет почти 3 млн. руб. вложений на одного занятого, являясь одним из лидеров не только северных территорий, но и всей страны. Архангельская же по данному показателю – лидер «с конца»: всего 165 тыс. руб. Это один из ключевых перекосов отечественной экономики – дефицит финансовых ресурсов в обрабатывающих отраслях, даже в случае их неплохого инновационного потенциала.

Власти и научная общественность Сахалинской области хорошо понимают, что один «газовый» проект, как бы масштабен и успешен он ни был, не может стать надёжной опорой развития экономики региона. Данный субъект Федерации имеет такие слабые места, как островное положение, значительный миграционный отток трудоспособного населения и особенно молодёжи, недостаточно развитую транспортную и энергетическую

Таблица 3

Показатели инновационно-инвестиционной активности промышленности регионов Севера России за 2012–2013 гг.*

Группа	Регионы	Факторы инновационно-инвестиционного развития									
		Уровень развития науки		Уровень инновационной активности						Уровень инвестиционной активности	
		Показатели инновационной и инвестиционной активности									
		Численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, на 10 тыс. занятых, чел.		Доля затрат на технологические инновации в общем объёме инвестиций, %		Объем инновационных товаров, работ, услуг на одного занятого, тыс. руб.		Число используемых передовых производственных технологий, на 100 тыс. занятых, ед.		Объём инвестиций в основной капитал на одного занятого, тыс. руб.	
		2012 г.	2013 г.	2012 г.	2013 г.	2012 г.	2013 г.	2012 г.	2013 г.	2012 г.	2013 г.
	Россия, всего	**107**	**107**	**13,4**	**16,0**	**190**	**235**	**282**	**285**	**330**	**356**
	Северные регионы, всего	**31**	**31**	**4,8**	**6,2**	**412**	**522**	**273**	**284**	**1 421**	**1 463**
Лидеры по инновациям	Архангельская область	19	19	36,4	32,5	173	1026	235	243	137	165
	Сахалинская область	29	30	20,5	17,2	7102	7399	166	180	2 281	2 783
	Среднее по группе	***24***	***24***	***28,4***	***24,8***	***3638***	***4213***	***201***	***211***	***1209***	***1474***
Лидеры по инвестициям	Ненецкий АО	20	19	2,7	0,0	0	0	76	24	6 115	5 856
	Ямало-Ненецкий АО	2	3	2,0	0,3	112	3	1047	1051	3 761	3 822
	Ханты-Мансийский АО	18	18	4,0	9,5	32	23	202	224	1 887	1 882
	Чукотский АО	6	6	0,3	0,5	37	48	0	0	1 071	656
	Среднее по группе	***12***	***11***	***2,3***	***2,6***	***45***	***18***	***331***	***325***	***3208***	***3054***
Средние по инвестициям и инновациям	Республика Карелия	32	33	1,9	1,4	5	3	187	183	276	200
	Республика Коми	40	40	4,7	1,7	273	258	108	119	683	828
	Мурманская область	56	55	1,5	2,5	1	6	272	264	498	405
	Республика Саха (Якутия)	49	48	2,0	4,1	8	81	182	180	1 093	980
	Камчатский край	63	61	9,6	3,7	1	2	70	85	180	154
	Магаданская область	64	64	2,5	0,9	278	268	581	699	856	1 309
	Среднее по группе	***51***	***50***	***3,7***	***2,4***	***94***	***103***	***233***	***255***	***598***	***646***

* Рассчитано авторами по данным Единой межведомственной информационно-статистической системы Росстата [13].

Рис. 2. Дифференциация уровня инвестиционной, инновационной и научной активности регионов Севера России в 2013 г., тыс. руб.

инфраструктуру, сильное удорожание жизни и производства из-за пространственной удалённости, а также сейсмических и климатических факторов. Поэтому разрабатываются и реализуются планы по освоению и глубокой переработке различных полезных ископаемых, развитию альтернативной энергетики, производству экологически чистых продуктов питания и других направлений. Для этого прикладываются усилия по мобилизации потенциала академической и университетской науки, сотрудничеству с зарубежными партнёрами, созданию специализированных центров инновационной инфраструктуры [14, 15].

Архангельская область имеет гораздо более выгодное географическое положение, удобное для сотрудничества с центральными регионами страны

и европейскими странами. Правительство области делает ставку на углубление переработки главного природного ресурса – леса, создание инновационных кластеров – лесопромышленного, судостроительного, добычу и переработку традиционных и новых полезных ископаемых, в том числе гипсов, базальтов, алмазов, сотрудничество с вузовской наукой [16, 17].

Вторая группа – «лидеры по инвестициям» – включает четыре автономных округа: Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий, Ненецкий и Чукотский. При этом по конфигурации рисунка (см. рис. 1) ясно, что их сходство во многом условно и касается не всех анализируемых характеристик.

Ключевая объединяющая черта группы – очень высокий уровень инвестиций, в среднем более 3 млн. руб. на одного занятого, что вдвое больше среднего по Северу и почти на порядок – среднего по стране. Естественно, это обусловлено огромными вложениями в нефтегазодобывающей промышленности (кроме Чукотского АО) при небольших масштабах других видов экономической деятельности и сравнительно малой численности населения.

Данным территориям присущ невысокий потенциал науки: численность исследователей здесь в разы ниже, чем у других северных соседей. Причина тому – отсутствие крупных академических центров и малое число ВУЗов как из-за суровых климатических условий и соответствующего удорожания затрат, так и по причине нехватки кадрового потенциала и институциональной среды для успешного проведения исследований. Впрочем, Ханты-Мансийский АО с этой ролью мириться не желает и позиционирует себя как регион, перспективный не только по использованию, но и по созданию инноваций, делая ставку на отраслевую и университетскую науку [18].

Слабая сторона автономных округов – мизерная доля инновационной составляющей в инвестициях (менее 1%), за исключением Ханты-Мансийского АО (9,5%). Конечно, низкий уровень показателя отчасти объясняется большим объёмом самих вложений в основной капитал, а также значительным северным удорожанием «традиционных» компонентов этих вложений – постройки зданий, дорог, объектов инфраструктуры. И всё же, располагая достаточными финансовыми ресурсами, именно эти регионы должны брать на себя лидерство в модернизации отечественной экономики. Как пишет С.Ю. Глазьев, перед Россией «стоит задача перераспределения сверхприбылей от экспорта природных ресурсов в производственно-технологические системы современного и нового технологических укладов, концентрацию ресурсов в ключевых направлениях их развития, модернизацию экономики, повышение ее эффективности и конкурентоспособности на основе распространения новых технологий» [5, с. 503].

Неудивительно, что и по выпуску инновационной продукции данные субъекты выглядят скромно, ведь углеводороды большей частью идут на экспорт или на переработку в другие районы страны. Немного отличающиеся от нуля цифры фиксируются в Ханты-Мансийском АО и Чукотском АО, что отражает их усилия по формированию инновационной экономики. В Ямало-Ненецком АО показатель мизерный.

Картина по количеству используемых передовых технологий очень контрастна. Лидирует Ямало-Ненецкий АО – более 1000 на 100 тыс. занятых, что является одним из максимальных показателей по стране. Понятно, что это связано со всё более осложняющейся добычей нефти и газа в арктических условиях, но почему-то не находит отражения в показателе финансирования инноваций. На втором месте – Ханты-Мансийский АО, где значение индикатора не отличается от большинства северных и других субъектов РФ. В Ненецком же и Чукотском автономных округах оно близко к нулю. Тому виной могут быть реально небольшое число внедрения новых разработок или же искажение показателя по неведомым причинам.

В третью группу – «средние по инвестициям и инновациям» – вошли шесть регионов: республики Коми, Саха (Якутия) и Карелия, Мурманская и Магаданская области, Камчатский край. По характеру иерархической кластеризации на дендрограмме (см. рис. 1) видно, что эти субъекты гораздо более однородны между собой, чем рассмотренные выше, лишь Магадан несколько обособлен от всех.

В этой группе наблюдается средний уровень инвестиционной активности: от 150 до 1000 тыс. руб. на одного занятого в год, а у Магаданской области – более 1300 руб., что и обуславливает её инаковость. Среднее значение получается более 600 тыс. руб., что почти вдвое выше среднероссийского. Однако обращают на себя внимание низкие значения в Карелии и Камчатском крае – менее 200 тыс. руб., что опять-таки связано с недостаточным финансированием обрабатывающих производств.

Всем регионам группы присуща очень низкая доля затрат на технологические инновации в общем объёме инвестиций (менее 5%) и, в основном, небольшое число используемых передовых производственных технологий. Пожалуй, это их самая слабая черта. Учитывая сравнительно развитую инфраструктуру, достаточно широкопрофильную экономику и весьма солидную научную базу (более 50 исследователей на 10 тыс. занятых, что кратно выше, чем у «лидеров по инновациям» и большинства других регионов России), можно было бы ожидать более высокой инновационной активности. Пока же она ограничивается эпизодическими скачками. Аналогично и по выпуску инновационной продукции: лишь у Республики Коми и Магаданской области с недавнего времени отмечаются сколь-нибудь существенные цифры, у остальных участников потенциал пока не раскрыт.

Высокие показатели Магаданской области по инновациям и использованию передовых технологий обусловлены развитием горнодобывающей промышленности, в первую очередь специфической для территории золотодобывающей отрасли, несмотря на особо высокие риски хозяйственной

деятельности в силу экстремальных природно-климатических условий, узости регионального рынка, удаленности и высоких тарифов на энергоресурсы и транспортное обслуживание. Перспективы развития региона видятся в комплексном использовании месторождений золота и угля, развитии морехозяйственного комплекса, в отдалённой перспективе – добыче и переработке нефти и газа [19].

Ситуацию же в остальных пяти регионах группы стоит рассмотреть обстоятельнее, поскольку она во многом типична как для большинства северных территорий, так и для многих других субъектов России. Она также описана нами в работе [20].

Основной поток инноваций промышленности в этих территориях формируют импортные технологии, которые доступны лишь финансово состоятельным экспортно ориентированным отраслям. Низкорентабельные предприятия не решаются на новые проекты из-за длительного срока окупаемости и больших рисков. В энергетической же отрасли модернизация тормозится жёсткими тарифными ограничениями и неплатежами и упирается в противоречивую систему отношений с поставщиками, потребителями и органами власти [21].

Играют свою роль и нефинансовые ограничения: нехватка квалифицированных работников (дополнительно осложняемая миграционным оттоком [22]), узость и сиюминутность мышления акционеров и менеджеров, несовершенство законодательства и различные административные барьеры [23], технологическая инерционность, предпочтительность более «лёгких» путей повышения экономической эффективности, таких как повышение цен, расширение масштабов производства или недобросовестная конкуренция.

Немалым препятствием для инновационного развития предприятий является их северное периферийное положение, обуславливающее сильное удорожание транспортных расходов и самого производства и неизбежно диктующее ориентацию на инорегиональные или зарубежные рынки. В таких условиях становится невыгодной и неудобной глубокая переработка сырья, поскольку она требует гибкости, близости к потребителю, наличия кадров соответствующего культурного и образовательного уровня. Яркий пример – деревообработка, чаще всего ограничивающаяся на Севере производством пиломатериалов, из которых потом российские или зарубежные партнёры производят конечную продукцию: мебель, столярные изделия, садовый инвентарь и т.д. [24].

Таким образом, невысокие показатели инновационно-инвестиционной активности «средней» группы северных регионов России являются не случайностью, а закономерным следствием культурно-исторических и природно-географических условий их развития. Их росту препятствуют как нехватка финансовых ресурсов в «нересурсных» производствах, так и глубоко укоренённые процессы глобальной конкуренции и многолетнего разрушения кадрового потенциала «северов».

Выводы

Итак, выполненная типология показала, что инновационно-инвестиционная система промышленности северных регионов страны находится в стадии становления, поэтому имеет весьма неоднородный, не до конца оформившийся характер, и требует дальнейшего наблюдения, осмысления, регулирования. Основная часть различий в экономико-технологическом уровне между территориями обусловлена влиянием трех факторов: научного, инновационного и инвестиционного развития. Эти факторы не имеют между собой прямой и однозначной взаимосвязи, поэтому использование многомерной классификации для оценки дифференциации их воздействия вполне оправданно и позволяет говорить о трёх различных типах развития.

Половина регионов Севера характеризуется посредственным уровнем инновационно-инвестиционной активности промышленности: довольно масштабными инвестициями в основной капитал за счёт природно-ресурсных отраслей при явно недостаточной инновационной составляющей в них, вопреки имеющемуся хорошему научному потенциалу. Здесь нужно продолжать диверсификацию экономики и формировать стимулы и механизмы взаимодействия промышленности с региональной наукой.

Реально высокую инновационную активность как по объёму затрат, так и по выпуску продукции показывают два региона – Сахалинская и Архангельская области. Этот успех нуждается в закреплении, в первом случае – на основе дальнейшего углубления переработки углеводородов, во втором – улучшении условий финансирования обрабатывающих производств.

Основная же часть инвестиционных ресурсов концентрируется в группе монопрофильных ресурсно-экспортных автономных округов. Здесь предпринимаются нужные шаги для придания этим финансовым потокам желаемого «научно-инновационного» направления, но неиспользованный потенциал модернизации пока ещё очень велик. Доминировавшая многие годы экспортно-нефтегазовая доктрина развития должна трансформироваться в стратегию широкопрофильной «знаниевой» экономики, ориентированную на выпуск конечных продуктов для внутреннего рынка.

В целом же результаты анализа подводят к мысли о многогранной неготовности экономики Севера (как и большинства других регионов России) для перехода к устойчивому инновационному развитию. Имеющиеся успехи – скорее «точечные прорывы», нежели системные достижения. И главная тому причина – отсутствие реального внутреннего стимула для технологического и гуманитарного рывка. Значит, его роль должен сыграть внешний вызов. Таковым могут оказаться нынешняя технологическая «блокада» России странами Запада, снижение мировых цен на углеводороды и резкое повышение стоимости импортных инноваций из-за девальвации рубля.

В заключение добавим, что изучение инновационной наполненности инвестиций должно быть ориентировано не только на поиск путей повышения их объёма или рентабельности. Следует расширять информационную базу анализа в направлении оценки качества инновационно-инвестиционных отношений, их соотнесённости с решением социальных и экологических проблем региона. Ведь нынешняя практика развития экономики, построенная на мотивации получения максимальной прибыли и опирающаяся на процентное банковское кредитование, неизбежно пренебрегает природоохранными вопросами и усиливает социальное и пространственное неравенство [25]. В науке всё больше говорится о необходимости повышения «зеленой» эффективности инвестиций, т.е. их направленности на защиту окружающей среды, сокращение бедности, раскрытие творческого потенциала личности и т.д., что требует значительных изменений в философии, культуре, стратегии и подходах всех действующих лиц, включая надзорные органы [26]. Главная же перемена должна заключаться в замене материально-потребительских мотиваторов на ценности духовного развития: бережливости, солидарности, справедливости [27]. Эти тезисы особенно актуальны для «северов» в силу их ресурсной специализации, национально-культурной самобытности и повышенной экологической ранимости [28].

Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных исследований Уральского отделения РАН № 14 «Фундаментальные проблемы региональной экономики», проект 15-14-7-12 «Инновационный потенциал северных регионов России: оценка и перспективы развития».

Литература

1. *Стыров М.М., Колечков Д.В.* Инвестиционная активность промышленности северных регионов России // Региональная экономика: теория и практика. 2014. №40 (367). С. 10–22.
2. *Стыров М.М., Колечков Д.В.* Инновационная активность промышленности северных регионов России//Региональная экономика: теория и практика. 2015. № 12 (387). С. 34–46.
3. *Движение регионов России* к инновационной экономике: монография. М.: Наука, 2006. 402 с.
4. *Лавровский Б.Л., Лузин Р.С.* О построении инновационно-инвестиционного рейтинга российских регионов // Пространственная экономика. 2013. № 2. С. 87–102.
5. *Глазьев С.Ю.* Уроки очередной российской революции: крах либеральной утопии и шанс на «экономическое чудо». М.: Издательский дом «Экономическая газета», 2011. 576 с.
6. *Швец С.М.* Теоретические подходы к построению инновационно-инвестиционной модели развития минерально-сырьевого комплекса // Экономика региона. 2012. № 2. С. 137–144.
7. *Баев И.А., Соловьева И.А.* Эмпирический анализ взаимосвязи инвестиционной и инновационной активности регионов России // Экономика региона. 2014. № 1. С. 147–155.
8. *Подпятникова К.В., Савельева И.П.* Оценка и анализ инвестиционного климата и инновационной активности в разрезе федеральных округов// Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2013. Т.7. № 1. С. 66–71.
9. *Кулагина М.Е.* Модель оценки потенциала инновационно-инвестиционного развития региона // Сибирская финансовая школа. 2012. № 3. С. 167–171.
10. *StatSoft, Inc. (2012).* Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс]. – URL: http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm (дата обращения 29 июля 2015 г.).
11. *Север и Арктика* в пространственном развитии России: научно-аналитический доклад / Научный совет РАН по вопросам регионального развития; СОПС при Министерстве экономического развития РФ и Президиуме РАН; ИЭП Кольского НЦ РАН; ИСЭиЭПС Коми НЦ УрО РАН. Москва-Апатиты-Сыктывкар: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2010. 213 с.
12. *Гаджиев Ю.А., Акопов В.И., Канев В.Н.* Динамика инвестиций в основной капитал экономики северных регионов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2015. № 1 (37). С. 59–71.
13. *Единая межведомственная* информационно-статистическая система Росстата. [Электронный ресурс]. – URL: http://fedstat.ru (дата обращения 22 июля 2015 г.).
14. *Хорошавин И.А.* Формирование инновационной экономики Сахалинской области // Власть и управление на Востоке России. 2013. № 3 (64).
15. *Стратегия социально-экономического* развития Сахалинской области на период до 2025 года [Электронный ресурс]. – URL: http://www.admsakhalin.ru/?id=139 (дата обращения 6 августа 2015 г.).
16. *Орлов И.А.* Компоненты инновационного развития региона // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики, серия «Гуманитарные науки». 2012. № 7-8. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.nauteh-journal.ru/index.php/--gn12-07/598-a (дата обращения 6 августа 2015 г.).
17. *Стратегия социально-экономического* развития Архангельской области до 2030 года [Электронный ресурс].–URL: http://old. dvinaland.ru/files/i/2030.zip (дата обращения 6 августа 2015 г.).
18. *Стратегия социально-экономического* развития Ханты-Мансийского автономного округа – Югры до 2020 года и на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL: http:// investugra.ru/upload/2030%20(3).docx (дата обращения 6 августа 2015 г.).
19. *Инвестиционная стратегия* Магаданской области на период до 2025 года [Электрон-

ресурс].–URL:http://base.garant.ru/ 26941838/ (дата обращения 5 августа 2015 г.).
20. *Стыров М.М., Колечков Д.В., Шляхтина Н.В.* Инновационное развитие промышленности Республики Коми: стимулы и препятствия // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. Сыктывкар, 2015. № 2. С. 120–138.
21. *Чайка Л.В.* Приоритеты модернизации энергетической инфраструктуры в сельской местности Республики Коми // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2015. № 2 (38). С. 104–115.
22. *Фаузер В.В.* Демографический потенциал северных регионов России – фактор и условие экономического освоения Арктики // Экономика региона. 2014. № 4. С. 69–81.
23. *Цукерман В.А., Горячевская Е.С.* Инновационное развитие арктической зоны Российской Федерации: проблемы и перспективы экономического роста // Друкеровский вестник. 2015. №1. С. 128–141
24. *Дмитриева Т.Е., Носков В.А., Шишелов М.А.* Направления роста эффективности лесопереработки в Республике Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2014. №4. С. 79–86.
25. *Катасонов В.Ю.* Капитализм. История и идеология «денежной цивилизации». М.: Институт русской цивилизации, 2013. 1072 с.
26. *Кожевникова Т.М., Тер-Акопов С.Г.* «Зеленая экономика» как одно из направлений устойчивого развития // Социально-экономические явления и процессы. 2013. № 3 (049). С. 78–82.
27. *Агеев А.И.* Творчество, озаренное идеалами // Однако. 2012. № 10 (119).
28. *Лаженцев В.Н.* Содержание, системная организация и планирование территориального развития. Екатеринбург – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2014. 236 с.

References

1. *Styrov M.M., Kolechkov D.V.* Investicionnaja aktivnost' promyshlennosti severnyh regionov Rossii [Investment activity of the industry of northern regions of Russia] // Regional'naja jekonomika: teorija i praktika [Regional economy: theory and practice]. 2014. № 40 (367). P. 10–22.
2. *Styrov M.M., Kolechkov D.V.* Innovacionnaja aktivnost' promyshlennosti severnyh regionov Rossii [Innovative activity of the industry of northern regions of Russia] // Regional'naja jekonomika: teorija i praktika [Regional economy: theory and practice]. 2015. № 12 (387). P. 34–46.
3. *Dvizhenie regionov* Rossii k innovacionnoj jekonomike: monografija [The movement of regions of Russia to innovative economy: monograph]. Moscow: Nauka, 2006. 402 p.
4. *Lavrovsky B.L., Luzin R.S.* O postroenii innovacionno-investicionnogo rejtinga rossijskih regionov [About creation of an innovative and investment rating of the Russian regions] // Prostranstvennaja jekonomika [Spatial economy]. 2013. № 2. P. 87–102.
5. *Glazyev S. Yu.* Uroki ocherednoj rossijskoj revoljucii: krah liberal'noj utopii i shans na «jekonomicheskoe chudo» [Lessons of the next Russian revolution: crash of a liberal utopia and chance of "economic miracle"]. Moscow: «Ekonomicheskaya gazeta» Publ. 2011. 576 p.
6. *Shvets S.M.* Teoreticheskie podhody k postroeniju innovacionno-investicionnoj modeli razvitija mineral'no-syr'evogo kompleksa [Theoretical approaches to creation of innovative and investment model of development of mineral resources complex] // Jekonomika regiona [Economy of the region]. 2012. № 2. P. 137-144.
7. *Baev I.A., Solovyeva I.A.* Jempiricheskij analiz vzaimosvjazi investicionnoj i innovacionnoj aktivnosti regionov Rossii [Empirical analysis of interrelation of investment and innovative activity of regions of Russia] // Jekonomika regiona [Economy of the region]. 2014. № 1. P. 147–155.
8. *Podpyatnikova K.V., Savelyeva I.P.* Ocenka i analiz investicionnogo klimata i innovacionnoj aktivnosti v razreze federal'nyh okrugov [Assessment and the analysis of investment climate and innovative activity in a section of federal districts] // Vestnik JuUrGU, Serija «Jekonomika i menedzhment» [Herald of SUSU, Economy and Management Series]. 2013. Vol.7. № 1. P. 66–71.
9. *Kulagina M.E.* Model' ocenki potenciala innovacionno-investicionnogo razvitija regiona [Model of assessment of potential of innovative and investment development of the region] // Sibirskaja finansovaja shkola [Siberian financial school]. 2012. № 3. P. 167–171.
10. *StatSoft, Inc. (2012).* Jelektronnyj uchebnik po statistike [Electronic textbook on statistics]. – URL: http://www.statsoft.ru/home/textbook/ default.htm (accessed July 29, 2015).
11. *Sever i Arktika* v prostranstvennom razvitii Rossii: nauchno-analiticheskij doklad [The North and the Arctic in spatial development of Russia: the scientific and analytical report] / RAS Sci. Council on regional development, Council on Productive Forces under the Ministry of Economic Development of RF and RAS Presidium; Ist. of Economy Problems of Kola Sci.Centre, RAS; Inst. of Social, Economic and Power Problems of the North, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. – Moscow-Apatity-Syktyvkar: Komi Sci.Centre, RAS, Publ., 2010. 213 p.
12. *Gadzhiev Yu.A., Akopov V.I., Kanev V.N.* Dinamika investicij v osnovnoj kapital jekonomiki severnyh regionov [Dynamics of investments into fixed capital of economy of northern regions] // Jekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz

[Economic and social changes: facts, tendencies, forecast]. 2015. № 1 (37). P. 59–71.
13. *Edinaja mezhvedomstvennaja* informacionno-statisticheskaja sistema Rosstata [Jelektronnyj resurs]. [Uniform interdepartmental information and statistical system of Rosstat]. – URL: http://fedstat.ru (accessed July 22, 2015).
14. *Khoroshavin I.A.* Formirovanie innovacionnoj jekonomiki Sahalinskoj oblasti [Formation of innovative economy of the Sakhalin region] // Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossiithe [Power and management in the east of Russia]. 2013. № 3 (64).
15. *Strategija social'no-jekonomicheskogo* razvitija Sahalinskoj oblasti na period do 2025 goda. [Strategy of social and economic development of the Sakhalin region for the period till 2025] – URL: http://www.admsakhalin.ru/?id=139 (accessed August 06, 2015).
16. *Orlov I.A.* Komponenty innovacionnogo razvitija regiona [Components of innovative development of the region] // Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki, serija «Gumanitarnye nauki» [Modern science: actual problems of the theory and practice, Humanities series]. 2012. № 7-8. – URL: http://www.nauteh-journal.ru/index.php/--gn12-07/598-a (accessed August 06, 2015).
17. *Strategija social'no-jekonomicheskogo* razvitija Arhangel'skoj oblasti do 2030 goda. [Strategy of social and economic development of the Arkhangelsk region till 2030]. – URL: http://old.dvinaland.ru/files/i/2030.zip (accessed August 06, 2015).
18. *Strategija social'no-jekonomicheskogo* razvitija Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Jugry do 2020 goda i na period do 2030 goda . [Strategy of social and economic development of Khanty-Mansi Autonomous Area till 2020 and for the period till 2030]. – URL: http://investugra.ru/upload/2030%20(3).docx (accessed August 06, 2015).
19. *Investicionnaja strategija* Magadanskoj oblasti na period do 2025 goda. [Investment strategy of the Magadan region for the period till 2025]. URL: http://base.garant.ru/ 26941838/ (accessed August 5, 2015).
20. *Styrov M.M., Kolechkov D.V., Shlyakhtina N.V.* Innovacionnoe razvitie promyshlennosti Respubliki Komi: stimuly i prepjatstvija [Innovative development of the industry of the Komi Republic: incentives and obstacles] // Korporativnoe upravlenie i innovacionnoe razvitie jekonomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo centra korporativnogo prava, upravlenija i venchurnogo investirovanija Syktyvkarskogo gosudarstvennogo universiteta [Corporate management and innovative development of economy of the North: Bull. of the Research center of corporate law, management and venture investment of Syktyvkar State Univ.]. 2015. № 2. P. 120–138.
21. *Chajka L.V.* Prioritety modernizacii jenergeticheskoj infrastruktury v sel'skoj mestnosti Respubliki Komi [Priorities of modernization of power infrastructure in rural areas of the Komi Republic] // Jekonomicheskie i social' nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz [Economic and social changes: facts, tendencies, forecast]. 2015. № 2 (38). P. 104–115.
22. *Fauzer V.V.* Demograficheskij potencial severnyh regionov Rossii – faktor i uslovie jekonomicheskogo osvoenija Arktiki [Demographic capacity of northern regions of Russia – a factor and a condition of economic development of the Arctic] // Jekonomika regiona [Economy of region]. 2014. № 4. P. 69–81.
23. *Tsukerman V.A., Goryachevskaya E.S.* Innovacionnoe razvitie arkticheskoj zony Rossijskoj Federacii: problemy i perspektivy jekonomicheskogo rosta [Innovative development of the Arctic zone of the Russian Federation: problems and prospects of economic growth] // Drukerovskij vestnik [Drukerovsky Bull.]. 2015. №1. P. 128-141.
24. *Dmitrieva T.E., Noskov V.A., Shishelov M.A.* Napravlenija rosta jeffektivnosti lesopererabotki v Respublike Komi [The directions of growth of efficiency of wood processing in the Komi Republic] // Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN [Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS]. 2014. № 4. P. 79–86.
25. *Katasonov V.Yu.* Kapitalizm. Istorija i ideologija «denezhnoj civilizacii» [Capitalism. History and ideology of "a monetary civilization"]. Moscow: Institut russkoj civilizacii [Inst. of Russian Civilization], 2013. 1072 p.
26. *Kozhevnikova T.M., Ter-Akopov S.G.* «Zelenaja jekonomika» kak odno iz napravlenij ustojchivogo razvitija ["Green economy" as one of the directions of a sustainable development] // Social'no-jekonomicheskie javlenija i processy [Social and economic phenomena and processes]. 2013. № 3 (049). P. 78–82.
27. *Ageev A.I.* Tvorchestvo, ozarennoe idealami [The creativity which is lit up by ideals] // Odnako [However]. 2012. № 10 (119).
28. *Lazhentsev V.N.* Soderzhanie, sistemnaja organizacija i planirovanie territorial'nogo razvitija [Contents, system organization and planning of territorial development]. Ekaterinburg – Syktyvkar: Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, Publ., 2014. 236 p.

Статья поступила в редакцию 07.08.2015.

УДК 338.43 : 639.3

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТОВАРНОГО РЫБОВОДСТВА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

В.И. ПАВЛЕНКО, А.М. ТОРЦЕВ

Архангельский научный центр УрО РАН, г. Архангельск
chairman.arhsc@mail.ru, torzevalex@yandex.ru

Рассматривается современное состояние и развитие товарной аквакультуры на Европейском Севере России, потенциал развития отрасли (водные объекты, расширение рынка сбыта и т.д.), негативные факторы, сдерживающие развитие аквакультуры (правовые, финансовые, инфраструктурные и иные) и меры по государственной поддержке отрасли. Принятие в 2013 г. закона, устанавливающего правовые основы отечественной аквакультуры, позволяет определить перспективные пути развития товарной аквакультуры. Организованы меры по ее развитию для формирования целостного комплекса в рассматриваемой сфере деятельности.

Ключевые слова: **товарное рыбоводство, Европейский Север России, водные биоресурсы, меры государственной поддержки**

V.I. PAVLENKO, A.M. TORTSEV. IMPROVEMENT OF DIRECTIONS OF STATE SUPPORT OF COMMODITY PISCICULTURE IN THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

The paper considers the present status and development of aquaculture commodity in the European North of Russia, development potential of the industry (water bodies, market expansion, increased consumption of aquatic biological resources, etc.), the negative factors hindering the development of aquaculture (legal, financial, technological, infrastructure, environmental and others). Measures for state support of the industry, adopted at the regional level (in the Republic of Karelia, Komi Republic, Murmansk region, Arkhangelsk region, Vologda region) and on the federal level are observed. The adoption in 2013 of the law establishing the legal basis of domestic aquaculture, allows to determine the perspective ways of development of commercial aquaculture. Measures directed to development of aquaculture for formation of full complex in this sphere of activity, including research and training in the field of commercial fish farming, the development of legal and economic mechanisms of co-financing of regional programs for the development of the complete-cycle fisheries complexes, the reduction of customs duties on the import of equipment, support for aquaculture insurance. The implementation of the existing and additional measures of the state support will contribute to the holistic complex in commercial aquaculture in the European North of Russia: research and development - training - equipment and technologies - fish material - feed – growing of aquaculture - fish processing and storage - sale of living aquatic resources.

Keywords: **commodity pisciculture, the European North of Russia, water bioresources, measures of the state support**

В последние два года отечественный рыбохозяйственный комплекс демонстрирует рост объемов добычи водных биоресурсов до 10% ежегодно. Вместе с тем, сырьевые запасы водных биоресурсов в традиционных районах промысла ограничены. В ближайшие четыре–пять лет объемы добычи водных биоресурсов могут выйти на максимально возможный уровень – 4,5 млн. т. Мировой опыт (Китай, Норвегия, Чили, Канада) показывает, что дальнейшее увеличение производства рыбопродукции в России возможно только за счет развития аквакультуры [1, 2]. Например, в Китае – лидере в аквакультуре, благодаря мощной государственной поддержке, объемы ее за последние 20 лет увеличились в три раза и достигли 43 млн. т.

Норвегия за последние 15 лет добилась увеличения объема производства продукции аквакультуры примерно в 10 раз, и, в соответствии с программой развития рыбной промышленности, к 2020 г. планируется, что доля продукции товарных ферм в норвежском рыбном экспорте составит 95 %. Если, например, в Норвегии в 2005 г. искусственное вы-

ращивание лосося атлантического (семги) достигло 582 тыс. т., или 47,02% от общемирового производства, то в России – 204 т и 0,02% соответственно [3, 4]. Показателен также опыт государственной поддержки предприятий в Норвегии, которая является лидером в аквакультуре. Так, в Норвегии действует Программа по развитию норвежской аквакультуры 2006–2015гг. с бюджетом 120 млн. норв. рон [5]. Государство обеспечивает хозяйства посадочным материалом, выращивание которого проводится в государственных и частных питомниках, обеспечивает борьбу с заболеваниями и их профилактику, частично компенсирует затраты на корма, осуществляет финансирование научных исследований, связанных с разработкой и совершенствованием технологий, селекцией, генетикой объектов аквакультуры [6].

Исторически в СССР / России основное внимание уделялось освоению ресурсов Мирового океана, а развитию рыбоводства отводилась второстепенная роль источника местного пищевого сырья. Это фактически определило слабое развитие современной отечественной аквакультуры, не соответствующее её потенциальным возможностям [7]. Даже в период наивысших достижений отечественного рыбопромышленного комплекса в середине 80-х гг. прошлого столетия, когда доля СССР в мировом рыболовстве составляла около 10%, объем искусственно выращенной продукции не превышал 3% от уровня продукции аквакультуры мира. Теперь эти показатели составляют соответственно 2 и 0,2%. А это означает, что в относительных величинах общие объемы отечественной рыбодобычи за последние 20 лет сократились в пять раз, а в аквакультуре – в 15 [8]. По состоянию на 2011 г. в России выращивалось только 140 тыс. т продукции аквакультуры. Планируется, что к 2020 г. этот показатель вырастет до 410 тыс. т [9].

На Европейском Севере России организациями, занимающимися товарным рыбоводством, в 2014 г. выращено 38 880 т рыбы. Объемы выращивания товарной рыбы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Выращивание товарной рыбы на Европейском Севере России [10]

Наименование субъекта РФ	Выращено рыбы, т		
	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Республика Карелия	9 057	11 300	12 900
Республика Коми	327	340	370
Архангельская область	116	130	150
Ненецкий автономный округ	0	0	0
Вологодская область	0	55	80
Мурманская область	16 774	18 805	25 380

В последнее время Правительство России, Министерство сельского хозяйства России, Федеральное агентство по рыболовству и региональные органы власти много внимания уделяют развитию отечественной аквакультуры: совершенствуются нормативно-правовое поле, меры по государственной поддержке отрасли, идет поиск направлений развития, освоение отечественного рынка и т.д. До 2020 г. планируется на государственную поддержку аквакультуры выделить 25,7 млрд. руб. [7].

Таким образом, становится актуальным рассмотреть потенциал аквакультуры на Европейском Севере России, выявить негативные факторы сдерживания развития и направления государственной поддержки отрасли.

К потенциалу развития аквакультуры можно отнести:

Развитый водный фонд. Территории Мурманской области, Республики Карелия и Республики Коми, Вологодской и Архангельской областей, Ненецкого автономного округа богаты поверхностными водными объектами. Например, на Кольском полуострове насчитывается около 20 тыс. ручьев, речек и рек, 10 водохранилищ площадью 342,2 тыс. га, а также более 111 тыс. озер общей площадью 922.7 тыс. га [11]. В границах Вологодской области протекают более 800 рек, расположено одно крупное водохранилище [12]. На территории Архангельской области протекают почти 72 тыс. рек (из них 94% – реки длиной менее 10 км), насчитывается более 59 тыс. озер. В пределах Ненецкого автономного округа насчитывается около 2 тыс. рек, более 1,5 тыс. озер [12]. Кроме того, указанные субъекты РФ располагают протяженной линией морского побережья Белого, Баренцева и Карского морей. Однако следует отметить, что не все водные объекты по различным природным и антропогенным условиям подходят для выращивания водных биоресурсов.

Рост потребления водных биоресурсов, в том числе объектов аквакультуры. В соответствии с данными Росрыболовства за 2011 г. среднедушевое потребление рыбы и рыбопродуктов населением России составляет 21,2 кг на одного человека в год. К 2020 г. ожидается повышение уровня потребления до 28 кг рыбы и рыбопродуктов на одного человека в год [9]. Кроме того, отмечается рост спроса на свежую и охлажденную продукцию аквакультуры, особенно в крупных городских агломерациях. Сбыт продукции товарного рыбоводства может осуществляться не только на местных рынках, но и на рынках крупных городов европейской части РФ (Санкт-Петербург, Москва и т.д.).

Расширение рынка сбыта продукции аквакультуры за счет сокращения роста уловов водных биоресурсов в Мировом океане. Прогнозируется стабилизация роста уловов в связи с ограниченными объемами изъятия традиционных промысловых водных биоресурсов и замещение уловов выращиваемыми водными биоресурсами. Кроме того, запрет на ввоз рыбы из Норвегии на один год позволяет отечественным производителям лосося атлантического и форели занять частично освободившийся сегмент рынка.

Таким образом, потенциал для развития товарного рыбоводства на Европейском Севере России есть и он достаточно высок. Большое количество водных объектов позволяет задействовать водные ресурсы для выращивания водных биоресурсов при садковой аквакультуре. Сокращение роста уловов водных биоресурсов и рост потребления рыбы,

водорослей, моллюсков, особенно в свежем и охлажденном виде, формируют рынок аквакультуры.

Вместе с тем, нельзя не отметить ряд негативных факторов, которые, на наш взгляд, сдерживают развитие товарной аквакультуры на Европейском Севере России и импортозамещения в отрасли:

Правовые. Федеральным законом от 02.07. 2013г. №148-ФЗ «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее – Федеральный закон) определены основы правового поля в сфере аквакультуры (в том числе товарной аквакультуры), учитывающего специфику данного вида хозяйственной деятельности. Аквакультура (рыбоводство) – это деятельность, связанная с разведением и (или) содержанием, выращиванием водных организмов в искусственно созданной среде обитания.

Наряду с этим, очевидна необходимость принятия указанных в Федеральном законе 27 подзаконных актов Правительства РФ и нормативно-правовых актов Минсельхоза России, которыми будут урегулированы вопросы водопользования для целей аквакультуры порядок организации и проведения торгов (конкурсов, аукционов) на право заключения договора пользования рыбоводным участком, объем подлежащих изъятию объектов аквакультуры, особенности разведения племенных объектов аквакультуры, ветеринарии и карантина растений в области аквакультуры и другие вопросы. Ко времени подготовки статьи принята часть нормативно-правовых актов, оставшаяся часть проходит общественное обсуждение.

Следует подчеркнуть, что до момента урегулирования подзаконными актами отношений в сфере аквакультуры, предприятия находятся в положении правовой неопределенности, особенно в вопросах инвестирования средств в развитие аквакультуры.

Кроме того, Федеральным законом определено, что в случае, если рыбоводному хозяйству предоставлен рыбопромысловый участок для осуществления товарного рыбоводства до дня вступления в силу Федерального закона на основании договора о предоставлении рыбопромыслового участка, этот договор переоформляется без проведения торгов путем заключения договора пользования рыбоводным участком на оставшуюся часть срока действия заключенного ранее договора о предоставлении рыбопромыслового участка. При этом до момента принятия Федерального закона допускалось осуществление товарного рыбоводства без наличия рыбопромыслового участка. Таким образом, хозяйствующим субъектам, занимающимся аквакультурой без предоставления рыбопромыслового участка, необходимо теперь участвовать в торгах для получения рыбоводного участка в пользование, по результатам которых данный участок в пользование может получить иной хозяйствующий субъект.

Финансовые. Выращивание гидробионтов характерно тем, что первая продукция, возможна, как правило, через четыре–пять лет, и только для водорослей этот срок составляет один–два года. Поэтому, чтобы организовать аквакультурное хозяйство, необходимо вложить немалые денежные средства, отдача от которых начнется только через несколько лет. Средний срок окупаемости инвестиционных проектов в аквакультуре составляет шесть–восемь и более лет. Например, осетру до товарного вида требуется четыре года, а до «царского» (он определяется по-старинному: «больше пуда», т.е. 16 кг живого веса) – восемь лет. Для форели и стерляди сроки меньше, но тоже исчисляются годами. Таким образом, нужны либо собственные «длинные деньги», либо «длинные кредиты» под разумные проценты. А это делает весьма затруднительным бизнес в области аквакультуры для небольших фирм и частных предпринимателей. Ставки по кредитам для хозяйствующих субъектов, занимающихся проектами в сфере аквакультуры, составляют около 10–15% в год (по состоянию на сентябрь 2014г.) [13].

Например, по сведениям одной из компаний, инвестирующей в развитие садковой аквакультуры (выращивание форели) в Республике Карелия, инвестиции в проект составили 300 млн. руб., возврат инвестиций ожидается только при выходе на запланированный объем выращивания 5 тыс. т форели в год, срок окупаемости инвестиций составит восемь лет.

По информации другой компании стоимость комплекта оборудования для двух садковых ферм по выращиванию лосося атлантического на побережье Баренцева моря в Мурманской области составила 275 млн. руб. [14] (см. фото 1,2).

Следует отметить, что весь период выращивания объектов аквакультуры хозяйствующий субъект не получает прибыли до момента продажи первой партии рыбы. При этом весь этот период ему необходимо платить налоги, зарплату работникам, оплачивать коммунальные услуги, покупать корма для рыбы и прочее. Кроме того, ввиду неблагоприятных природных факторов рыба может погибнуть до момента достижения товарного веса, что также добавляет рисков в этот вид бизнеса.

Таким образом, длительная окупаемость проектов в сфере аквакультуры, риски, дефицит инвестиционных ресурсов из-за низкой инвестиционной привлекательности существующих рыбоводных хозяйств и высокие ставки по кредитам являются барьерами для развития товарной аквакультуры.

Инфраструктурные. Низкий уровень развития инфраструктуры в районах расположения перспективных водных объектов, в том числе неразвитость дорожной сети, энергетического хозяйства и т.д.; высокая степень износа основных производственных фондов действующих предприятий в сфере аквакультуры. Потребности предприятий аквакультуры в современном качественном оборудовании не обеспечиваются отечественными производителями, что вынуждает российские предприятия импортировать дорогостоящее оборудование иностранного производства.

Технологические, вызывающие, в частности, болезни культивируемых объектов. Например, в

Фото 1. Садки с лососем атлантическим в Мурманской области.

Фото 2. Цех первичной переработки рыбы в Мурманской области.

Фотографии с сайта fishnews.ru

Карелии в 2013 г. регистрировались следующие болезни: диплостоматоз, апиозомоз, костиоз, псевдомоноз, флавобактериоз, гиродактилез и инфекционный гемопоэтический некроз лососевых [15]. Несмотря на то, что большинство бактериальных и вирусных инфекций объектов аквакультуры не представляют прямой угрозы здоровью человека, они отрицательно влияют на выживаемость и продуктивность водных биоресурсов, а также реализуемость товара, что приводит к высоким потерям в аквакультуре. Сильна зависимость отечественной аквакультуры от рыбопосадочного материала для выращивания водных биоресурсов и от кормов иностранного производства [16]. В табл. 2 приведены сведения по выращиванию рыбопосадочного материала на Европейском Севере России. Корма для аквакультуры являются сложным и дорогостоящим продуктом, что приводит к конкуренции с животноводством и птицеводством в использовании комбикормов.

Таблица 2

Выращивание рыбопосадочного материала на Европейском Севере России [10]

Наименование субъекта РФ	Выращено рыбы, т		
	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Республика Карелия	8 434	4 500	5 700
Республика Коми	26	23	25
Архангельская область	1	2	3
Ненецкий автономный округ	0	0	0
Вологодская область	0	0	60
Мурманская область	11	9	10

Экологические проблемы. Связаны с качеством среды выращивания гидробионтов, большая часть которых сосредоточена в прибрежных водах и пресноводных водоемах, чаще подверженных антропогенному загрязнению.

Недостаток квалифицированных кадров. Они должны обладать знаниями современных технологий создания и управления проектами в соответствующей сфере, продвижения продукции на рынке и имеющего опыт выращивания водных биоресурсов с использованием современных технологий.

Нельзя не отметить, что региональные и федеральные органы власти предпринимают меры для преодоления сдерживающих факторов развития товарной аквакультуры. На региональном уровне, например, принимаются различные меры государственной поддержки в зависимости от приоритетов субъектов РФ и наличия финансовых ресурсов. Основным направлением поддержки выступает субсидирование процентных ставок по привлеченным кредитам. Так, в Мурманской области в 2015 г. предусмотрено выделение 14 млн. руб. на поддержку товарной аквакультуры по следующим направлениям:

– субсидирование процентных ставок по привлеченным краткосрочным кредитам и долгосрочным кредитам для целей аквакультуры;

– развитие системы страхования рисков в аквакультуре;

– субсидии на поддержку племенного рыбоводства;

– субсидирование процентных ставок по привлеченным кредитам на приобретение кормов, ветеринарных препаратов, рыбопосадочного материала, на закупку сырья для первичной и промышленной переработки продукции рыбоводства, закупку рыбоводной продукции, оплату транспортных услуг, связанных с производством рыбоводной продукции;

– осуществление НИР по сохранению и пополнению запасов лососевых видов рыб [17].

В Республике Карелия предусмотрено выделение 3,8 млн. руб. на выплату субсидий на возме-

щение части затрат на уплату процентов по краткосрочным и инвестиционным кредитам. В 2016 г. планируется выделение 1,3 млн. руб. на субсидии для возмещения части затрат организаций, осуществляющих разведение одомашненных видов и пород рыб, по уплате страховых премий по договорам страхования и 0,3 млн. руб. на проведение НИОКР в области аквакультуры [18] (см. фото 3, 4).

Фото 3. Садки с форелью, Республика Карелия.

С сайта kala-ranta.ru/fish/

Фото 4. Инкубационно-выростное хозяйство, Республика Карелия.

с сайта www.virtaspb.ru/ivk/

Архангельской областью, например, предусмотрено выделение грантов на развитие организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств (индивидуальных предпринимателей), осуществляющих товарное рыбоводство в размере 1,4 млн. руб. [19] (см. фото 5, 6).

Фото. 5. Садки с форелью, оз. Холмовское, Архангельская область.

Фото. 6. Садки с форелью, оз. Пикалево, Архангельская область.

Фотография №6 с сайта vk.com/club17910563

Правительством Республики Коми в 2015 г. выделяется 28 млн. руб.* на выплату субсидий на проведение проектно-изыскательских работ в области рыбоводства, техническое и технологическое перевооружение организациям, строительство и реконструкцию гидротехнических сооружений для нужд рыбоводства, страхование рыбы на выращенную и реализованную на территории Республики Коми молодь прудовой рыбы, а также на уплату процентов по инвестиционным кредитам [20] (см. фото 7,8).

В Вологодской области планируют направить в 2016 г. 1,5 млн. руб. субсидий на возмещение части затрат на приобретение посадочного материала форели для развития садковых форелевых хозяйств [21].

При этом органами власти указанных субъектов РФ предусматриваются и иные меры, направленные на поддержку товарной аквакультуры.

На федеральном уровне поддержка товарного рыбоводства в рамках отраслевой программы «Развитие товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) в Российской Федерации на 2015-2020 годы» предполагается осуществлять по следующим направлениям:

* Размер средств, выделяемых на поддержку товарного рыбоводства, может изменяться с течением времени.

Фото 7. Садки с форелью, Кажимское водохранилище, Республика Коми.

Фото 8. Садки с форелью, пос. Нювчим, Республика Коми.

Фотографии с сайта komiryba.ru

– реализация противоэпизоотических мероприятий при разведении одомашненных видов и пород рыб;

– субсидирование содержания племенного маточного поголовья рыб;

– осуществление мелиоративных мероприятий на прудах, используемых в целях рыбоводства;

– субсидирование расходных обязательств субъектов РФ, связанных с возмещением части затрат заемщиков по кредитным договорам, направленных на приобретение кормов и рыбопосадочного материала; на приобретение техники, транспортных средств и оборудования для разведения и (или) содержания, выращивания объектов аквакультуры; приобретение оборудования для переработки объектов аквакультуры и холодильного оборудования; приобретение специализированных судов; строительство, реконструкцию и/или модернизацию рыбоводной инфраструктуры, включая производство кормов для аквакультуры, а также на иные цели развития аквакультуры и переработки объектов аквакультуры.

На финансирование федеральных мер поддержки товарного рыбоводства в 2015 г. Росрыболовством предусмотрено выделение 570 млн. руб. [10]. В целом планируется, что в результате развития товарной аквакультуры в 2020 г. будет выращено в РФ 315 тыс. т рыбы, из них 92 865 т на Европейском Севере России (30% от общего объема). При этом 98% выращенной рыбы на Европейском Севере будет приходиться на лососевые виды. Объемы выращивания товарной рыбы по субъектам РФ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Планируемые объемы выращивания товарной рыбы на Европейском Севере России [10]

Наименование субъекта РФ	Планируется вырастить рыбы, т	
	2015г.	2020г.
Республика Карелия	15 000	22 000
Республика Коми	400	580
Архангельская область	200	400
Ненецкий автономный округ	0	0
Вологодская область	215	1 180
Мурманская область	30 470	68 705

Согласно данным Департамента рыболовства и аквакультуры ФАО, в 2010 г. в сфере товарной аквакультуры выращено 60 млн. т рыбы общей стоимостью 119,4 млрд. дол. США в ценах производителей, т.е. 1 т выращенной рыбы = 1990 дол. США [22]. Так, примерная стоимость 92 865 т товарной рыбы, планируемой к выращиванию на Европейском Севере России, составит 184,8 млн. дол. США в ценах 2010 г. В Норвегии и Чили – лидерах искусственного выращивания водных биоресурсов (лосось атлантический, форель) – среднегодовой объем производства среди рыбоводов в 2010 г. равнялся 187 т и 35 т на одного работника соответственно [22]. В среднем – 111 т продукции товарной аквакультуры на одного рыбовода. Таким образом, увеличение объема выращивания товарной аквакультуры до 93 тыс. т рыбы к 2020 г. потребует дополнительного создания около 420 рабочих мест в рыбоводной сфере и около 1260 рабочих мест в смежных отраслях (переработка, упаковывание, сбыт и распространение, изготовление оборудования, научные разработки и др.). Причем, это в основном малые и средние предприятия.

Ввиду недостаточности действующих направлений поддержки, целесообразно принять на федеральном уровне дополнительные меры по развитию товарной аквакультуры на Европейском Севере России и реализации имеющегося потенциала отрасли. Прежде всего представляется необходимым:

1. Обеспечить в тесном взаимодействии с представителями бизнеса формирование целостного нормативно-правового поля в сфере аквакультуры, определяющего открытые и четкие «правила игры».

2. Провести научные исследования с целью определения:

– необходимых отечественному рынку объемов аквакультуры, обеспечивающих рост потреб-

ления населением водных биоресурсов и продовольственную безопасность (доля отечественной рыбной продукции должна быть не менее 80%, согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ) [23];

– направлений и конкретных размеров государственной поддержки проектов в сфере товарной аквакультуры.

3. Использовать гранты для финансирования научных исследований в области разработки и совершенствования отечественных технологий аквакультуры, селекции и генетики объектов аквакультуры.

4. Разработать программы обучения специалистов в сфере аквакультуры и выделить бюджетные места для них в учебных заведениях, в том числе находящихся в ведении Росрыболовства.

5. Разработать правовые и экономические механизмы софинансирования региональных программ по развитию рыбохозяйственных кластеров полного цикла аквакультуры (от выращивания водных биоресурсов до их переработки).

6. Снизить таможенные платежи на ввоз оборудования для выращивания водных биоресурсов, аналоги которого не производятся в России, и рыбопосадочный материал до момента появления отечественных производителей такой продукции.

7. Разработать комплекс мер обеспечения государственной поддержки страхования объектов аквакультуры.

Реализация действующих и введение дополнительных мер государственной поддержки будет способствовать:

– Формированию целостного комплекса в сфере товарной аквакультуры на Европейском Севере России: научные разработки – подготовка кадров – технологии и оборудование – рыбопосадочный материал – корма – выращивание объектов аквакультуры – рыбопереработка и хранение – продажи водных биоресурсов. Важно подчеркнуть целесообразность формирования и развития всех ключевых сегментов отрасли в России, прежде всего с позиции импортозамещения, так как исключение одного или нескольких сегментов в товарной аквакультуре приведет к угрозе стагнации всей отрасли.

– Повышению занятости и закреплению местного населения в арктических и северных районах России.

– Повышению потребления рыбной продукции населением страны и доведения уровня потребления рыбопродукции до биологических норм.

– Увеличению налоговых поступлений в бюджеты всех уровней.

– Развитию отечественного производства оборудования для выращивания водных биоресурсов, кормов, рыбопосадочного материала.

– Замещению импортной рыбопродукции отечественными поставками.

Литература

1. *«SustainAqua»* – «Интегрированный подход к устойчивой и здоровой пресноводной аквакультуре». Справочник «SustainAqua» – Справочник для устойчивой аквакультуры, 2009.
2. *Брайнбалле Я.* Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения // Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы. Копенгаген, 2010.
3. *Лагуткина Л.Ю., Лагуткин О.Ю.* Аквакультура: приоритеты, ресурсы, технологии // Вестник АГТУ. Серия. Рыбное хозяйство. 2010. Вып. №1.
4. *Halwart M., Soto D., Arthur J.R.* (редакторы) Садковая аквакультура – Региональные обзоры и всемирное обозрение: Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству. № 498. Рим: ФАО, 2010.
5. *Анализ национальной инновационной* системы Норвегии, 2013г., Астана — URL: http://www.nif.kz/our_activities/international_cooperation/%5B2013-11-05%5D_1.pdf (дата обращения 17.02.2015г.).
6. *Стенограмма парламентских* слушаний Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии на тему «Совершенствование мер государственной поддержки аквакультуры в Российской Федерации», 2014г.
7. *Стратегия развития* аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная Минсельхозом России 10.09.2007г. — URL: http://www.mcx.ru/documents/document/show/12208.77.htm (дата обращения 20.09.2014 г.).
8. *Марковцев В.Г.* Рыболовство и аквакультура мира — URL: http://www.fishnews.ru/mag/articles/4800 (дата обращения 20.09.2014).
9. *Основные показатели* госпрограммы Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса» — URL: http://fish.gov.ru/activities/Pages/ Gosprogramma.aspx (дата обращения 21.09.2014 г.).
10. *Отраслевая программа* «Развитие товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) в Российской Федерации на 2015–2020 годы», утвержденная Министерством сельского хозяйства РФ от 16.01.2015г. №10 — URL: http://fish.gov.ru/presscentre/news/Pages/news3089.aspx (дата обращения 26.01.2015г.).
11. *Природно-ресурсный потенциал* Мурманской области — URL: http://helion-ltd.ru/resource-potential-mur-2025/ (дата обращения 20.01.2015г.).
12. *Информационный бюллетень* о состоянии водных объектов, дна, берегов водных объектов, их морфометрических особенностей, водоохранных зон водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических сооружений по Двинско-Печорскому бассейновому округу, относящемуся к зоне деятельности Двинско-Печорского бассейнового водного управления за 2011 год—URL: http://www.fgudvina.ru/images/stories/Newsletter%202011.pdf (дата обращения 19.01.2015г.).

13. *Рыба плывет* к деньгам — URL: http://www.Kommersant.ru/doc/2428683 (дата обращения 20.09.2014).
14. *«Русское море»* закупает оборудование для двух новых лососевых ферм в Баренцевом море — URL: http://www.russianseagroup.ru/index.php?id=80&tx_ttnews%5Btt_news%5D=412&... (дата обращения 20.01.2015г.).
15. *О ветеринарном сопровождении* проектов по разведению аквакультуры в Российской Федерации (г. Мурманск, 19-21 мая 2014г.) — URL: http://fish.gov.ru/activities/Documents/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5_%D0%B0%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D1%8F%D1%81_%D0%92%D0%9D.pdf (дата обращения 17.02.2015г.).
16. *Васильев А.М.* Перспективы товарного выращивания лососевых на Европейском Севере России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2014. Т. 6. № 43.
17. *Государственная программа* Мурманской области «Развитие рыбохозяйственного комплекса», утвержденная постановлением Правительства Мурманской области от 30.09.2013г. N561-ПП — URL: http://rybo-lovstvo.gov-murman.ru/documents/programs (дата обращения 23.01.2015г.).
18. *Государственная программа* Республики Карелия «Развитие агропромышленного комплекса и охотничьего хозяйства Республики Карелия на 2013–2020 годы», утвержденная распоряжением Правительства Республики Карелия от 18.01.2013г. №36р-П — URL: http://www.gov.karelia.ru/Different/rprogramms.html (дата обращения 23.01.2015г.).
19. *Государственная программа* развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Архангельской области на 2013 – 2016 гг., утвержденная постановлением Правительства Архангельской области от 09.12.2012г. №436-пп — URL: http://dvinaland.ru/power/departments/depapk/acts/ (дата обращения 25.01.2015г.).
20. *Государственная программа* Республики Коми «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, развитие рыбохозяйственного комплекса в Республике Коми», утвержденная постановлением Правительства Республики Коми от 28.09.2012г. №424. — URL: http://mshp.rkomi.ru/page/10051/ (дата обращения 26.01.2015г.).
21. *Государственная программа* «Развитие агропромышленного комплекса и потребительского рынка Вологодской области на 2013-2020 годы», утвержденная постановлением Правительства Вологодской области от 22.10.2012г. №1222. — URL: http://vologda-oblast.ru/obshchestvennoe_obsuzhdenie_npa/statya/302008/ ?sphrase_id=292572 (дата обращения 26.01.2015г.).
22. *Состояние мирового* рыболовства и аквакультуры. Департамент рыболовства и аквакультуры Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций, Рим, 2012г. — URL: http://www.fao.org/docrep/016/i2727r/i2727r.pdf (дата обращения 16.02.2015г.).
23. *Доктрина продовольственной* безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 30.01.2010г. №120 — URL: http://www.mcx.ru/documents/document/show/12214.19.htm (дата обращения 24.10.2014).

References

1. «*SustainAqua*» - “Integrirovanny podhod k ustoichivoi I zdorovoi presnovodnoi akvakulture” [«*SustainAqua*» - «Integrated approach to steady and healthy fresh-water aquaculture» (2009). Handbook «SustainAqua» - the handbook for steady aquaculture.
2. *Branballe Ya.* Rukovodstvo po akvakulture v ustanovkah zamknutogovodosnabzheniya // Vvedenie v novie ekologicheskie I vysokoproduktivnye zamknutye rybovodnye sistemy [Aquaculture management in installations of the closed water supply // Introduction in new ecological and highly productive closed fish-breeding systems]. Copenhagen, 2010.
3. *Lagutkina L. Yu, Lagutkin O. Yu.* Akvakultura: prioritety, resursy, tehnologii [Aquaculture: priorities, resources, technologies]//Bull. Of ASTU. Series of Fish economy, Issue 1, 2010.
4. *Halwart, M.; Soto, D.; Arthur, J.R. (Editors).* Sadkovaya akvakultura – Regionalniye obzory I vsemirnoe obozrenie: Tehnicheskii doklad FAO po rybnomu hozyaistvu [Hatchery aquaculture – Regional reviews and the world review: The technical report of FAO on fishery. No. 498. Rome, FAO. 2010.
5. *Analiz nacionalnoi innovacionnoi* sistemy Norvegii, 2013 g. [The analysis of national innovative system of Norway, 2013], Astana – URL: http://www. Nif.kz/our_activities/international_cooperation/%5B2013-11-05%5D_1.pdf (accessed 17.02.2015).
6. *Stenogramma parlamentskih* slushanii Komiteta Gosudarstvennoi Dumy po prirodnym resursam, prirodopolzovaniyu I ekologii na temu “Sovershenstvovanie mer gosudarstvennoi podderzhki akvakultury v Rossiiskoi Federacii [*The shorthand report* of parliamentary hearings of Committee of the State Duma on Natural Resources, Environment and Ecology on «Perfection of measures of the state support of aquaculture in the Russian Federation», 2014.
7. *Strategiya razvitiya* akvakultury v Rossiiskoi Federacii na period do 2020 goda, utverzhdennaya Minselkhozom Rossii 10.09.2007 g. [*Development strategy* of aquaculture in the Russian Federation for the period till 2020, approved by the Ministry of Agriculture of Russia 10.09.2007. – URL: http://www.mcx.ru/documents/document/show/12208.77.htm (accessed – 9/20/2014).

8. *Markovtsev V.G.* Rybolovstvo I akvakultura mira [Fishery and the world aquaculture] – URL: http://www.fishnews.ru/mag/articles/4800 (accessed – 9/20/2014).
9. *Osnovnie pokazatali* gosprogrammy Rossiiskoi Federacii "Razvitie rybohozyaistvennogo kompleksa" [*The basic indicators* of the Russian Federation state program «Development of fishery complex» - URL: http://fish.gov.ru/activities/Pages/Gosprogramma.aspx (accessed – 9/21/2014).
10. *Otraslevaya programma* "Razvitie tovarnoi akvakultury (tovarnogo proizvodstva) v Rossiiskoi Federacii na 2015-2020 gody", utverzhdennaya Ministerstvom selskogo hozyaistva RF ot 16.01.2015 g. No.10 [*The branch program* «Development of commodity aquaculture (commodity fish culture) in the Russian Federation for 2015-2020», approved by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 16.01.2015. №10 – URL: http://fish.gov.ru/presscentre/news/Pages/news3089.aspx (accessed 26.01.2015).
11. *Prirodno-resursnii potencial* Murmanskoi oblasti [*Natural-resource* potential of Murmansk region] – URL: http://helion-ltd.ru/resource-potential-mur-2025/ (accessed – 20.01.2015).
12. *Informacionnii byulleten'* o sostoyanii vodnykh ob'ektov, dna, beregov vodnykh ob'ektov, ih morfometricheskih osobennostei, vodoohrannykh zon vodnykh ob'ektov, kolichestvennykh I kachestvennykh pokazatelei sostoyaniya vodnykh resursov, sostoyaniya vodohozyaistvennykh system, v tom chisel gidrotehnicheskikh sooruzhenii po Dvinsko-Pechorskomu basseinovomu okrugu, otnosyaschemusya k zone deyatelnosti Dvinsko-Pechorskogo basseinovogo vodnogo upravleniya za 2011 god *[Information bulletin* on a condition of water objects, bottom, banks of water objects, their morphometric features, water protection zones of water objects, quantitative and quality indicators of condition of water resources, condition of water management systems, including hydraulic engineering constructions on Dvina-Pechora basin area referring to the zone of activity of Dvina-Pechora basin water management for 2011] – URL: http://www.fgudvina.ru/images/stories/Newsletter%202011.pdf (accessed – 19.01.2015).
13. *Ryba plyvet k den'gam [Fish floats to money]* – URL: http://www.kommersant.ru/doc/2428683 (accessed – 9/20/2014).
14. *"Russkoe more"* zakupaet oborudovanie dlya dveh novykh lososevykh ferm v Barencevom more [*«Russian sea»* buys the equipment for two new salmon farms in the Barents Sea] – URL: http://www.russianseagroup.ru/index.Php?id=80&tx_ttnews%5Btt_news%5D=412&... (accessed – 20.01.2015).
15. *O veterinarnom soprovozhdenii* proektov po razvedeniyu akvakultury v Rossiiskoi Feddracii [*About veterinary* support of projects on cultivation the aquaculture in the Russian Federation] (Murmansk, May 19-21, 2014) – URL: http://fish.gov.ru/activities/Documents/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5_%D0%B0%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D1%8F%D1%81_%D0%92%D0%9D.pdf (accessed – 17.02.2015).
16. *Vasilyev A.M.* Prespektivy tovarnogo vyraschivaniya lososevykh na Evropeiskom Severe Rossii // Sever I rynok: formirovanie ekonomicheskogo poryadka [Prospects of commodity cultivation of salmon in the European North of Russia//the North and the market: formation of an economic order], Vol. 6, № 43, 2014.
17. *Gosudarstvennaya programma* Murmanskoi oblasti "Razvitie rybohozyaistvennogo kompleksa", utverzhdennaya postanovleniem Pravitelstva Murmanskoi oblasti ot 30.09.2013 g. No. 561-PP [The state program of Murmansk region «Development of fishery complex», approved by the government order of Murmansk region of 30.09.2013. N561-PP] – URL: http://rybolovstvo.gov-murman.ru/documents/programs (accessed – 23.01.2015.).
18. *Gosudarstvennaya programma* Respubliki Karelia "Razvitie agropromyshlennogo kompleksa I ohotnich'ego hozyaistva Respubliki Karelia na 2013-2020 gody", utverzhdennaya rasporyazheniem Pravitelstva Respubliki Karelia ot 18.01.2013 g. No. 36p-P [The state program of the Republic of Karelia «Development of agriculture and the hunting economy of the Karelia Republic for 2013-2020», approved by the government order of Karelia Republic of 18.01.2013 №36p-P] – URL: http://www.gov.karelia.ru/ Different/ rprogramms.html (accessed – 23.01.2015).
19. *Gosudarstvennaya programma* razvitiya selskogo hozyaistva I regulirovaniya rynkov selskohozyaistvennoi produkcii, syrya I prodovolstviya Arhangelskoi oblasti na 2013-2016 gg., unverzhdennaya postenovleniem Pravitelstva Arhangelskoi oblasti ot 09.12.2012 g. No. 436-pp [The state program of development of agriculture and markets regulation of agricultural products, raw materials and the foodstuffs of the Arkhangelsk region for 2013 – 2016, approved by the government order of the Arkhangelsk region of 09.12.2012. №436-rr] – URL: http://dvinaland.ru/power/departments/depapk/acts/ (accessed – 25.01.2015).
20. *Gosudarstvennaya programma* Respubliki Komi "Razvitie selskogo hozyaistva I regulirovaniya rynkov selskohozyaistvennoi produkcii, syrya I prodovolstviya, razvitie rybohozyaistvennogo kompleksa v Respublike Komi", unverzhdennaya postenovleniem Pravitelstva Respubliki Komi ot 28.09.2012 g. No. 424 [*The Komi Republic* state program «Development of agriculture and regulation of markets of agricultural products, raw materials and the foodstuffs, development of fishery complex in the Komi Republic», approved by the government order of the Komi Republic of 28.09.2012,

№424. – URL: http://mshp.rkomi.ru/page/10051/ (accessed – 26.01.2015).
21. *Gosudarstvennaya programma* "Razvitie agropromyshlennogo kompleksa I potrebitelskogo rynka Vologodskoi oblasti na 2013-2020 gody", utverzhdennaya postenovleniem Pravitelstva Vologodskoi oblasti ot 22.10.2012 g. No.1222 [The state program «Development of agricultural complex and the consumer market of Vologda region for 2013-2020», approved by the government order of Vologda region of 22.10.2012, № 1222]. – URL: http://vologda-oblast.ru/obshchestvennoe_obsuzhdenie_npa/statya/302008/? Sphrase_id=292572 (accessed – 26.01.2015).
22. *Sostoyanie mirovogo* rybolovstva I akvakultury. Departament rybolovstva I akvakultury Prodovolstvennoi I selskohozyaistvennoi Organizacii Ob'edinennykh Nacii [C*ondition of world* fishery and aquaculture. Department of fishery and aquaculture of the Food and agricultural United Nations Organization, Rome, 2012. – URL: http://www.fao. org/docrep/016/i2727r/i2727r.pdf (accessed-16.02. 2015).
23. *Doktrina* prodovolstvennoi bezopasnosti Rossiiskoi Federacii, utverzhdennaya Ukazom Prezidenta RF ot 30.01.2010g. No. 120 [The *doctrine of food* safety of the Russian Federation, approved by the decree of the President of the Russian Federation of 30.01.2010 №120 – URL: http://www. Mcx. Ru/documents/document/show/12214.19.htm (accessed – 10/24/2014).

Статья поступила в редакцию 17.04.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 574.24; 575.2.084

ВЛИЯНИЕ ОСТРОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА *TRADESCANTIA* (CLON 02), ОБЛУЧЕННЫХ В МАЛЫХ ДОЗАХ γ- ИЗЛУЧЕНИЯ

А.А. ХОМИЧЕНКО, В.Г. ЗАЙНУЛЛИН

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

Изучено влияние хронического и острого гамма-облучения на показатели развития генеративных побегов и частоту соматических («розовых») мутаций в волосках тычиночных нитей Tradescantia (клон 02). Показано, что предварительное хроническое облучение соцветий традесканции не приводит к устойчивости растений при последующем облучении в большой дозе.

Ключевые слова: **традесканция, облучение, малые дозы, зависимость, мутации**

A.A. KHOMICHENKO, V.G. ZAINULLIN. **EFFECTS OF ACUTE IRRADIATION ON TRADESCANTIA (CLONE 02) IRRADIATED AT LOW DOSES OF γ- RADIATION**

The influence of chronic and acute gamma irradiation on indicators of development of generative shoots and the frequency of somatic ("pink") mutations in the stamen hairs of the filaments of Tradescantia (clone 02) were studied. It is shown that preliminary chronic exposure of inflorescences of tradescantia does not lead to plant resistance to subsequent irradiation at high doses.

Keywords: **Tradescantia, irradiation, small doses, dependence, mutations**

В результате деятельности человека появляется значительное число территорий, загрязненных радионуклидами, что приводит к увеличению уровня радиационного фона биосферы. Это обуславливает необходимость тщательного изучения генетических последствий повышенного радиационного фона для биоты и механизмов микроэволюционных событий в условиях хронического действия ионизирующего излучения [1 – 3].

В настоящее время разработаны концепции о различных механизмах чувствительности организма к действию агента в больших и малых дозах [2,4,5]. Можно говорить, что наблюдаемые эффекты после облучения в малых дозах не являются артефактом и отражают работу механизмов, обеспечивающих устойчивость и адаптацию биологических систем к меняющимся условиям внешней среды. В данной работе предпринята попытка оценить последствия облучения в острой дозе для растений традесканции, предварительно облученных в малых дозах. Изучение этих механизмов имеет важное теоретическое и прикладное значение и может быть обозначено как одна из целей радиоэкологии.

Материал и методы

В работе использованы гибридные растения *Tradescantia occidentals Pritton ex Rydb. u Tradescantia ohiensis Raf.* (Tradescantia клон 02). Все соцветия были получены в летний период. Перед облучением срезы с соцветиями помещали в дистиллированную воду и через 17 ч облучали от источника с ^{226}Ra. Облучение проводилось в режиме постоянной экспозиции 20 ч при разных мощностях в дозах: 0.4 сГр (0.02 сГр/ч); 1.0 сГр (0.05 сГр/ч); 2.3 сГр (0.115 сГр/ч) ; 4.86сГр (0.243 сГр/ч) ; 7.0 сГр (0.35 сГр/ч); 13.5 сГр (0.665 сГр/ч); 23.2 сГр (1.4 сГр/ч). Через 50 мин после завершения пролонгированного (хронического) облучения соцветия облучались в дозе 150 сГр от источника с ^{60}Co, время облучения составляло 2 мин (2.5 сГр/с). Эффекты облучения оценивали с 6-го по 21-й день после облучения на тест-системе «розовые соматические мутации (РСМ) в волосках тычиночных нитей (ВТН)» [6]. Частоту нарушений подсчитывали как отношение мутантных событий к количеству волосков тычиночных нитей.

Результаты и обсуждение

В предварительных экспериментах было показано, что при остром γ-облучении в дозе 150 сГр целого среза Tradescantia (клон 02) развивающийся радиационный стресс ведет к снижению интенсивности цветения. В связи с этим провокационному (острому) облучению подвергались только соцве-

тия. Средний возраст использованных нами соцветий составлял три – четыре месяца.

Хроническое облучение во всем исследуемом диапазоне накопленных доз не привело к изменению соцветий. Последующее острое облучение во всех вариантах приводило к развитию эффектов, сходных с радиационным поражением соцветий. Оно проявлялось в образовании бутонов и цветков, не пригодных для учета количества ВТН и частоты РСМ. Эффект наблюдался и в конце второй, начале третьей недели после облучения, когда отмечается максимальный выход радиоиндуцированных нарушений. Значение среднего числа ВТН на соцветие может объективно отражать наблюдаемый эффект. Среднее число ВТН на соцветие достигало минимальных значений при предоблучении в наименьших дозах 0.4 и 1.0 сГр (см. таблицу). Статистический анализ количества ВТН показал, что дополнительное облучение в дозе 150 сГр приводит к значимому подавлению развития генеративных органов растений ($p<0.05$).

Изменение волосков числа тычиночных нитей и частоты розовых соматических мутаций после пролонгированного облучения в разных дозах и дополнительного облучения в острой дозе

Пролонгированное облучение в дозе, сГр	Среднее число ВТН на соцветие		Частота РСМ, %	
	Без острого облучения	Облучение в дозе 150 сГр	Без острого облучения	Облучение в дозе 150 сГр
Контроль	1099.9	791.4±658.1	0.112±0.016	8.49±0.33
0.4	695.2	279.0±174.0	0.143±0.048	7.56±0.46
1.0	1025.2	234.4±212.4	0.182±0.034	6.74±0.52
2.3	1263.4	719.1±286.9	0.094±0.022	8.51±0.33
4.86	754.6	743.8±200.0	0.381±0.079	7.90±0.30
7.0	859.1	446.3±328.3	0.261±0.044	7.57±0.42
13.5	1359.0	375.4±315.5	0.323±0.069	6.39±0.42
23.2	957.9	493.6±368.5	0.731±0.104	8.51±0.38

Хроническое облучение приводит к росту частоты «розовых» мутаций, коэффициент линейной аппроксимации $R^2 = 0{,}64$. Однако с большей вероятностью зависимость выхода от дозы описывается уравнением третьей степени ($R^2 = 0{,}83$), т.е. можно говорить о «нелинейности» зависимости частоты мутаций от накопленной дозы облучения. Дополнительное острое облучение привело к значительному повышению частоты «розовых» мутаций в сравнении с уровнем вариантов пролонгированного облучения. Анализ данных частот не выявил какой-либо зависимости ($R^2 = - 0{,}10$). Более того, в вариантах с предоблучением в дозах 1.0 и 13.5 сГр снижение частоты розовых соматических мутаций носило статистически значимый характер.

Меристемы являются критическими тканями растений, их состояние определяет характер и исход радиационного поражения. Ранее нами было показано, что облучение в малых дозах приводит к дисбалансу содержания растительных гормонов в клетках меристемы традесканции, и предполагалась возможность непрямого, опосредованного гормональным дисбалансом, действия малых доз на стабильность генотипа [7]. Следствием такого дисбаланса явилась нестабильность в частоте мутантных событий, выявленная в нелинейной зависимости выхода нарушений от дозы.

Заключение

Облучение в больших дозах (150 сГр) приводит не только к существенному повышению частоты мутантных событий, но и к подавлению развития соцветий. Можно предположить, что повреждения, индуцированные облучением в дозе 150 сГр, являются следствием прямого, поражающего действия радиации, а предварительное облучение в малых дозах не привело к повышению радиоадаптации.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН (грант №0414-2015-0024).

Литература

1. *Шевченко В.А., Печкуренков В.Л., Абрамов В.И.* Радиационная генетика природных популяций. Генетические последствия Кыштымской аварии. М.: Наука, 1992. 221 с.
2. *Гераськин С.А.* Концепция биологического действия малых доз ионизирующего излучения на клетки // Радиац. биол. Радиоэкол. 1995. Т. 35. Вып. 5. С. 571 – 580.
3. *Зайнуллин В.Г.* Генетические эффекты хронического облучения в малых дозах ионизирующего излучения. СПб.: Наука, 1998. 100 с.
4. *Бурлакова Е.Б.* Эффект сверхмалых доз // Вестник РАН. 1994. Т.64. №5. С. 425 – 431.
5. *Зайнуллин В.Г.* "Доза-эффект" в исследовании эффектов малых доз радиации // Радиочувствительность растений и животных биогеоценозов с повышенным естественным фоном радиации. Сыктывкар, 1988. С. 93–97 (Тр. Коми НЦ УрО АН СССР; № 97).
6. *Sparrow A.H., Undenbrink A.G., Ross H.H.* Mutations induced in Tradescantia by small doses of X rays and neutrons: analysis of dose-response curves// Science. 1972. Vol. 176. P. 916–918.
7. *Хомиченко А.А., Скоробогатова И.В., Карсункина Н.П., Зайнуллин В.Г.* Гормональные и генетические эффекты, индуцированные облучением в малых дозах у Tradescantia (клон 02) // Радиац. биол. Радиоэкол. 2007. Т.47. №.5. С.578–583.

References

1. *Shevchenko V.A., Pechkurenkov V.L., Abramov V.I.* Radiatsionnaya genetika prirodnykh populyatsii. Geneticheskie posledstviya Kyshtymskoi avarii [Radiation genetics of natural populations. Genetic studies of Kyshtym accident]. Moscow: Nauka, 1992. 221 p.
2. *Geras'kin S.A.* Kontseptsiya biologicheskogo deistviya malykh doz ioniziruyushchego izlucheniya na kletki // Radiats. biol. Radioekol. [The concept of biological action of low doses of ionizing radiation on cells// Radiation biology. Radioecology]. 1995. Vol. 35. P. 571-580.

3. *Zainullin V.G.* Geneticheskie effekty khronicheskogo oblucheniya v malykh dozakh ioniziruyushchego izlucheniya [Genetic effects of chronic exposure to low doses of ionizing radiation]. St.-Petersburg: Nauka, 1998. 100 p.
4. *Burlakova E.B.* Effekt sverkhmalykh doz // Vestnik RAN [The effect of ultra-low doses // Bull. of RAS]. 1994. Vol. 64. No.5. P. 425-431.
5. *Zainullin V.G.* "Doza-effekt" v issledovanii effektov malykh doz radiatsii // Radiochuvstvitel'nost' rastenii i zhivotnykh biogeotsenozov s povyshennym estestvennym fonom radiatsii ["Dose-effect" in the study of the effects of small doses of radiation // Radiosensitivity of plants and animals biogeocenoses with increased natural radiation background]. Syktyvkar, 1988. No. 97. P. 93-97 (Proc. of Komi Sci.Centre, Ural Branch, RAS).
6. *Sparrow A.H., Undenbrink A.G., Ross H.H.* Mutations induced in Tradescantia by small doses of X rays and neutrons: analysis of dose-response curves // Science. 1972. Vol. 176. P. 916-918.
7. *Khomichenko A.A., Skorobogatova I.V., Karsunkina N.P., Zainullin V.G.* Gormonal'nye i geneticheskie effekty, indutsirovannye oblucheniem v malykh dozakh u Tradescantia (klon 02) // Radiats. biol. Radioekol. [Hormonal and genetic effects induced by exposure to low doses in Tradescantia (clone 02) // Radiation biology. Radioecology]. 2007. Vol. 47. No. 5. P. 578-583.

Статья поступила в редакцию 21.09.2015.

УДК 622.276(470.13)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ

С.М. ДУРКИН, И.Н. МЕНЬШИКОВА

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
durkin@bk.ru, imenshikova@mail.ru

В данной статье рассматривается моделирование горизонтальных скважин, позволяющих вскрыть залежи высоковязких нефтей (ВВН) малой толщины (до 10 м). Построены несколько моделей залежи Ярегской площади Ярегского месторождения с различными толщинами: 10, 20 и 30 м. Смоделированы процессы теплового воздействия на пласт, а именно нагнетание горячей воды и пара. Произведен расчет технологических показателей разработки и сделана оценка экономической эффективности предложенных вариантов.

Ключевые слова: **высоковязкая нефть, залежи малой толщины, термические методы добычи нефти, гидродинамическое моделирование, Ярегское нефтяное месторождение**

S.M. DURKIN, I.N. MENSHIKOVA. FORECASTING OF INDICATORS OF DEVELOPMENT OF HIGH-VISCOSITY OIL POOLS OF SMALL THICKNESS

The modeling of horizontal wells that enable the development of high-viscosity oil pools of small thickness (up to 10 m) is considered. Several hydrodynamic models of oil-pool of Yarega field with different thickness: 10, 20 and 30 m – are created. The processes of thermal action on the bed, namely the injection of hot water and vapor, are simulated. The calculation of technological parameters of the development and the estimation of economic efficiency of the proposed variants with the aim of choosing the optimal variants of development of high-viscosity oil pools of small thickness, are made.

Keywords: **high viscosity oil, oil pools of small thickness, thermal methods of oil recovery, hydrodynamic simulation, Yarega oilfield**

В настоящее время все актуальнее становится проблема вовлечения в более активную разработку огромных ресурсов аномально вязких нефтей. Лабораторные и промысловые исследования показывают, что наиболее эффективной и промышленно освоенной технологией разработки подобных углеводородов являются термические методы добычи нефти.

В качестве достижений отечественной науки можно отметить уникальный термошахтный метод разработки Ярегского месторождения, позволивший увеличить нефтеотдачу пласта с 6 до 60% [1]. Фактор, сдерживающий развитие термошахтной технологии, – большие инвестиции в строительство новых шахт. Поэтому вопрос изучения и применения других технологий является достаточно важным. Залежи Ярегского месторождения характеризуются небольшими толщинами, что затрудняет процесс нефтедобычи. Поэтому следует уделить особое внимание прогнозированию показателей разработки таких залежей с помощью современных гидродинамических симуляторов [2].

В данном проекте рассматривается моделирование горизонтальных скважин, позволяющих вскрыть залежи малой толщины (до 10 м). Построены несколько моделей залежи Ярегской площади Ярегского месторождения с различными толщинами: 10, 20 и 30 м. Смоделированы процессы теплового воздействия на пласт, а именно нагнетание горячей воды и пара. Произведен расчет технологических показателей разработки и сделана оценка экономической эффективности предложенных вариантов. Цель проекта: выбор оптимального варианта разработки залежей ВВН малой толщины.

Прогнозирование показателей разработки проводилось с помощью гидродинамического симулятора Tempest MORE компании ROXAR.

Описание тестовых моделей представлено в табл. 1.

Таблица 1

Описание тестовых моделей

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Теплоноситель	Пар			Горячая вода		
Длина, м	1000					
Ширина, м	50					
Толщина, м	30	20	10	30	20	10
Начальные геологические запасы, тыс.т	313,3	208,8	104,4	313,3	208,8	104,4
Среднесуточная закачка теплоносителя, т/сут	60					
Температура закачиваемого теплоносителя, °С	264					

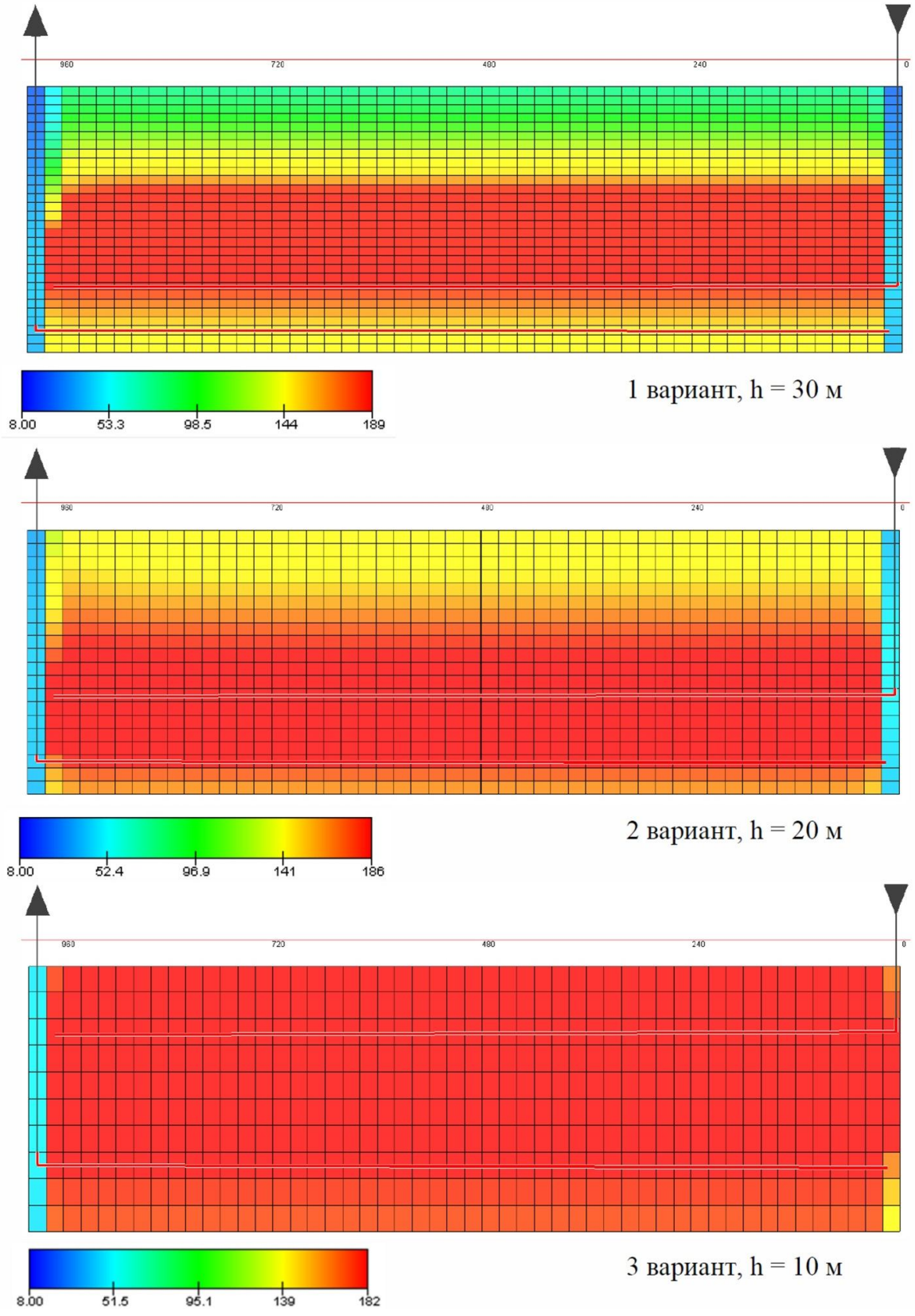


Рис. 1. Распределение температуры при закачке пара через 5 лет моделирования.

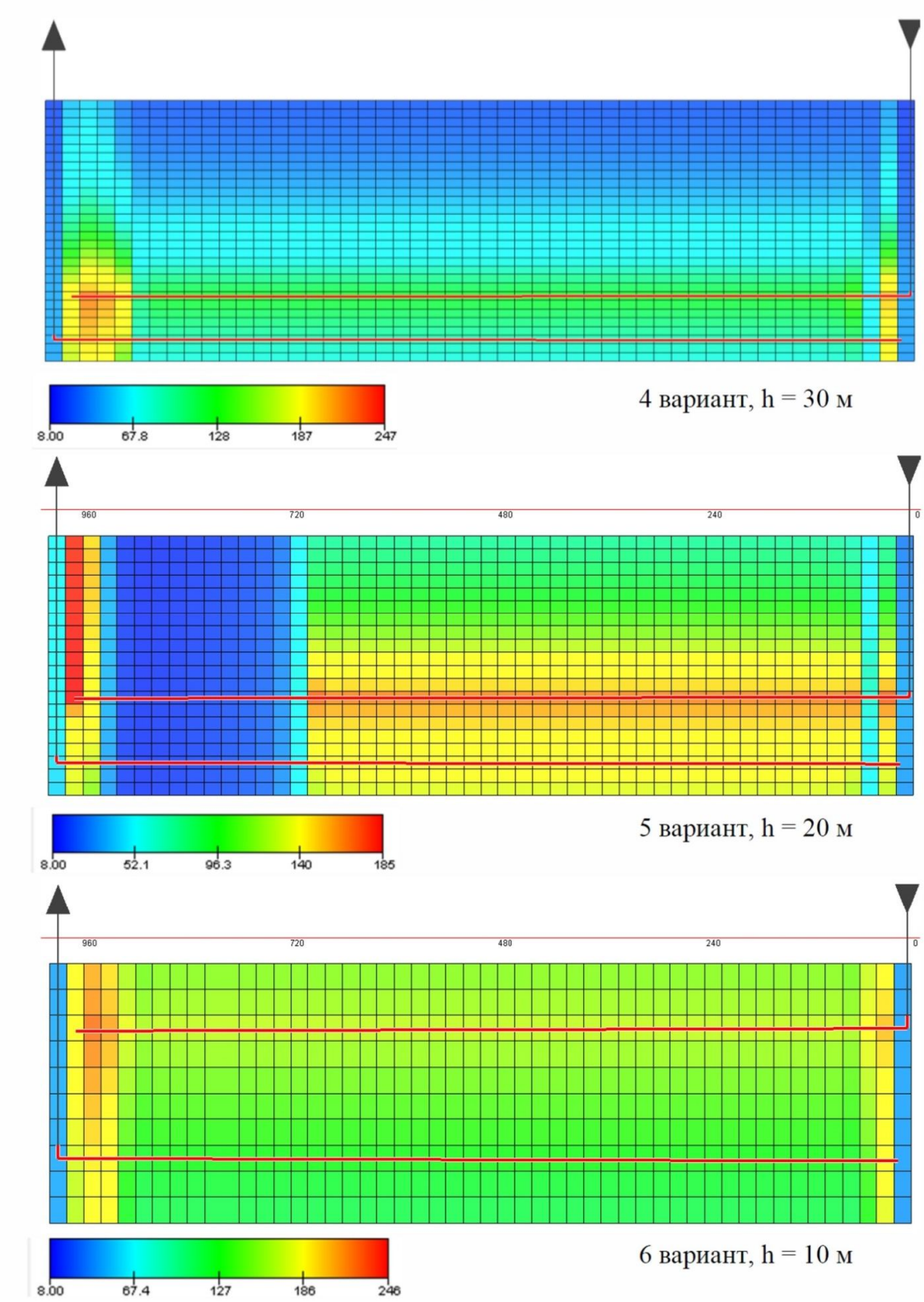


Рис. 2. Распределение температуры при закачке горячей воды через 5 лет моделирования.

Заданы следующие физико-химические свойства флюидов и параметров пласта [1]:

- начальная температура пласта 8^0 С;
- начальное пластовое давление 0,14 МПа;
- абсолютная проницаемость 2.759 мкм^2;
- пористость 0.26 ед.;
- нефтенасыщенность 0.85 ед.;
- коэффициент сжимаемости породы $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ 1/кПа;
- плотность нефти в поверхностных условиях 945 кг/м^3;
- плотность нефти в пластовых условиях 933 кг/м^3;
- объемный коэффициент нефти 1,01 м^3/м^3;
- вязкость нефти в пластовых условиях 12000 мПа·с.

Распределение температуры в моделях при закачке пара (1, 2 и 3 варианты) на конец моделирования представлено на рис. 1, при закачке горячей воды (4, 5 и 6 варианты) – на рис. 2.

Накопленная добыча нефти по вариантам показана на рис. 3.

Так же были рассчитаны значения паронефтяного отношения (ПНО) для 1,2 и 3 вариантов (рис. 4).

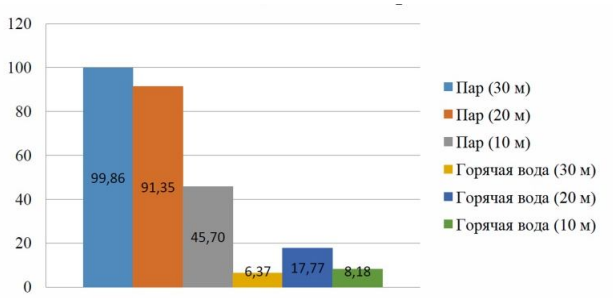


Рис. 3. Накопленная добыча нефти.

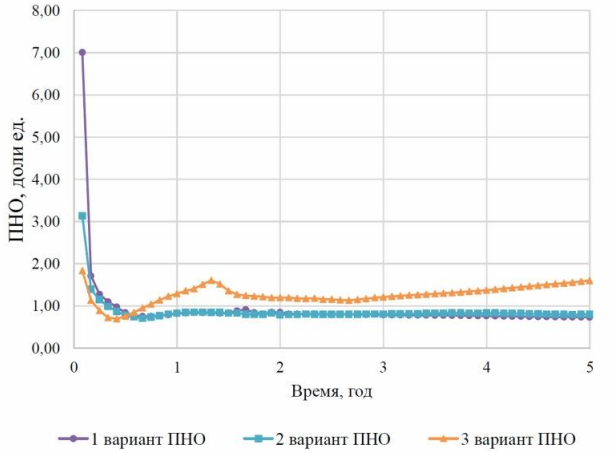


Рис. 4. Паронефтяное отношение.

Таким образом, для модели толщиной 30 м ПНО в начале моделирования принимало максимальное значение, сравнительно с другими вариантами, равное 7,006 ед. По мере прогрева его величина значительно уменьшилась и стала равной 0,732. Высокое значение ПНО в начале моделирования связано с большим объемом пласта и, следовательно, с большими объемами закачки, требующимися для разогрева пласта таких размеров. Что касается модели толщиной 20 м, то значение ПНО по мере прогрева уменьшилось от 3,134 до 0,800.

Для модели, имеющей самую маленькую толщину, в отличие от других вариантов, по мере прогрева пласта ПНО оказалось значительно выше, что может быть связано с малым объемом пласта и быстрым обводнением продукции.

В результате расчета коэффициента извлечения нефти (КИН) для вариантов с закачкой горячей воды значение КИН не превышает 10%, что свидетельствует о низкой эффективности применения данного метода воздействия. Закачка пара в пласт позволяет увеличить значение КИН до 40% (рис. 5).

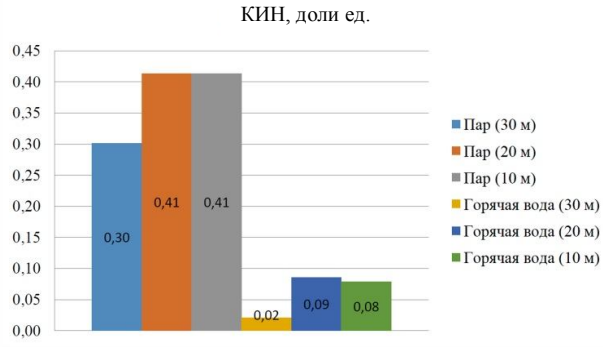


Рис. 5. Коэффициент извлечения нефти.

Для выбора оптимального варианта разработки залежей ВВН малой толщины также был произведен расчет экономической эффективности [3]. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Период окупаемости определен по графику накопленного чистого дисконтированного дохода (ЧДД) (см. рис. 6).

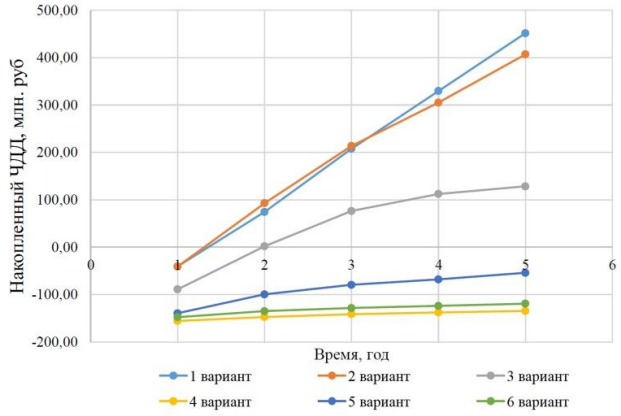


Рис. 6. Накопленный ЧДД.

Выводы и рекомендации

Таким образом, для повышения добычи нефти во всех предложенных вариантах необходимо подбирать объем закачиваемого теплоносителя индивидуально для каждого случая.

При прочих равных условиях закачка пара в пласт оказалась наиболее эффективной при разра-

Таблица 2

Технико-экономические показатели

Показатели	Ед. изм.	Варианты					
		1	2	3	4	5	6
Расчетный период	лет	5	5	5	5	5	5
Объем реализации нефти	тонн	94370	86323	43182	6371	17772	8181
Капитальные затраты	млн. руб.	177,24	295,74	175,24	297,74	295,74	175,24
Выручка от реализации (с НДС)	млн. руб.	1414,23	1293,64	647,13	95,48	266,33	122,60
НДС	млн. руб.	215,73	197,33	98,71	14,56	40,63	18,70
Эксплуатационные затраты без АО	млн. руб.	240,79	220,62	112,47	20,19	48,77	24,73
Амортизационные отчисления	млн. руб.	59,37	99,07	58,70	99,74	99,07	58,70
Налоги, относимые на финансовый результат	млн. руб.	408,38	374,32	187,00	28,57	77,86	35,63
Балансовая прибыль	млн. руб.	882,11	749,53	361,19	-66,29	50,78	4,42
Налог на прибыль	млн. руб.	176,42	149,91	72,24	-13,26	10,16	0,88
Чистая прибыль предприятия	млн. руб.	705,68	599,63	288,95	-53,03	40,62	3,54
Чистый доход	млн. руб.	587,82	402,96	172,42	-251,02	-156,04	-113,00
Дисконтированный ЧД	млн. руб.	451,42	286,68	128,34	-255,77	-174,45	-119,28
Доход государства	млн. руб.	608,01	556,96	278,55	42,40	115,77	53,28
Период окупаемости	год	1,4	1,3	2	5+	5+	5+

ботке залежей ВВН малой толщины, обеспечивая при этом значение коэффициента извлечения нефти на уровне 40%. В то время как значение КИН при закачке горячей воды не превышает 10%.

В результате расчета экономической эффективности выявлено, что варианты с закачкой горячей воды оказались экономически не выгодными и не окупили себя за время моделирования, в то время как срок окупаемости составил один–два года при закачке пара.

Таким образом, в результате проведения численных экспериментов и расчета экономических показателей установлено, что разработка залежей ВВН малых толщин (до 10 м) является рентабельной при закачке пара.

Впоследствии планируется создание геологической модели для уточнения строения модели и проведение более детальных численных экспериментов. Также следует произвести моделирование других видов теплового воздействия на пласт и сравнить их эффективность.

Литература

1. *Рузин Л.М., Чупров И.Ф.* Технологические принципы разработки залежей аномально вязких нефтей и битумов: монография / Под ред. Н.Д. Цхадая. Ухта: УГТУ, 2007. 244 с.
2. *Каневская Р.Д.* Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов: учебное пособие. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 140 с.
3. *Ксенз Т.Г.* Оценка коммерческой эффективности научно-технических мероприятий на нефтегазодобывающих предприятиях: учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2008. 164 с.

References

1. *Ruzin L.M., Chuprov I.F.* Tehnologicheskie principy razrabotki zalezhej anomal'no vjazkih neftej i bitumov: monografija [Technological principles of development of high-viscosity oil-pools and bitumens: Monograph] / Ed. N.D. Tskhadaya. Ukhta: Ukhta State Techn. Univ., 2007. 244 p.
2. *Kanevskaya R.D.* Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskih processov razrabotki mestorozhdenij uglevodorodov: uchebnoe posobie [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of development of hydrocarbon deposits: Teaching aid]. Moscow-Izhevsk: Institut komp'juternyh issledovanij [Inst. of Computer Res.], 2002. 140 p.
3. *Ksenz T.G.* Ocenka kommercheskoj jeffektivnosti najchno-tehnicheskih meroprijatij na neftegazodobyvajushhih predprijatijah: uchebnoe posobie [Assessment of commercial effectiveness of scientific-technical measures in the oil-and-gas producing companies: Teaching aid]. Ukhta: Ukhta State Techn. Univ., 2008. 164 p.

Статья поступила в редакцию 22.04.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 4(24). Сыктывкар, 2015.

ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШМАКОВ

8 ноября 2015 г. исполнилось 75 лет главному научному сотруднику Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, лауреату Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, заслуженному работнику Республики Коми, доктору биологических наук, профессору **Дмитрию Николаевичу Шмакову**.

Д.Н. Шмаков – широко известен своими исследованиями в области физиологии сердца, внёс весомый вклад в познание электрофизиологических механизмов работы сердца, создание теоретических основ формирования кардиоэлектрического поля и в разработку новых электрофизиологических методов исследования сердца. Он является автором более 300 научных публикаций в ведущих отечественных и международных журналах, двух монографий и авторского свидетельства и патента.

Д.Н. Шмаковым сформированы и развиты новые научные направления в физиологии сердца: хронотопография интрамурального распространения возбуждения в сердце, гетерогенность реполяризации миокарда, функциональная эволюция насосной и сократительной функций сердца. Им впервые в мировой практике открыты несколько способов охвата возбуждением миокарда желудочков; сформулирована и практически обоснована концепция об электрофизиологической информативности всех без исключения слоев сердца; установлены фундаментальные закономерности структурно-функциональной организации возбуждения интрамуральных слоев сердца у рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих.

За свою трудовую деятельность Дмитрий Николаевич подготовил четырёх докторов наук и 14 кандидатов наук. Он организовал лабораторию физиологии сердца и работоспособный коллектив ученых, направления исследования которого по всестороннему изучению сердечной деятельности получили признание Российской академии наук. Под руководством Д.Н.Шмакова установлены фундаментальные закономерности пространственно-временной организации процесса реполяризации желудочков сердца у животных разных филогенетических групп; выявлены закономерности изменения функционального состояния сердца в ответ на электрокардиостимуляцию и при различных патологических состояниях сердца; исследованы закономерности кардиогемодинамики в зависимости от последовательности активации и восстановления возбудимости миокарда желудочков; созданы и проверены математические модели активации миокарда и формирования кардиоэлектрического поля; сформулирован ряд концепций: о формировании кардиоэлектрического поля на поверхности туловища животных в период реполяризации желудочков, о детерминирующем влиянии гемодинамики на формирование разных способов активации миокарда желудочков в процессе эволюционного развития позвоночных, о функциональном значении гетерогенной реполяризации миокарда в обеспечении оптимальной механической деятельности сердца.

Результаты фундаментальных исследований ученого явились основой для создания новых методов прогнозирования и идентификации функционального состояния сердца и внедрены в лечебно-диагностическую работу.

Трудовая деятельность Дмитрия Николаевича связана и с организационной работой. Свой трудовой путь в науке Д.Н. Шмаков начал в 1969 г., прошел от младшего научного сотрудника до заместителя директора Института физиологии по научным вопросам (с января 1995 г. по апрель 2015 г.) Он был организатором ряда международных, всероссийских и региональных научных мероприятий по актуальным вопросам физиологии человека и животных. Дмитрий Николаевич является членом нескольких международных научных обществ, председателем действующего в Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН диссертационного совета.

Научные достижения Д.Н. Шмакова отмечены медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, рядом Государственных стипендий, премией имени академика В.В. Парина Уральского отделения РАН за лучшую работу в области физиологии и медицины.

Д.Н. Шмаков полон сил и продолжает активную научную деятельность. Пожелаем ему крепкого здоровья и долгих лет творческой жизни.

Коллеги

БОРИС МИХАЙЛОВИЧ КОНДРАТЕНОК

16 ноября 2015 г. исполнилось 60 лет заместителю директора Института биологии Коми НЦ УрО РАН по научной работе, кандидату химических наук **Борису Михайловичу Кондратенку**.

Б.М.Кондратенок окончил химический факультет (1978 г.) и аспирантуру по кафедре аналитической химии (1981 г.) Ленинградского государственного университета. В 1981 г. защитил диссертацию по специальности 02.00.02 «Аналитическая химия». С 1981 по 1993 гг. работал преподавателем на кафедре химии Сыктывкарского государственного университета. В 1993 г. избран на должность заведующего экоаналитической лабораторией Института биологии Коми НЦ УрО РАН, в 1999 и 2005 гг. переизбран на ту же должность. С 2011 г. занимает должность заместителя директора по научной работе.

Борис Михайлович Кондратенок – высококвалифицированный специалист в области аналитической химии объектов окружающей среды. Научные разработки Б.М. Кондратенка широко используются при решении ряда прикладных проблем в Республике Коми. Он внес значительный вклад в развитие современных инструментальных методов количественного анализа природных вод, атмосферных осадков, почв, биологических материалов. Под его руководством впервые разработан комплекс методик определения в природных средах тяжелых металлов, фенолов, хлорфенолов, полиароматических углеводородов, изучен состав низкомолекулярных продуктов трансформации органического вещества северных почв. Особое внимание ученый уделяет рассмотрению вопросов организации и проведения мониторинговых исследований фоновых и урбанизированных территорий Республики Коми. Является признанным экспертом в области аналитической химии и пользуется заслуженным авторитетом среди коллег. Результаты научных исследований Бориса Михайловича опубликованы в более чем 220 научных работах, включая статьи в высокорейтинговых рецензируемых журналах. Его оригинальные итоги прикладных работ нашли свое отражение в 11 патентах и 15 аттестованных методиках, которые в настоящее время успешно используются специалистами сторонних организаций в целях санитарно-эпидемиологического контроля содержания опасных веществ в питьевых, природных и сточных водах, атмосферных осадках.

Борис Михайлович обладает исключительными организаторскими способностями. В институте он координирует работы по повышению эффективности использования научного оборудования, метрологическому обеспечению НИР, развитию материально-технической базы и созданию Центров коллективного пользования. Все мероприятия, проводимые под его руководством и с его участием, включая многочисленные экскурсии, проходят на самом высоком уровне. Много сил и времени отдает Борис Михайлович решению вопросов повышения профессионального уровня коллектива экоаналитической лаборатории и качества химических анализов, выполняемых специалистами.

Созданная под руководством Б.М. Кондратенка система качества химико-аналитических измерений получила всеобщее признание на международном уровне. Экоаналитическая лаборатория, аккредитованная по 97 методикам, по итогам ежегодных международных испытаний вышла на первые позиции в области количественного химического анализа среди 62 учреждений из 28 стран Европы, участвует в ряде крупных международных проектов, успешно работает на региональном и российском уровнях, по заказам предприятий и организаций городов Сыктывкара, Ухты, Усинска, Печоры, Архангельска, Нарьян-Мара, Москвы, Санкт-Петербурга. Лаборатория является лауреатом республиканского и дипломантом Всероссийского конкурса «100 лучших товаров России» в области количественного химического анализа.

В 2013 г. в составе авторского коллектива был удостоен премии Правительства Республики Коми в области образования за разработку учебных пособий по аналитической химии для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Химия».

Борис Михайлович относится к категории людей, которых отличает высокий профессионализм, обязательность и ответственность при решении сложных задач. Он не только талантливый организатор науки с широким кругозором и активной жизненной позицией, но и очень добрый, глубоко интеллигентный человек с щедрой душой, всегда готовый поделиться своими знаниями и опытом с теми, кому нужна поддержка.

Сотрудники Института биологии Коми НЦ УрО РАН и редколлегия журнала «Известия Коми научного центра УрО РАН» от всей души поздравляют с юбилейным днем рождения уважаемого Бориса Михайловича и желают ему доброго здоровья, благополучия и многих сил для дальнейшей плодотворной деятельности на благо российской науки!

ПОТЕРИ

14 ноября 2015г. на 98-м году жизни скончалась известный ученый-историк, стоявшая у истоков исторических исследований Института языка, литературы и истории, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник ИЯЛИ Коми филиала Академии наук СССР, один из организаторов и руководителей исторических исследований в Коми республике в 1950–1970-е гг., внесшая огромный вклад в изучение социально-политической, социально-экономической и культурной истории Европейского Севера России, общественный деятель

ЛИДИЯ ИВАНОВНА СУРИНА

Л.И. Сурина родилась 10 ноября 1918 г. в с. Пыелдино Усть-Сысольского уезда Северодвинской губернии. В 1941 г. окончила исторический факультет Коми государственного пединститута. 24 марта 1953 г. поступила на работу в отдел истории Коми филиала АН СССР, в котором проработала до выхода на пенсию в 1977 г. В 1953 г. в Ленинградском государственном университете Лидия Ивановна защитила кандидатскую диссертацию «Крестьяне приустьсысольских волостей Вологодской губернии в конце XIX и начале XX веков», посвященную изучению процессов экономического развития коми деревни в конце XIX – начале XX в. В 1965 г. ей было присвоено ученое звание старшего научного сотрудника.

Основные направления исследований Л.И. Суриной – изучение социально-экономических и социально-политических процессов в Коми крае в последней трети XIX – начале XX в., проблем советского строительства в Коми автономной области в 20–30- е гг. XX столетия. Лидия Ивановна выступала с научными докладами на многих всесоюзных и региональных конференциях, опубликовала свыше 40 научных работ. Среди них монография «На далекой окраине» (1973), посвященная вопросам развития горно-металлургической и солеваренной промышленности Коми края, анализу экономического, политического, правового и бытового положения рабочих в начале XX в. и не потерявшая своей научной ценности до сих пор.

Одновременно с научно-исследовательской деятельностью Лидия Ивановна активно занималась организационной и редакторской работой. Под ее руководством выполнены крупные обобщающие труды: «Социально-экономические отношения в Коми крае в последней четверти XIX – начале XX вв.», «Классовая борьба в Коми крае в последней трети XIX – начале XX вв.». В них представлена широкая картина социально-экономического развития Коми края, положения крестьянства в регионе; исследованы различные проблемы аграрной истории, эволюции хозяйства крестьян и их промыслов; развитие крестьянского движения. Она являлась автором и редактором таких крупных работ, как «Очерки по истории Коми АССР» в 2-х т.; «Атлас Коми АССР»; «Наш край в истории СССР»; «История Коми АССР с древнейших времен до наших дней»; «История Сыктывкара» и др. Выйдя на заслуженный отдых, Л.И. Сурина не прерывала связи с родным институтом, продолжая научное сотрудничество, которое ярко проявилось в участии подготовке фундаментальных изданий: «Республика Коми: Энциклопедия» в 3-х т.; «История Коми с древнейших времен до конца XX века» в 2-х т. Даже в глубокой старости Лидия Ивановна продолжала заниматься разработкой истории Коми края. Так, в 2010 г. она публикует в журнале «Известия Коми научного центра УрО РАН» статью «Частное землевладение в Усть-Сысольском и Яренском уездах Вологодской губернии в пореформенную эпоху XIX – начале XX в.», где на основе архивных документов анализировала различные формы частного землевладения, существовавшие в восточных уездах Вологодской губернии во II пол. XIX – начале XX в., показывала их развитие. Сравнительно недавно, в 2013 г., Лидия Ивановна опубликовала в серии «Научные доклады на заседаниях Ученого совета ИЯЛИ» еще одну новую работу «Михаил Николаевич Латкин» – о первом зырянском потомственном почетном гражданине Усть-Сысольска из купеческой династии Латкиных.

Л.И.Сурина активно занималась общественной работой, а также популяризацией научных знаний. В 1939–1953 гг. являлась депутатом Сыктывкарского городского Совета депутатов трудящихся, где с 1942 по 1949 г. занимала должность секретаря Совета. В течение 1949 г. она была референтом отдела Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний.

Признанием значительного вклада ученого в научно-исследовательскую, научно-организационную и общественную деятельность стали ее заслуженные награды – медали «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «За доблестный труд. В ознаменовании 100-летия со дня рождения В.И. Ленина»; почетные грамоты Совета Министров Коми АССР, Президиума Верховного Совета Коми АССР, Коми обкома КПСС; присвоены звания «Лауреат Государственной премии Коми АССР», «Заслуженный деятель науки Республики Коми».

Память о Лидии Ивановне Суриной, добром и хорошем человеке, неутомимом исследователе, навсегда останется в наших сердцах.

Коллектив Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2015 г.

От редактора

А.М. Асхабов, М.В. Гецен, А.В. Самарин. Роль и задачи институтов Коми НЦ УрО РАН в изучении Арктического региона — №3(23) С. 5–15

Физико-математические науки

И.В. Антонец, Е.А. Голубев, Л.Н. Котов. Наноструктура аморфных гранулированных композитных пленок $(Co_{45}Fe_{45}Zr_{10})_x(Zr_2O_3)_{1-x}$ — №1(21) С.13–21

Д.В. Казаков. Теория рентгеновской дифракции на сверхрешетке с квантовыми нитями — №2(22) С.5–11

С.И. Колосов, В.И. Пунегов. Рекуррентные соотношения в динамической теории рентгеновской дифракции в латерально ограниченном кристалле — №4(24) С.6–16

Н.А. Секушин. Частотные характеристики индуктивно-емкостной цепи — №4(24) С.17–23

В.Ф. Соколов. Стабилизация неизвестного минимально-фазового объекта с липшицевой неопределенностью и ограниченным внешним возмущением — №1(21) С.6–12

Химические науки

Н.А. Жук, В.П. Лютоев, Н.В. Чежина. Магнитная восприимчивость и ЭПР-спектры полиморфных модификаций BI_3NBO_7 — №2(22) С.19–24

М.А. Засовская, С.К. Игнатов. Поверхность потенциальной энергии системы $SOCI_2+2H_2O$ — №2(22) С.12–18

И.М. Кузиванов, Р.А. Садыков, Д.В. Судариков, А.В. Кучин. Кинетика окисления диметилсульфоксида диоксидом хлора — №4(24) С.24–27

М.М. Пискайкина, И.В. Пийр, М.С. Королева, В.А. Белый. Синтез и свойства твердых растворов титанатов висмута со структурой пирохлора — №1(21) С.22–25

Биологические науки

С.В. Дёгтева, Е.Н. Патова, Е.Е. Кулюгина, В.И. Пономарев, М.В. Дулин, Г.В. Железнова, А.А. Колесникова, С.К. Кочанов, Л.Я. Огродовая, А.В. Пастухов, С.Н. Плюснин, Т.Н. Пыстина, Н.П. Селиванова, А.Г. Татаринов, Л.В. Тетерюк. Особо охраняемые природные территории Полярного Урала: современное состояние и перспективы развития — №3(23) С.24–34

Ф.В. Долгов, Г.Г. Осадчая, Т.Ю. Зенгина. Сравнительная оценка экосистемных функций репрезентативных урочищ южной криолитозоны Большеземельской тундры — №2(22) С.45–56

А.А. Естафьев. Distribution, tahonomy and ecology of the cinclus cinclus (linnaeus,1758) in the European north of Russia (Распространение, систематика, экология оляпки Cinclus Cinclus (Linnaeus,1758) на европейском Севере России) — №3(23) С.61–65

Г.В. Железнова, Т.П. Шубина, С.В. Дёгтева, Ю.А. Дубровский, Т.Н. Пыстина. On the moss flora of the Yugud Va national park (Maliy Patok River Basin, Subpolar Urals) К флоре листостебельных мхов национального парка «Югыд ва» (бассейн р. Малый Паток, Приполярный Урал) — №4(24) С. 28–37

А.Б. Захаров, В.И. Пономарев, О.А. Лоскутова, В.Н. Шубина. Влияние эксплуатации наземного и водного транспорта на биологические ресурсы горных рек национального парка «Югыд ва» — №1(21) С.26–35

Л.И. Иржак, Б.Ф. Дерновой. Изменения кардиогемодинамики человека при постуральных пробах — №1(21) С.44–47

И.А. Кириллова. Орхидные Приполярного Урала: особенности биологии и структура ценопопуляций — №1(21) С.48–54

Ю.В. Коротаева, В.И. Циркин. Альфа$_2$-адренорецепторы миокарда (обзор литературы) — №2(22) С.57–64

Е.М. Лаптева, Д.А. Каверин, А.В. Пастухов, Е.В. Шамрикова, Ю.В. Холопов. Ландшафтно-биогеографические аспекты аккумуляции и миграции тяжелых металлов в почвах Арктики и Субарктики европейского Северо-Востока — №3(23) С.47–60

О.А. Лоскутова, О.Н. Кононова. Гидробиологическая характеристика тундровой реки Восточно-Европейского арктического региона — №4(24) С. 38–51

А.Л. Марков, Ю.Г. Солонин, Е.Р. Бойко. Вегетативная регуляция ритма сердца у жителей Ижемского района Республики Коми	№3(23) С.66–70
Л.Г. Мартынов. Виды хвойных в коллекции Ботанического сада Института биологии Коми научного центра и перспективы их использования в озеленении	№1(21) С.36–43
Е.Н. Патова, Е.Е. Кулюгина, А.В. Пастухов. Почвенный и растительный покров территории Усинского угольного месторождения (Большеземельская тундра)	№3(23) С.16–23
Д.О. Перегудова, М.В. Шапошников, А.А. Москалев. Влияние стресс-факторов различной природы на экспрессию генов стресс-ответа у самцов *Drosophila melanogaster*	№2(22) С.40–44
В.И. Пономарев, С.В. Загирова. Основные результаты проекта ПРООН/ГЭФ «Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев реки Печора»	№3(23) С.35–46
Р.Р. Рафиков, Д.М. Шадрин, Я.И. Пылина, И.Ф. Чадин, А.П. Новоселов. Молекулярно-генетический анализ верховки обыкновенной – Leucaspius delineatus (Heckel, 1843) из водоемов Республики Коми	№2(22) С.31–39
С.Л. Смирнова, И.М. Рощевская, М.П. Рощевский. Формирование кардиоэлектрического поля на поверхности тела рыб в период деполяризации предсердия	№4(24) С.52–55
Л.Н. Тикушева, А.С. Стенина, Е.Н. Патова. Изменение водных экосистем под влиянием строительства и эксплуатации газопровода «Бованенково–Ухта» (бассейн реки Кара, Полярный Урал и Большеземельская тундра)	№2(22) С.25–30
Геолого-минералогические науки	
А.И. Антошкина, В.А. Салдин, Н.Ю. Никулова, З.П. Юрьева, Е.С. Пономаренко, А.Н. Сандула, Н.А. Канева, Л.А. Шмелева, Д.Н. Шеболкин, А.Н. Шадрин, Н.А. Инкина. Реконструкция осадконакопления в палеозое Тимано-Североуральского региона: направления исследований, результаты, проблемы и задачи	№1(21) С.55–72
В.Б. Арчегов. Термобарические условия образования донных газогидратов и риск их разрушения при разработке Штокмановского газоконденсатного месторождения	№2(22) С. 65–70
А.М. Асхабов, С.К. Кузнецов, М.Б. Тарбаев, И.Н. Бурцев, Н.Н. Тимонина, А.М. Пыстин. Минерально-сырьевая база Тимано-Североуральского региона и перспективы ее развития	№3(23) С.79–90
И.Н. Бурцев, Д.А. Бушнев, О.С. Котик, Д.В. Кузьмин, Д.О. Машин, И.Г. Бурцева. Нетрадиционные источники углеводородного сырья арктической зоны европейского Северо-Востока России как основа развития новых отраслей промышленности	№3(23) С.71–78
Е.П. Калинин. Проблемы комплексного использования бокситов Тимана	№4(24) С. 56–60
Н.В. Сокерина, С.К. Кузнецов, С.И. Исаенко, В.Н. Филиппов. Минералогические особенности руд и флюидные включения в жильном кварце проявления Секущий (Чукотка)	№4(24) С. 61–69
Технические науки	
Г.В. Буслаев, В.С. Пыстин, В.В. Удоратин, А.С. Шергин. Определение положения ствола скважины путем измерения магнитного поля Земли при бурении протяженных горизонтальных скважин в Арктике	№3(23) С.91–100
И.И. Волкова, А.А. Волков. О возможности прогноза показателей разработки нефтяных месторождений Республики Коми с использованием рядов динамики	№1(21) С.83–85
Н.Э. Готман, Г.П. Шумилова, Т.Б. Старцева. Верификация топологии электроэнергетической системы на основе нечетких нейронных сетей	№4(24) С. 70–78
С.М. Дуркин, И.Н. Меньшикова. Прогнозирование показателей разработки залежей высоковязких нефтей малой мощности	№4(24) С. 141–145
К.О. Рустамова. Математическое моделирование характера распределения контактного давления между внутренней поверхностью конического уплотнителя и стенкой цилиндра	№1(21) С.73–82
А.В. Сальников, Г.Г. Грибов. Особенности распространения нефтяного разлива в ледовой обстановке арктических акваторий	№3(23) С.101–105
Историко-филологические науки	
И.О. Васкул, А.В. Волокитин, И.Л. Жеребцов, В.Н. Карманов, М.В. Кленов, А.М. Мурыгин, П.Ю. Павлов. Освоение арктической и субарктической зоны Припечорья в древности и средневековье по данным археологии (часть I)	№1(21) С.88–94

И.О. Васкул, А.В. Волокитин, И.Л. Жеребцов, В.Н. Карманов, М.В. Кленов, А.М. Мурыгин, П.Ю. Павлов. Освоение арктической и субарктической зоны Припечорья в древности и средневековье по данным археологии (часть II)	№2(22) С.71–79
М.А. Галиева. Фольклорная традиция в поэме «Пятый интернационал» В.В. Маяковского. Пушкинский код в поэтике	№2(22) С.85–89
Т.И. Дронова. Взаимоотношения усть-цилемских староверов с православным духовенством во второй половине XVIII – середине XIX в.	№4(24) С. 79–85
Н.М. Игнатова. Использование труда спецпереселенцев – «бывших кулаков» в лесозаготовительной промышленности северного края в 1930-е гг.	№4(24) С. 93–99
О.А. Казанцева, С.Е. Перевощиков, Т.М. Сабирова. Состав изделий из цветного металла Красноярского I могильника	№4(24) С. 100–107
А.Н. Кустышев. Проблемы механизации ГУЛАГовского производства на европейском Севере России	№4(24) С. 86–92
Марья Лейнонен. Возможность заимствования функциональных и дискурсивных слов (на примере коми языка)	№2(22) С.90–94
П.Ф. Лимеров. Поэма «Биармия» как итог исследовательской деятельности Каллистрата Жакова по реконструкции древнего мировоззрения коми-зырян	№1(21) С.110–116
А.М. Мурыгин, М.В. Кленов. Новые археологические исследования комплекса Новый Бор III в Печорском Заполярье	№3(23) С.119–131
Г.А. Некрасова. Конкуренция иллатива и послелогов в коми-пермяцком языке	№1(21) С.95–100
А.В. Панюков. Ижмо-Колвинский эпос: встреча традиций	№4(24) С. 108–119
А.Н. Рассыхаев. Этапы формирования собрания рукописных фольклорных материалов в отделе фондов Национального музея Республики Коми	№1(21) С.101–109
Ю.П. Шабаев. Русский Север в процессе деколонизации: социальные и культурные риски на европейском Севере России	№3(23) С.106–118
С.И. Чудов. Сравнительный анализ цифровых показателей о посевах, урожае и количестве зерна в сельских запасных магазинах Архангельской губернии в 1870–1886 гг.	№2(22) С.80–84

Общественные науки

Н.М. Большаков, В.В. Жиделева, С.В. Рабкин. Транспортная доступность периферийных сельских территорий: теория, методология, практика (на примере Республики Коми)	№2(22) С.95–103
О.В. Бурый, Т.Е. Дмитриева. Теоретические и практические вопросы создания самодостаточных арктических поселений	№3(23) С.141–148
В.А. Иванов, В.Н. Лаженцев. Аграрный сектор экономики арктических территорий России (на примере Республики Коми)	№3(23) С.132–140
В.Н. Лаженцев. Актуализация некоторых конституционных положений в связи с вопросами территориального развития	№1(21) С.117–122
В.Н. Лаженцев. География и Русское географическое общество	№2(22) С.104–109
Е. Нуйкина. Социальная жизнеспособность северного города в современных условиях: лидерство и низовая активность населения	№3(23) С.156–160
В.И. Павленко, А.М. Торцев. Направления совершенствования государственной поддержки товарного рыбоводства на европейском севере России	№4(24) С. 130–139
Л.А. Попова, Е.Н. Зорина. Уровень жизни пенсионеров Республики Коми: динамика показателей и субъективные оценки	№2(22) С.110–118
М.М. Стыров, Д.В. Колечков. Инвестиционно-инновационная активность промышленности северных регионов России	№4(24) С. 120–129
Т.В. Тихонова. Направления снижения накопленного экологического ущерба на арктических территориях европейского Северо-Востока	№3(23) С. 149–155

Краткие сообщения

A.M. Askhabov. Spatial structure of helium trimers as confirmation of structurelessness in guatarons (*А.М. Асхабов.* Пространственная структура триммеров гелия как подтверждение бесструктурности кватаронов)	№2(22) С.119–121
С.М. Дуркин, И.Н. Меньшикова. Прогнозирование показателей разработки залежей высоковязких нефтей малой толщины	№4(24) С. 143–147
А.А. Хомиченко, В.Г. Зайнуллин. Влияние острого облучения на Tradescantia (Clon 02), облученных в малых дозах γ-излучения	№4(24) С. 149–155

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 1,5 печ.л.), оригинальные статьи (до 0,8 печ.л) и краткие сообщения (до 0,3 печ.л.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни.

Направляя статью в наш журнал, Вы соглашаетесь с нашим **Положением о публикационной этике журнала** (на сайте журнала). 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 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. Количество иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должно превышать 5–7 шт., количество иллюстраций в кратких сообщениях – 2–3 шт.

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 инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке. Английская аннотация объемом (до 2000 п.з. или 1 м.с.) для читателей, не владеющих русским языком, должна стать независимым источником информации (пересказом статьи). В тех случаях, когда текст статьи поделен на разделы, автор может подобным образом разделить и текст аннотации. Редколлегия проверяет качество английского текста и в одностороннем порядке вносит необходимые правки. Во избежание разночтений автор в отдельном файле представляет русский текст, по которому был произведен перевод расширенной аннотации.

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 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 единиц (СИ). Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование, и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «Результаты и обсуждение» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой, и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9–10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится и слово «Таблица» не пишется.

Рисунки представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисуночные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисуночных подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 pix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль 9–10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

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 необходимо приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии с примером (см. ниже). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

После Списка литературы размещается References – Пристатейный список литературы в транслите (на латинице) и в квадратных скобках перевод названия статьи и журнала на английский язык. References повторяет в полном объеме, с той же нумерацией Список литературы на русском языке, независимо от того, имеются ли в нем иностранные источники. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, они полностью повторяются как в Списке литературы, так и в References.

Список литературы и References оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

Список литературы:

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.

References:

1. *Ivanov I.I.* Nazvanie stat'i [Article title] // Nazvanie zhurnala [Journal title]. 2005. T.41. № 4. S. 18–26.
2. *Petrov P.P.* Nazvanie knigi [Book title]. M.: Nauka, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 s.) или конкретная страница (например, S. 75.).
3. *Kazakov K.K.* Nazvanie dissertatsii [Dissertation title]: Dis. kand. biol. nauk. M.: Nazvanie instituta, 2002. 164 s.

При наличии большого количества авторов в списке литературы указываются все.

Для транслитерации списка литературы удобно использовать интернет-ресурс http://translit.ru/

При несоблюдении этих перечисленных правил статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а, следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную коллегию не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 5–7 дней должен вернуть ее в редакционную коллегию или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и диски 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 соблюдение 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, факс (8212) 24-17-46
E-mail: journal@presidium.komisc.ru.

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып. 4(24)

Редактор Т.В.Цветкова
Компьютерный дизайн и стилистика Р.А.Микушев
Компьютерное макетирование Н.А.Сулейманова
Перевод на английский язык Т.А. Искакова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Компьютерный набор. Подписано в печать 23.11.2015.
Формат бумаги 60x84$^{1}/_{8}$. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 19,5. Уч.-изд.л. 19. Тираж 300. Заказ № 20.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.

Адрес учредителя: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Коми научный центр УрО РАН,
167982, ГСП-2, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24.