

*Российская Академия Наук*

# ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

4/2015



4/2015(23)

издается с декабря 2009 года

ISSN 2307-5228

ISBN 978-5-91137-313-9

*Российская Академия Наук*

**ВЕЕСТНИК**

**Кольского научного центра РАН**

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Кольский научный центр РАН

---

Главный редактор – д.г.-м.н., проф.  
Ю.Л. Войтеховский  
Заместители главного редактора:  
д.г.-м.н., проф. В.П. Петров,  
д.т.н., проф. А.Я. Фридман  
(руководитель редакции)

Редационный совет:  
академик, проф. Г.Г. Матишов,  
академик, проф. Н.Н. Мельников,  
чл.-корр., проф. В.К. Жиров,  
чл.-корр., проф. А.И. Николаев,  
д.т.н., проф. Б.В. Ефимов,  
д.э.н., проф. Ф.Д. Ларичкин,  
д.т.н. В.А. Маслобоев,  
д.т.н., проф. В.А. Путилов,  
д.ф.-м.н. Е.Д. Терещенко,  
к.г.-м.н. А.Н. Виноградов (отв. секретарь)

Ответственность за суждения и оценки, выраженные в публикуемых статьях, как и за точность и надежность приводимых сведений, лежит исключительно на авторах; публикация статей не является свидетельством того, что издатель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Кольский научный центр РАН – разделяет мнение их авторов.

**Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2009 г.**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Н.О. Сорохтин, Н.Е. Козлов, В.Н. Глазнев и др.	Геологическое строение и потенциальная нефтегазоносность западной части Тимано-Варангерского пояса.....	3
П.В. Медведев, Ю.Л. Войтеховский, С.Ю. Чаженгина и др.	Состав и строение пластовых строматолитов полуострова Средний (Кольский регион).....	12
Л.С. Петровская, В.П. Петров, М.Н. Петровский, А.В. Базай	К проблеме термодинамических режимов метаморфических процессов глубинных сдвиговых зон (на примере Лапландско-Беломорского шва).....	17
П.В. Амосов	Применение численных методов расчета распределения температуры излучающей пластины для решения задач обеспечения теплового сброса с борта космического аппарата....	35
Т.Г. Кашулина, Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер	Долговременная динамика гидрохимических показателей субарктического озера Шуонияур в условиях снижения кислотной нагрузки.....	42
В.К. Ролдугин, А.В. Ролдугин	Вариации интенсивности дублета натрия во время полярных сияний.....	52
В.С. Мингалева, И.В. Мингалева, К.Г. Орлов	Исследование циркуляции атмосферы при помощи пространственно-трехмерных математических моделей, разработанных в Полярном геофизическом институте в течение последних двух десятилетий.....	58
А.В. Мелехин	Новые для Мурманской области и ее биогеографических районов виды лишайников.....	73
В.А. Маслобоев, С.Н. Виноградова, В.В. Дидык и др.	Горная промышленность в Арктике в контексте обеспечения устойчивого развития местных сообществ.....	82
В.С. Селин, Ю.В. Вышинская А.Я. Фридман	Экономика арктических регионов и корпораций на современном этапе.....	90
	Интерпретация концептуальной модели пространственного динамического объекта в классе формальных систем.....	100
А.Е. Веселов, А.С. Карпов, В.В. Ярошевич и др.	Разработка новой структуры распределительных электрических сетей промышленных систем электроснабжения 6, 10 кВ.....	113
	<b>КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ</b> .....	122
	<b>НОВЫЕ КНИГИ</b> .....	124
	<b>ЮБИЛЯРЫ</b> .....	126
	<b>CONTENTS</b> .....	136

Редколлегия:

д.т.н. А.Я. Фридман (руководитель редакции), д.б.н. Н.К. Белишева, к.т.н. П.Б. Громов, д.ф.-м.н. В.Е. Иванов, д.б.н. Н.А. Кашулин, д.т.н. А.А. Козырев, д.б.н. П.Р. Макаревич, д.т.н. А.Г. Олейник, д.и.н. И.А. Разумова, к.г.-м.н. Т.В. Рундквист, д.э.н. В.С. Селин, к.т.н. А.Ф. Усов (отв. секретарь)  
Информационная поддержка: И.Г. Савчук, Л.А. Тимофеева  
Графический и художественный редактор Е.Т. Мартынова

УДК: 551.2/3 + 553.92 (470+571)

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ВАРАНГЕРСКОГО ПОЯСА

Н.О. Сорохтин<sup>1,2,3</sup>, Н.Е. Козлов<sup>2,3</sup>, В.Н. Глазнев<sup>4</sup>, И.В. Чикирёв<sup>2,3</sup>, С.Л. Никифоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

<sup>2</sup>Геологический институт КНЦ РАН

<sup>3</sup>Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета

<sup>4</sup>Геологический факультет Воронежского государственного университета

### Аннотация

Рассмотрены вопросы полистадийного развития западной части Арктического шельфа России, обоснованы пространственно-временные закономерности взаимодействия геодинамических процессов, влияющих на обстановку формирования месторождений традиционных и нетрадиционных видов углеводородного сырья, приведены результаты геолого-геофизических исследований в северо-западной оконечности Кольского п-ова. Анализ полученных данных об изотопном составе углерода в газе из скважин позволил предположить, что наряду с традиционными источниками углеводородного сырья Тимано-Варангерский нефтегазоносный бассейн может быть богат залежами сланцевого газа и, возможно, сланцевой нефти. Выделяемый нами новый, потенциально нефтегазоносный бассейн, с одной стороны, характеризуется формированием захороненных на большие глубины мощных осадочных толщ пассивной окраины Восточно-Европейской платформы в рифее, с другой – развитием в каледонское и герцинское время Норвежско-Мезенской системы рифтов.

### Ключевые слова:

*геодинамическая эволюция, углеводородное сырье, нефтегазоносность, Арктика, рифей, Тимано-Варангерский пояс, п-ов Рыбачий.*

### 1. Состояние проблемы

Определение масштабов проявления временных эпох генерации и зон локализации углеводородного сырья в пределах западной части Арктического шельфа России связано с выявлением и обоснованием особенностей развития региона в прошлые геологические эпохи. Карско-Баренцевоморский нефтегазоносный бассейн достаточно хорошо изучен геолого-геофизическими методами, однако закономерности пространственно-временного распределения углеводородов (УВ) в его пределах и историко-генетические аспекты развития региона остаются на сегодняшний день практически неисследованными. Предыдущие исследования авторов [1–4] в определенной мере восполняют этот пробел. Так, было показано, что формирование крупной правосторонне-сдвиговой тектонической зоны на границе двух континентальных литосферных плит привело к закрытию разделяющего их океанического бассейна без субдукционного поглощения океанической коры на большей ее части (рис. 1). В пределах западной части Арктического шельфа России выделяется четыре возрастных интервала нефтегенерирующих процессов, которые закономерно распределены в пространстве и отражают специфику развития континентальной коры и океанических бассейнов в регионе. К наиболее ранним потенциально нефтегазоносным образованиям следует относить структурно-вещественные комплексы рифея, которые развиты в зоне сочленения Русской, Тимано-Печорской и Баренцевоморской литосферных плит. Позже возникли потенциально нефтегазоносные площади, которые связаны с закрытием океана Япетус в раннем ордовике – позднем девоне (490–360 млн лет) и локализованы в западной части Баренцевоморской плиты, а также к северу от каледонид Балтийского щита. Еще позже, в результате закрытия Палеоуральского океана в раннепермское – раннетриасовое время (295–241 млн лет) были сформированы нефтегазоносные области к западу

и востоку от Уральской складчатой системы по линии Полярный Урал – Пай-Хой – Новая Земля – п-ов Таймыр.

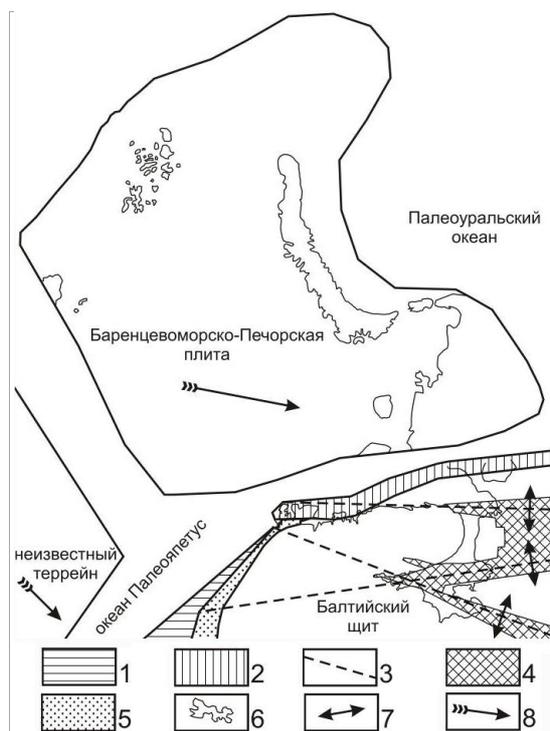


Рис. 1. Палеогеодинамическая реконструкция северной части Восточно-Европейской платформы и прилегающего арктического бассейна в среднем рифее – венде (1350–535 млн лет назад):  
 1 – складчатые образования среднего – верхнего рифея дальсландской области (1200–900 млн лет); 2 – средне-верхнерифейские и вендские осадочные комплексы шельфа и континентального склона пассивной окраины северо-восточной части Балтийского щита и Русской плиты (1350–535 млн лет); 3 – основные линеаменты на Балтийском щите; 4 – рифтогенные образования верхнего рифея; 5 – континентальные терригенные осадки венда (600–535 млн лет); 6 – контур современной береговой линии; 7 – направления растяжения континентальной литосферы; 8 – генерализованное направление перемещения литосферных плит

Четвертый и завершающий этап формирования нефтегазового потенциала региона связан с зоной накопления УВ биогенного и абиогенного (газогидратного) типов в основании материкового склона на пассивной окраине континента в кайнозое (65–0 млн лет). Все перечисленные этапы генерации и накопления УВ в осадочном чехле континентальной коры европейской части Арктического шельфа России привели к возникновению ряда крупных, закономерно расположенных в пространстве нефтегазоносных областей с гигантским совокупным потенциалом.

Проведенные ранее исследования [3–7] позволили выделить в пределах западной части Российской Арктики ряд закономерно расположенных в пространстве нефтегазоносных бассейнов и провинций, которые отличаются друг от друга по характеру пространственно-временной изменчивости проявления геодинамических процессов. В пределах Баренцево-Северо-Карской, Тимано-Печорской и Западно-Сибирской провинций нами выделено три потенциально богатые углеводородным сырьем и недостаточно исследованные области, которые при обнаружении в них промышленно значимых скоплений могут существенно прирастить нефтегазовый потенциал всего региона.

Одна из них находится на северной оконечности Мурманской обл. в пределах п-ова Рыбачий. Авторы настоящей статьи на протяжении ряда лет занимались геолого-геофизическими исследованиями в данном регионе, в связи с чем посчитали возможным более подробно остановиться на аргументации ее потенциальной нефтегазоносности, акцентировав внимание главным образом на результатах геофизических исследований.

## 2. Обсуждение результатов исследований

Данные о геологическом строении района, крайне важные при интерпретации геофизических данных, публиковались достаточно подробно [1], поэтому в настоящей работе не приводятся. Детальные геолого-геофизические исследования описываемого региона, проведение количественной интерпретации геофизических данных, изучение рельефа поверхности дна прилегающей к полуострову акватории Баренцева моря, а также разномасштабное дешифрирование аэро-, космоснимков позволили авторам построить схему блокового строения п-овов Средний и Рыбачий и его окружения [4, 8]. На основании этих исследований в пределах п-овов Средний и Рыбачий выделяются три отличные друг от друга структурно-фациальные зоны (рис. 2):

- Северная, или Скорбеевская, представлена сложноскладчатыми прорванными дайками долеритов и многочисленными кварцевыми и карбонатными жилами, сланцами скорбеевской свиты, развитыми на северо-западе Рыбачьего и, предположительно, одновозрастными им сланцами цыпнаволоковской свиты, составляющими северо-западное окончание п-ова Рыбачьего;

- Центральная, или собственно Рыбачинская, представленная смятыми в складки с пологими замками со слабонаклонными к югу осевыми поверхностями и нарушенными разновременными разрывами, частью прокварцованными отложениями одноименного комплекса в составе эйновской и баргоутной серий, занимающих центральную и южную части п-ова;

- Южная фиксируется пологодислоцированными прорванными дайками долеритов отложениями кильдинской серии, развитыми на п-ове Среднем, м. Мотка п-ова Рыбачьего и волоковой серии, приуроченной к северо-западной части п-ова Среднего.

Их линеаментный узор существенно различен: разная ориентировка разрывных деформаций: пологая северо-западная ( $280\text{--}290^\circ$ ) для Скорбеевской, северо-западная ( $330\text{--}335^\circ$ ) и субмеридиональная ( $СЗ\text{--}350^\circ$ ,  $СВ\text{--}10^\circ$ ) для Рыбачинской и нечетко выраженная перекрестная северо-западная и субмеридиональная для Южной.

В рамках проводимых в 2005–2009 гг. на п-овах Средний и Рыбачий с участием авторов данной статьи поисковых работ на нефть и газ были пробурены две параметрические скважины. Первая из них – Пограничная-1 достигла глубины 5202 м, из которых 1200 м были пройдены по осадочной толще рифея. Остальная часть скважины (около 4 тыс. м) вскрыла подстилающий его архейский фундамент Балтийского щита. Вторая – Рыбачинская достигла отметки 3001 м, из которых рифейские осадки составили 1400 м. Данные скважины вскрыли разрез лишь одной из трех структурно-фациальных зон в пограничной ее части и были заложены вблизи крупной тектонической зоны (рис. 2). Исследование керн параметрических скважин Пограничная-1 и Рыбачинская показало, что вариации измеренных значений плотности и намагниченности рифейских и архейских пород по стволу и их гомологов на поверхности соответствуют друг другу (табл.).

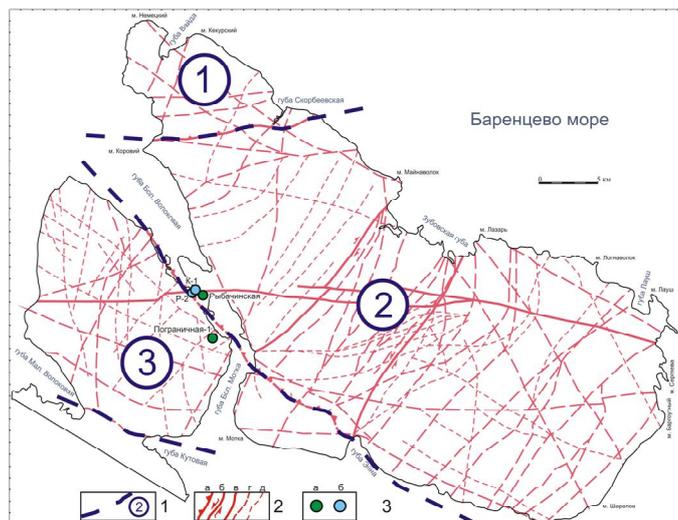


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема районирования полуостровов Средний и Рыбачий (по Сорохтину и др. [1]): 1 – структурно-фациальные зоны (цифры в кружках): 1 – Северная, или Скорбеевская, 2 – Центральная, или собственно Рыбачинская, 3 – Южная (п-ов Средний и м. Мотка п-ова Рыбачий); 2 а–в – разрывные нарушения первого ранга (а – надвиги и взбросо-сдвиги, б – сдвиги, в – разломы с неясной кинематикой), г – разрывные нарушения второго ранга, д – разломы третьего ранга; 3 – места расположения пробуренных скважин (а – параметрических, б – поисковых)

Средние значения плотности и магнитности пород по скважине Пограничная-1

Возраст	Название свит, тип пород	Интервалы опробования, м	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$\chi \cdot 10^{-3}$ , (СИ)	$I_n$ , А/м
Верхний рифей	Землепахтинская	135–142	2.55	0.15	–
	Палвинская	609–783	2.68	0.39	–
	Пряярввинская	931–1090	2.70	0.36	–
Архей, протерозой	Плагииграниты	1092–1720	2.69	9.81	0.22
	Долериты	1720–1760	2.94	11.8	1.9
	Плагииосланцы	1760–2090	2.67	1.5	0.01
	Плагииогнейсы	2090–2300	2.68	3.0	0.4
	Биотит-амфиболовые гнейсы	2300–4375	2.77	3.96	0.91
	Амфиболитизированные долериты	4375–4380	3.16	31.0	7.30

Анализ данных по средним значениям плотности и намагнитченности пород в скважине позволяет сделать три принципиальных вывода, важных для анализа характерных особенностей магнитных аномалий на территории п-овов Средний и Рыбачий. Первый заключается в том, что породы верхнего рифея, представленные в зоне Тана-Кильдин на п-ове Средний, залегают непосредственно на архейском фундаменте. Второй указывает на то, что в архейской части разреза скважины Пограничная-1 преобладают породы с заметными значениями магнитной восприимчивости и остаточной намагнитченности. То есть вариации в глубинном положении кристаллического фундамента должны отражаться в наблюдаемом магнитном поле. Третий вывод вытекает из наличия в подстилающей осадочные комплексы рифея архейской части разреза пластовых тел основного состава, представленных мелкозернистыми долеритами.

При этом они обладают высокой плотностью и магнитной восприимчивостью, а также высокой остаточной намагниченностью. Поскольку тела долеритов обладают магнитными характеристиками существенно более высокими, чем вмещающие плагиограниты и плагиогнейсы архейского комплекса, то вполне возможно, что они могут являться источниками выраженных локальных аномалий магнитного поля в этом регионе.

Используя петрофизические данные о магнитной восприимчивости рифейских пород (табл.), можно заключить, что источники аномального поля на изучаемой территории – преимущественно породы архейского фундамента. Качественный анализ и оценка глубинного положения источников региональной компоненты магнитного поля позволяет указать, что верхняя граница намагниченного комплекса фундамента погружается в северо-восточном направлении до глубины 5-6 км на северном побережье п-ова Рыбачий. Таким образом, характеристики аномального магнитного поля региона показывают принципиальные отличия в структуре кристаллического фундамента п-овов Средний и Рыбачий. При этом роль рифейского осадочного чехла в формировании самостоятельного аномального магнитного поля (его локальных аномалий), вероятно, весьма не значительна (рис. 3).

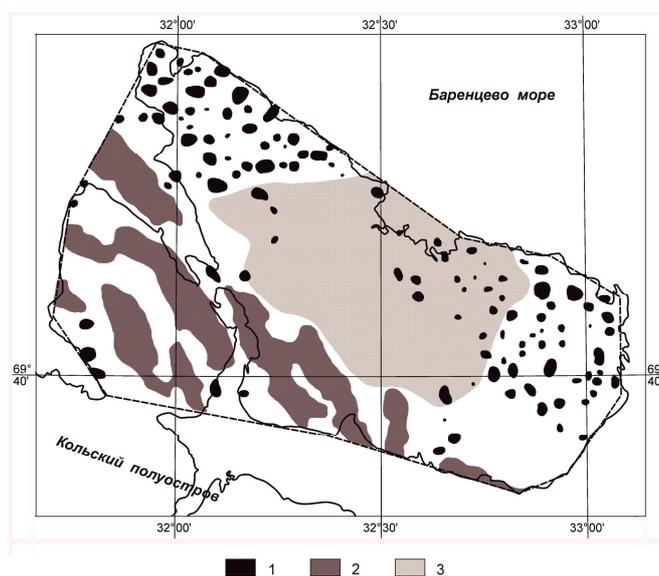


Рис. 3. Характер локального магнитного поля региона. Условные обозначения:  
1 – положительные изометричные аномалии; 2 – положительные не изометричные аномалии;  
3 – область спокойного пониженного поля

Проведенная в регионе аэрогазовая съемка обнаружила в приповерхностном слое воздуха ореолы эманаций метана и пропана [4]. При этом на п-ове Средний не установлено значимых аномалий легких УВ. В противовес этому, в западных и восточных районах п-ова Рыбачий отмечается закономерное возрастание содержаний легких УВ. Максимальное содержание метана и пропана связано, вероятно, с широким развитием здесь углеродсодержащих пород. Аномальные области повышенных содержаний легких УВ пространственно приурочены к областям относительно понижения рельефа в береговой зоне запада и востока п-ова Рыбачий (рис. 4) и могут указывать на повышенное содержание легких УВ в материнских породах, обладающих относительно высокой проницаемостью и пониженной устойчивостью к процессам денудации.

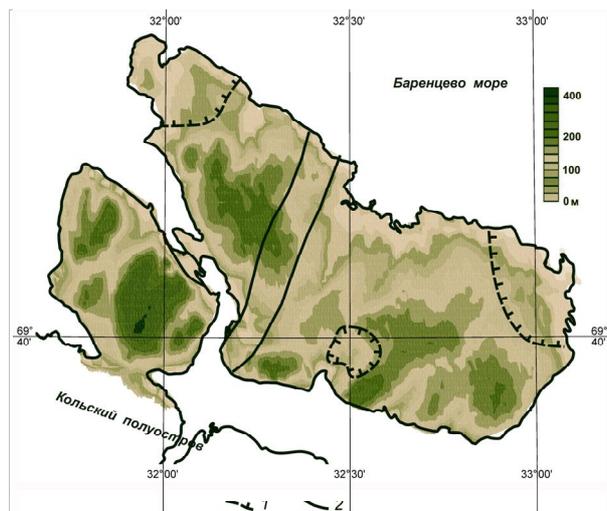


Рис. 4. Положение ореолов газовых эманаций с аномальным (повышенным) содержанием метана и пропана на карте рельефа п-овов Средний и Рыбачий. Условные обозначения:  
 1 – изометричные области аномальных содержаний; 2 – линейные зоны с аномальными содержаниями

Ранее авторами [4] были отмечены также линейные аномальные зоны, вытянутые в субмеридиональном направлении от южного до северного побережья п-ова Рыбачий в его центральной части, для одной из которых была отмечена связь с тектоникой рифейского осадочного чехла. Данная зона практически точно совпадает с крупными сдвигами, которые ограничивают структуру клавишного типа в центральной части п-ова Рыбачий (рис. 2). Другая линейная зона проявления эманаций газа, расположенная в районе перешейка между п-овами Средний и Рыбачий и вытянутая в северо-западном направлении, совпадает с крупной региональной сдвиго-надвиговой структурой, разделяющей фациальные зоны рифейского осадочного чехла, и маркируется повышенными газовыми максимумами. В этой зоне были пробурены две поисковые скважины, вскрывшие тектонические брекчии с устойчивым долговременным притоком газа.

Данные газовой съемки указывают на возможное наличие в пределах рифейского осадочного чехла п-ова Рыбачий областей потенциальной концентрации УВ, но не позволяют сделать вывод о положении в разрезе рифейского осадочного чехла потенциально нефтегазоносных комплексов. В то же время по аналогии с известными месторождениями, на которых регистрируются аномалии легких УВ, можно предполагать, что такие перспективные участки располагаются вблизи аномальных зон. По данным авторов статьи, выделяемая зона субмеридионального простирания, пересекающая достаточно однородную толщу осадочных пород в средней части п-ова Рыбачий, наиболее перспективна на обнаружение промышленно значимых скоплений углеводородного сырья. Обращает на себя внимание и тот факт, что блок не осложнен значимыми магнитными аномалиями (рис. 3), т.е. является некой самостоятельной тектонической единицей.

В качестве дополнительной характеристики породных комплексов региона можно рассмотреть также величину суммарной интенсивности аномалий гамма-фона, зарегистрированных по данным аэросъемки [9]. Характерно, что на интенсивность этих аномалий влияют многочисленные факторы, главными среди которых являются состав пород, насыщенность радиогенными элементами, наличие перекрывающих четвертичных осадков, их мощность и обводненность. Проведенные наблюдения, которые выполнялись современной высокочувствительной аппаратурой по всей территории п-овов Средний и Рыбачий, в целом не

дали однозначного ответа о возможном наличии скопления УВ, однако вместе с аэромагнитными данными позволили наметить участки для последующих детальных геофизических работ.

Анализ данных гамма-спектрометрической съемки с целью выделения преобладающих возможных аномалий гамма-фона был проведен по площади распределения общей интенсивности излучения. Карта этого параметра, показанная на рис. 5 в виде отдельных аномальных областей, хорошо локализована в пространстве, что делает характеристику суммарной интенсивности излучения более удобной для последующего геолого-тектонического анализа.

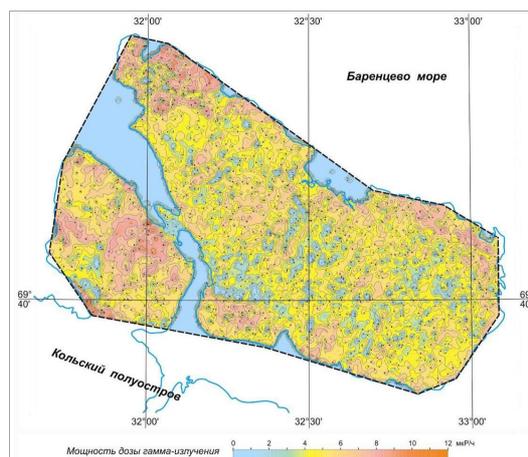


Рис. 5. Карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения

Принципиально важный результат проведенных съемок – отсутствие в пределах центральной части п-ова Рыбачий практически значимых спектрометрических аномалий гамма-излучения. Отдельные повышения концентрации радиогенных элементов не образуют закономерного характера и являются, скорее всего, просто случайными ошибками наблюдений или технологическими особенностями методики съемки. В западном и восточном обрамлении п-ова Рыбачий отмечаются относительно протяженные аномалии гамма-фона, приуроченные к породам верхнего рифея (кильдинская серия). Эти аномалии свидетельствуют о возможном обогащении пород радиогенными элементами, что характерно для большинства углеродсодержащих пород. На п-ове Средний отмечается закономерное возрастание интенсивности и количества изометричных аномалий суммарного гамма-фона, что свидетельствует об ином составе пород и, частично, о тектонической обособленности территории п-ова. Выявленные различия в характере гамма-фона изучаемых территорий п-овов Средний и Рыбачий позволяют предположить различия в специфике взаимосвязи геохимических и геологических процессов на стадии формирования рифейских осадочных отложений в пределах этих единиц.

Результаты проведенных комплексных аэрогеофизических исследований и новая геологическая интерпретация этих данных, опирающаяся на материалы петрофизических исследований керна скважин Пограничная-1 и Рыбачинская, а также данных ГИС по ним, обеспечили возможность выявления главных структурных и тектонических особенностей строения рифейского осадочного чехла и архейского кристаллического фундамента в районе исследований (рис. 2) и оценить мощность осадочного чехла (рис. 6). Полученные содержательные физические оценки положения фундамента и выявленная приуроченность магнитных аномалий к пластовым телам основного состава позволили сформулировать ряд принципиальных выводов о строении верхней части земной коры нашего региона исследований.

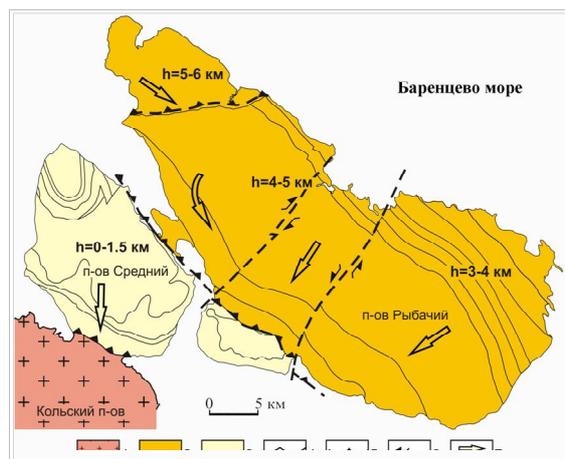


Рис. 6. Основные тектонические элементы района п-овов Среднего и Рыбачьего (по Сорохтину и др., [1, 2, 4] с дополнениями). Цифрами показана оценка мощности рифейского чехла. Условные обозначения: 1 – верхнеархейские комплексы Кольского п-ова; 2 – отложения среднего рифея; 3 – отложения верхнего рифея и, возможно, венда; 4 – геологические границы; 5–6 – крупные линеаменты: 5 – сбросо-надвижки; 6 – сдвиги; 7 – генерализованные направления смещения блоков коры

Первый из них касается существенного отличия в условиях формирования, строении и тектонике геологических образований п-овов Средний и Рыбачий. В геофизических полях эти два объекта представляются принципиально различными блоками коры, вероятно, с различным типом осадочного чехла и кристаллического фундамента, причем фундамент в пределах п-ова Средний по петрофизическим параметрам и характеру аномальных полей можно считать прямым продолжением типичных кристаллических пород Мурманского блока. Максимально возможная мощность осадочного рифейского чехла в пределах п-ова Средний не должна превышать 1–2 км, что следует из петрофизических свойств пород фундамента и собственно чехла, а также из оценок поперечных размеров локальных аномалий гравитационного и магнитного полей в данном регионе (рис. 6).

В пределах п-ова Рыбачий по данным комплексной аэросъемки (магнитное поле, аномалии содержания легких УВ в приземном слое, гамма-спектрометрия) прослеживается возможность выделения трех различных блоков, отличающихся характером геологического строения, выраженного в аномальных полях. Фундамент территории п-ова Рыбачий представляется иным, нежели примыкающий с юга архейский Мурманский блок. Ориентировка региональных аномалий в пределах п-ова Рыбачий не совпадает с ориентировкой локальных геофизических аномалий, что указывает на значительную роль более поздних тектонических процессов в формировании этой крупной структурной единицы. В развитии территории присутствуют элементы сдвиговой тектоники. Характер сочленения п-овов Рыбачий и Средний представляется как правосторонний сдвиг с надвиговой компонентой перемещений. Оценка мощности осадочного чехла дается в пределах первых километров (3–6 км), что согласуется с результатами сейсмических работ МОГТ.

Комплексный анализ геолого-геофизических данных позволяет выделить перспективную на поиски месторождений УВ площадь, а геохимический анализ проб, взятых из двух поисковых скважин, показал, что состав газа многокомпонентен и имеет явный метановый тренд, при этом образование газа происходило, вероятно, при смешении трех источников – низкотемпературной компоненты биогенного происхождения, высокотемпературного глубинного газа абиогенной природы и сланцевого газа [1, 2, 4].

### 3. Выводы

Исследования пологозалегающих и слабометаморфизованных осадочных толщ северо-западной части Тимано-Варангерского пояса показали, что они могут обладать очень большим нефтегазоносным потенциалом как традиционного, так и нетрадиционного типов. Изучение физических свойств горных пород разреза выявило наличие благоприятных условий для формирования залежей углеводородного сырья и, в первую очередь, для скоплений сланцевого газа. К сожалению, бурение первой (Пограничная-1, глубиной 5202 м) и второй (Рыбачинская, глубиной 3001 м) параметрических скважин вскрыло разрезы только одной из трех структурно-фациальных зон, что не дало полного представления о перспективах остальной территории на поиски углеводородного сырья. Мало того, они были пробурены в пограничной зоне и не могли подсесть продуктивные горизонты, так как находились в области развития крупного разлома.

Проведение комплексных геолого-геофизических исследований в регионе показало, что в пределах п-ова Рыбачий возможно существование областей с потенциальной концентрацией углеводородов, находящихся в рифейском осадочном чехле, а их локализация контролируется крупными разрывными нарушениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа России и прогнозные критерии поиска УВ сырья в прибрежной зоне Кольского региона / Н.О. Сорохтин [и др.] // Вестник КНЦ РАН. 2010. № 1. С. 66–82.
2. Потенциальная нефтегазоносность западной части Арктического шельфа России и прогнозные критерии поиска УВ сырья в прибрежной зоне Кольского полуострова / Н.О. Сорохтин и др. // Вестник МГТУ. 2010. Т. 13, № 4/1. С. 736–750. (Труды МГТУ).
3. Геология и потенциальная нефтегазоносность п-ова Рыбачий (Кольский полуостров) / Н.О. Сорохтин [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 5. С. 14–19.
4. Нефтегазоносность неопротерозойских осадочных комплексов Тимано-Варангерского пояса / Н.О. Сорохтин [и др.] // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 2. С. 349–363.
5. Sorokhtin N. O., Chilingar G. V., Kozlov N. E. & Shin S. Geodynamic Evolution of Oil and Gas Basins in the European Part of the Eurasian Arctic Shelf. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2012. Vol. 34, Issue 22. December. P. 2092–2103.
6. Sorokhtin N. O., Chilingar G. V., Kozlov N. E. & Shin S. The Oil and Gas Potential of the Eurasian Western Arctic Shelf. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2012. Vol. 34, Issue 23. December. P. 2220–2233.
7. Sorokhtin N.O., Chilingarian G.V., Kozlov N.E., Glaznev V.N. Oil and gas content of the Eurasian western arctic shelf and prediction criteria of searching hydrocarbonic raw materials in a coastal zone of the Kola region // Izvestia RANS (Russian academia of natural sciences). Special issue. 2012. Vol. 21. P. 119–135.
8. Идентификация коровых отражений в зоне перехода от Балтийского щита к Баренцевоморской плите как основа прогнозирования полезных ископаемых / В.Н. Глазнев [и др.] // Вестник ВГУ. 2014. № 1. С. 95–102.
9. Отчет по комплексной аэрогеофизической (магнитной, гамма-спектрометрической, газовой на метан и пропан) съемке масштаба 1 : 50000 на территории Мурманской области (район п-овов Средний и Рыбачий) / Гололобов Ю.Н. (отв. исп.); ФГУ НПП «Геологоразведка». СПб., 2003. 85 с. 12 граф. прил.

#### Сведения об авторах

*Сорохтин Николай Олегович* – д.г.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории геодинамики и сейсмологии Института океанологии им. П.П. Ширшова; e-mail: nsorokhtin@ocean.ru

*Козлов Николай Евгеньевич* – д.г.-м.н., профессор, зав. лабораторией Геологического института КНЦ РАН; директор Апатитского филиала МГТУ, профессор кафедры геологии и полезных ископаемых; e-mail: kozlovne@afmgmtu.apatity.ru

*Глазнев Виктор Николаевич* – д.ф.-м.н., зав. кафедрой геологического факультета Воронежского государственного университета; e-mail: victor.glaznev@smtpr.ru

*Чикирëв Игорь Владимирович* – к.г.-м.н., научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; зам. директора Апатитского филиала МГТУ, профессор кафедры геологии и полезных ископаемых, e-mail: chikiryeviv@afmgmtu.apatity.ru

*Никифоров Сергей Львович* – д.г.н., заведующий лабораторией сейсмостратиграфии Института океанологии им. П.П. Ширшова; email: nikiforov@ocean.ru

УДК 551.72

## СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ПЛАСТОВЫХ СТРОМАТОЛИТОВ ПОЛУОСТРОВА СРЕДНИЙ (КОЛЬСКИЙ РЕГИОН)

П.В. Медведев<sup>1</sup>, Ю.Л. Войтеховский<sup>2,3</sup>, С.Ю. Чаженгина<sup>1</sup>, И.В. Чикирёв<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии КарНЦ РАН

<sup>2</sup>Геологический институт КНЦ РАН

<sup>3</sup>Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета

### Аннотация

В статье рассматривается состав и строение пластовых строматолитов в карбонатных отложениях каруярвинской свиты на п-ове Средний. Делается вывод о том, что они являются ископаемыми микробиальными постройками, однако отнесение пластовых строматолитов п-ова Средний к формальному раннерифейскому виду *Stratifera flexurata* Komar 1966 является необоснованным.

### Ключевые слова:

*верхнепротерозойские отложения, пластовые строматолиты, п-ов Средний, о.Кильдин.*

### Введение

Территория п-овов Средний, Рыбачий и о. Кильдин – часть единого позднепротерозойского (неопротерозойского) Тимано-Варангерского складчато-разрывного пояса, обрамляющего Восточно-Европейскую платформу с северо-востока. Относительный возраст неопротерозойских отложений может определяться по строматолитам, которые представляют собой сложные биогенно-седиментационные постройки, образующиеся в результате жизнедеятельности цианобактерий. Не повторяющиеся последовательности формальных таксонов строматолитов в наиболее полных разрезах Северной Евразии распадаются на отчетливые по составу комплексы, определяющие узнаваемость таких крупных подразделений докембрия, как нижний протерозой (карелий), три эратемы рифея (бурзаний, юратиний, каратавий) и венд [1]. В Кольском регионе столбчатые строматолитовые постройки наиболее широко распространены в карбонатных породах коровинской свиты (кильдинская серия) верхнего рифея на о. Кильдин [2, 3]. В 2006 г. впервые на п-ове Средний среди карбонатных пород каруярвинской свиты (кильдинская серия) определены нижнерифейские пластовые строматолиты *Stratifera flexurata* Komar 1966 [4, 5]. Но такое определение противоречит позднерифейскому возрасту кильдинской серии по изотопным данным и не согласуется с описаниями И.Н. Крылова, В.В. Любцова и М.Е. Раабен верхнерифейских форм столбчатых строматолитов среди отложений кильдинской серии на о. Кильдин. Чтобы разрешить это противоречие, авторы статьи исследовали состав и строение пластовых образований из карбонатных пород каруярвинской свиты (кильдинская серия) п-ова Средний.

### Методика работ и обсуждение полученных результатов

Каруярвинская свита сложена ритмично переслаивающимися пестроцветными (от красных до зеленовато-серых) аркозовыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами и темно-серыми доломитами. В последних и обнаружены пластовые строматолиты (рис. 1). Мощность ритмов изменяется от 1.8 до 2.6 м (мощность слоев доломита – от 0.5 до 1.2 м. Видимая мощность разреза каруярвинской свиты около 70 м. На поверхности напластования пород сохранились различные седиментационные текстуры – симметричные знаки ряби (рис. 2), трещины усыхания (рис. 3) и глиптоморфозы по кубическим кристаллам галита (рис. 4), свидетельствующие об осадконакоплении в условиях жаркого климата на периодически осушаемой приливно-отливной

равнине соленого бассейна. Кроме того, в доломитах встречены нодулярные псевдоморфозы кальцита по гипсу и кубические кристаллы пирита, замещаемого гематитом.



Рис. 1. Пластовые строматолиты в отложениях каруярвинской свиты



Рис. 2. Симметричные знаки ряби на поверхности напластования отложений каруярвинской свиты



Рис. 3. Трещины усыхания на поверхности напластования отложений каруярвинской свиты



Рис. 4. Глиптоморфозы по кубическим кристаллам галита на поверхности напластования отложений каруярвинской свиты

Рассматривая строматолиты как микробиальные постройки, необходимо обосновать их биогенность. Для этого существует ряд критериев, важнейший из которых – наличие в элементарных наслоениях fossilized микроорганизмов или следов их жизнедеятельности [6]. Для обнаружения таких структур шлифы строматолитов внимательно изучались на лазерном сканирующем микроскопе VK 9710 под различными увеличениями. Признаки следов микробиальной жизни в пластовых строматолитах п-ова Средний отмечались предыдущими исследователями в виде сгустковой (комковатой) структуры пелитоморфного доломита, наличия темных нитевидных и трубчатых микрообразований [4, 5]. Помимо нитевидных выделений углеродистого вещества в темных наслоениях (рис. 5), нами обнаружены

многочисленные ленточные микрообразования в светлых слоях, сложенных кристаллическим доломитом (рис. 6).

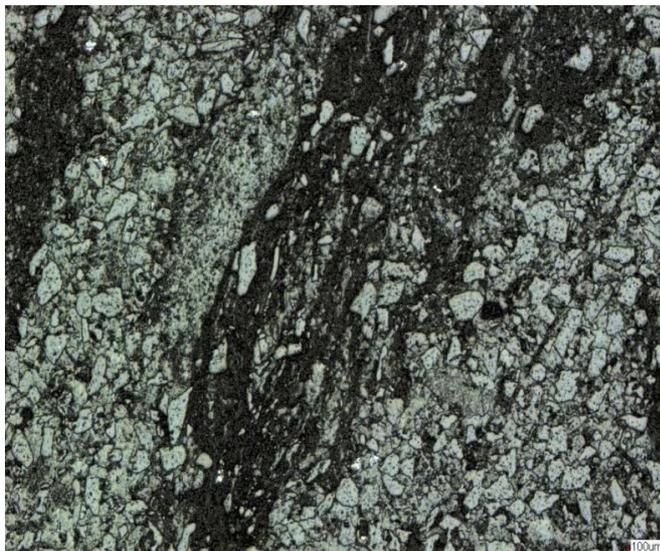


Рис. 5. Нитевидные выделения углеродистого вещества в шлифе 905. Изображение под лазерным сканирующим микроскопом, объектив 10. Масштабный отрезок (белое) 100 мкм

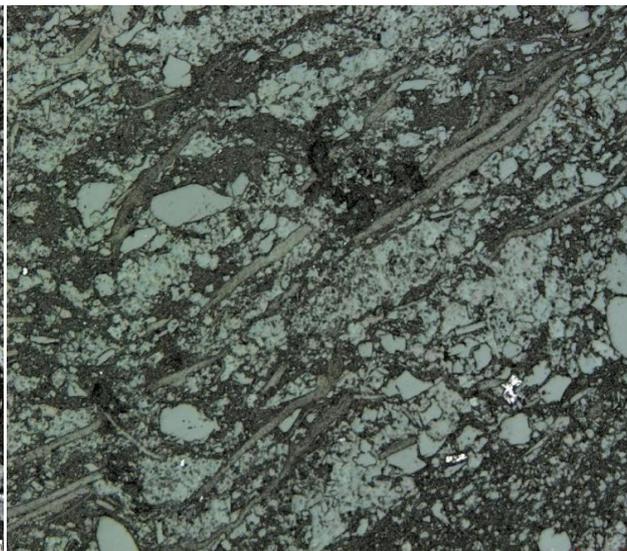


Рис. 6. Ленточные микрообразования в светлом наложении. Шлиф 905А. Изображение под лазерным сканирующим микроскопом, объектив 20. Масштабный отрезок (белое) 100 мкм

Углеродистое вещество темных наложений изучено методом спектрального комбинационного рассеивания (рамановская спектроскопия). Он может быть использован непосредственно для изучения строматолитов *in situ*, не разрушая образец. В последнее время метод широко применяется для исследования микробных фоссилий в горных породах докембрийского возраста [7–11], так как он позволяет на микроуровне определить минеральный состав пород и, что особенно важно, идентифицировать углеродистое вещество (УВ) и определить его спектральные характеристики.

Спектры комбинационного рассеяния УВ строматолитов были получены с поверхности петрографических шлифов на дисперсионном Раман-спектрометре Nicolet Almega XR с возбуждением аргоновым лазером с длиной волны 532 нм. Для фокусировки лазерного луча на поверхности образца использовался 50-кратный объектив конфокального микроскопа, что позволяло получить сигнал с области размером около 2 мкм.

В результате изучения методом рамановской спектроскопии установлено, что минеральный состав строматолитов представлен преимущественно доломитом, кварцем, рутилом, анатазом, мусковитом, альбитом, микроклином, пиритом, гематитом и УВ. Темные слои построек состоят из доломита и УВ с зернами кварца, анатаза, рутила и мусковита, светлые – из мелкокристаллического доломита с зернами кварца, анатаза и рутила. УВ представлено слойками толщиной от 0.05 до 0.5 мм (рис. 7).

Характеристики рамановского спектра УВ не являются индикаторами его биогенного или абиогенного генезиса. Однако даже идентификация УВ в древних строматолитах имеет большое значение. Метод рамановской спектроскопии дает возможность определить степень метаморфических преобразований УВ и, следовательно, судить о его сингенетичном происхождении.

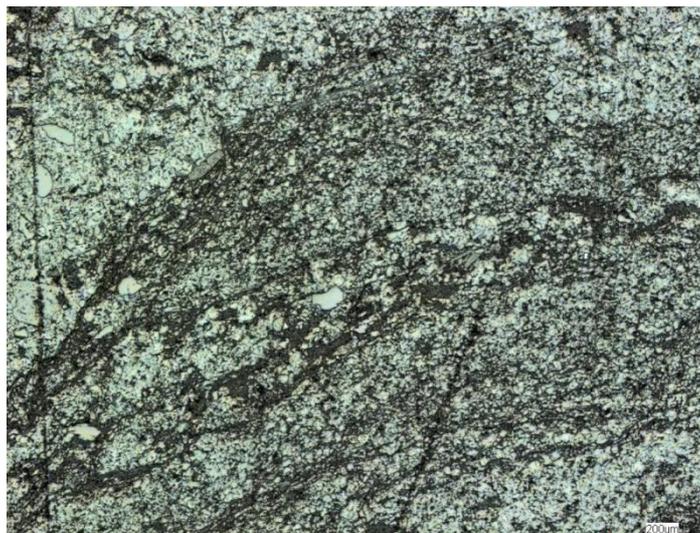


Рис. 7. Характер строматолитовых наслоений. Темные прослои обогащены углеродистым веществом. Шлиф 905В. Изображение под лазерным сканирующим микроскопом, объектив 10, масштабный отрезок (белое) 200 мкм

Вопрос о влиянии полировки образца УВ и его ориентации относительно лазерного пучка на параметры спектра остается дискуссионным [12–14], однако, было показано, что для разупорядоченного УВ влияние этих факторов незначительно [15, 16]. Параметры спектра, такие как положение, интенсивность, интегральная интенсивность и ширина на половине высоте линий (полуширина), были рассчитаны путем разложения исходных спектров с использованием функции Войта в программе OMNIC.

Значения параметров рамановских спектров изученных строматолитов попадают в область значений, соответствующую УВ, испытавшему слабые метаморфические преобразования ( $27\text{ }^{\circ}\text{C} > T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), и источником происхождения (исходным УВ) которого, вероятно, являлось УВ сложного состава. Эти температуры соответствуют степени метаморфических преобразований вмещающих пород, что позволяет сделать вывод о сингенетичном происхождении УВ, а сложный состав исходного УВ может служить аргументом в пользу его биогенного происхождения.

## Вывод

Результаты проведенного исследования позволяют говорить о том, что пластовые образования в доломитах каруярвинской свиты на п-ове Средний действительно являются ископаемыми микробиальными постройками. Однако отнесение их С.А. Анисимовой к формальному раннерифейскому виду *Stratifera flexurata* Komar 1966 [4, 5] необоснованно. Главное противоречие – отсутствие у пластовых строматолитов п-ова Средний «сближенных между собой иногда разветвляющихся столбиков» ([17], с. 91; табл. XII, рис. 1). Учитывая пластообразную морфологию и простейшую структуру строматолитовых наслоений у стратифер, наличие «ложных столбиков» у *Stratifera flexurata* Komar 1966 – важный диагностический признак, отсутствие которого не позволяет отнести изученные строматолиты к данному формальному виду.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семихатов М.А. Методическая основа стратиграфии рифея // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3, № 6. С. 33–50.
2. Крылов И.Н., Любцов В.В. Строматолитовые бигермы острова Кильдин // Природа и хозяйство Севера. Мурманск, 1976. Вып. 4. С. 50–56.
3. Raaben M.E., Lyubtsov V.V. Stromatolites on Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // Norwegian-Russian

Collaboration Programme «North Area», 1-st International Barents Symposium (Abstracts), 21–24 October 1993, Kirkenes, Norway. Abstract Volume. 1993. P. 33. **4.** Михайленко Ю.В., Иванов Н.Ф. О рифейских пластовых строматолитах карюярвинской свиты полуострова Средний (северное побережье Кольского полуострова) // Проблемы современной палинологии: материалы XIII Росс. палинологической конф. 2011. Т. 1. С. 267–271. **5.** Михайленко Ю.В. Состав и микроструктура пластовых строматолитов карюярвинской свиты п-ова Средний (северо-восточное обрамление Кольского полуострова) // Вестник ИГ Коми НЦ РАН. 2015. № 5. С. 12–18. **6.** McLoughlin N., Melezhik V.A., Brasier A.T., and Medvedev P.V. Palaeoproterozoic Stromatolites from the Lomagundi-Jatuli Interval of the Fennoscandian Shield // Earth's Oxygenation and Associated Global Events: The FAR-DEEP Perspective. 7.8 Traces of Life. Vol. 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project: Reading the Archive of Earth's Oxygenation (Springer Series: Frontiers in Earth Sciences) / V.A. Melezhik, A.R. Prave, E.J. Hansk, A.E. Fallick; A. Lepland, L.R. Kump, H. Strauss (Eds.). 2013. XXII. P. 1298–1351. **7.** Allwood A.C., Walter M.R., Marshall C.P. Raman spectroscopy reveals thermal palaeoenvironments of c. 3.5 billion-year-old organic matter // Vib. Spectrosc. 2006. Vol. 41. P. 190–197. **8.** Bower D.M. Micro Raman spectroscopic investigations of mineral assemblages in parallel to bedding laminae in 2.9 Ga sandstones of the Pongola Supergroup, South Africa // J. Raman Spectrosc. 2011. Vol. 42. P. 1626–1633. **9.** Marshall C.P., Edwards H.G.M., Jehlicka J. Understanding the application of Raman spectroscopy to the detection of traces of life // Astrobiology. 2010. Vol. 10. P. 229–243. **10.** Schopf J.W., Kudryavstev A.B. Confocal laser scanning microscopy and Raman imagery of ancient microscopic fossils // Precambrian Res. 2009. Vol. 173. P. 39–49. **11.** Schopf J.W., Kudryavstev A.B., Agresti D.G., Czaja A.D., Wdowiak T.J. Raman imagery: a new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils // Astrobiology. 2005. Vol. 5. P. 333–371. **12.** Aoya M., Kouketsu Y., Endo S., Shimizu H., Mizukami T., Nakamura D., Wallis S.R. Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks // J. Metamorphic Geol. 2010. Vol. 28. P. 895–914. **13.** Beyssac O., Goffé B., Chopin C., Rouzaud J.-N. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer // J. Metamorphic Geol. 2002. Vol. 20. P. 859–871. **14.** Beyssac O., Bollinger L., Avouac J.P., Goffé B. Thermal metamorphism in the lesser Himalaya of Nepal determined from Raman spectroscopy of carbonaceous material // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. Vol. 225. P. 233–241. **15.** Sforza M.C., van Zuilen M.A., Philippot P. Structural characterization by Raman hyperspectral mapping of organic carbon in the 3.46 billion-year-old Apex chert, Western Australia // Geochim. Cosmochim. Acta. 2014. Vol. 124. P. 18–33. **16.** Van Zuilen M.A., Chaussidon M., Rollion-Bard C., Marty B. Carbonaceous cherts of the Barberton greenstone belt, South Africa: isotopic, chemical and structural characteristics of individual microstructures // Geochim. Cosmochim. Acta. 2007. Vol. 71. P. 655–669. **17.** Комар В.А. Строматолиты верхнедокембрийских отложений севера Сибирской платформы. М.: Наука, 1966. 122 с.

#### Сведения об авторах

*Медведев Павел Владимирович* – к.г.-м.н., старший научный сотрудник Института геологии КарНЦ РАН; e-mail: pmedved@krs.karelia.ru

*Войтеховский Юрий Леонидович* – д.г.-м.н., профессор, директор Геологического института КНЦ РАН; заведующий кафедрой геологии и полезных ископаемых Апатитского филиала МГТУ; e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

*Чаженгина Светлана Юрьевна* – к.г.-м.н., научный сотрудник Института геологии КарНЦ РАН; e-mail: chazhengina@mail.ru

*Чикирёв Игорь Владимирович* – к.г.-м.н., доцент, научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; профессор Апатитского филиала МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых; e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru

УДК 551.251; 552.164 (470.21)

**К ПРОБЛЕМЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГЛУБИННЫХ СДВИГОВЫХ ЗОН (НА ПРИМЕРЕ ЛАПЛАНДСКО-БЕЛОМОРСКОГО ШВА)**

Л.С. Петровская<sup>1</sup>, В.П. Петров<sup>2</sup>, М.Н. Петровский<sup>1</sup>, А.В. Базай<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт КНЦ РАН

<sup>2</sup>Кольский научный центр РАН

**Аннотация**

В ходе геолого-петрологических исследований структурно-вещественных комплексов Лапландско-Беломорского тектонического шва были получены и сопоставлены термодинамические условия образования пород разного литохимического состава с неодинаковой степенью деформационно-вещественных преобразований. Показано, что при сопоставимых температурных условиях формирования гранатсодержащие минеральные ассоциации в зонах интенсивных пластических деформаций характеризуются повышенными и высокими оценками давлений относительно зон слабого проявления пластических деформаций. В пределах локальных участков «надбавка» тектонического давления достигает 2–6 кбар относительно фонового.

**Ключевые слова:**

*метаморфизм, термодинамические условия, тектонические сдвиговые зоны, пластические деформации, минеральные парагенезисы, сверхдавления.*

**Введение**

Одной из дискуссионных проблем метаморфической петрологии является проблема пространственно-временного проявления деформационно-вещественных преобразований в земной коре и их генетической взаимосвязи, а также приуроченности наиболее глубоких изменений пород к зонам повышенных деформаций, что находит свое отражение в известной концепции стресс-метаморфизма, показывающей возможное влияние тектонического фактора на термодинамические параметры и кинетику метаморфических реакций. Внимание петрологов вновь обращено к проблеме, связанной с выяснением геологической природы давления, а именно составляющих его компонентов – литостатического и тектонического, а также условий возникновения сверхдавления и генезиса высокобарных метаморфических комплексов в целом.

По инициативе акад. РАН Ф.П. Митрофанова в Программу фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН № 6 «Динамика континентальной литосферы: геолого-геофизические модели» был включен проект «Исследования влияния тектонических деформаций на вариации термодинамических преобразований в земной коре», руководство которым осуществлял заведующий лабораторией тектоники и геодинамики ИФЗ РАН, д.г.-м.н., профессор Ю.А. Морозов. Главной задачей исследований по данному проекту являлось методически унифицированное изучение соотношения тектонического фактора и параметров метаморфических процессов с акцентом на изучение природы феномена повышенных давлений.

Термодинамические параметры проявления эндогенных процессов, в том числе и тектонометаморфических, устанавливаются различными методами геотермобарометрии, а существующие подходы к пониманию их геологической природы коротко можно охарактеризовать следующим образом: 1) оценки P-T условий образования метаморфических минеральных ассоциаций непосредственно отражают глубинность процессов, т.е. давление метаморфическое ( $P_{мет}$ ) адекватно давлению литостатическому ( $P_{лит}$ ),  $T$  – геотермический режим земной коры; 2) эти оценки имеют сложную природу в зависимости от роли эндогенных энергетических факторов, контролирующих процессы метаморфизма. Так, в качестве источников тепловой энергии могут рассматриваться: а) стационарный геотермический поток;

б) тектонический, сопряженный с развитием деформаций различной природы; в) магматический, связанный с внедрением магм в комплексы пород, подвергающихся метаморфизму; г) динамическая энергия, которая связана с литостатикой, тектоникой и тепловыми напряжениями; 3) практически все минеральные реакции и превращения, включая твердофазные равновесия, происходят с учетом флюидов и растворов. Поэтому многие исследователи считают, что  $P_{мет}$  равно давлению флюидному ( $P_{фл}$ ), особенно для глубинных зон.

### Объекты и методы исследований

Применительно к метаморфическим комплексам Кольского региона проблема зависимости P-T параметров от интенсивности тектонических деформаций впервые была изучена О.А. Беляевым с соавторами [1].

Предметом настоящих исследований являются различные по своему происхождению и вещественному составу супракрустальные комплексы Воче-Ламбинского зеленокаменного пояса, Кислогубской и Майяврской тектонических пластин и Куркенйокской клиновидной зоны, расположенные в пределах Приимандровского блока (рис. 1).

Алгоритм исследований включает в себя: изучение пространственного распределения вариаций структурно-текстурных преобразований метаморфических комплексов, расположенных в зонах пластических сдвиговых деформаций; детальное картирование и опробование участков, сложенных породами однородного литохимического состава, но различающихся как по характеру и интенсивности деформаций, так и по гетерогенности вещественного сложения; изучение петрохимического состава пород; тщательный отбор каменного материала для дальнейшего изучения минеральных ассоциаций, сформированных в условиях различной интенсивности тектонометаморфических преобразований (для данных исследований целенаправленно выбирались гранатсодержащие породы, так как именно химический состав гранатов чувствителен к изменению P-T условий окружающей среды); заключительный этап характеризовался изучением особенностей минеральных ассоциаций и количественной оценкой P-T параметров их формирования.

Аналитическая часть работы выполнена в лабораториях Геологического института КНЦ РАН. Химический состав пород определялся методом весового анализа (аналитики Л.И. Константинова, к.б.н. М.Н. Тимофеева).

Изучение пород на оптическом микроскопе сопровождалось детальными исследованиями минералов с помощью электронного сканирующего микроскопа «Leo 1450» с энергетической приставкой «Roentec» при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда на образце 100–1000 нА. Составы пороодообразующих минералов определялись на рентгеноспектральном микроанализаторе «Самса MS-46» при ускоряющем напряжении 22 кВ и токе зонда на образце 30 нА.

Термодинамические условия формирования минеральных парагенезисов, в зависимости от их состава, определялись различными методами с помощью программы TPF (версия 7.0), разработанной сотрудниками ИЭМ РАН – В.И. Фонарёвым, А.А. Графчиковым и А.Н. Кониловым (1998). Определение термодинамических параметров для гранат-биотитовых гнейсов проводилось по ряду геобарометрических равновесий [3, 4] для ассоциации  $Grt + Bt + Pl + Qtz + Ms^*$ , с учетом данных Grt-Bt геотермометра [5], для гранат-двуслюдяных гнейсов – при совместном решении Grt-Bt геотермометра [5] и Grt-Pl-Bt-Ms-Qtz геобарометра [6].

\* Принятые сокращения: Amp – амфибол, Bt – биотит, Grt – гранат, Ms – мусковит, Pl – плагиоклаз, Alm – альмандин, Grs – гроссуляр, Ptp – пироп, Sps – спессартин; для граната, биотита и мусковита –  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe+Mn)$ ; для амфибола –  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ,  $(Na+K)_A$  – Na и K в позиции А, кристаллохимическая формула амфибола рассчитывалась на 23 атома кислорода; для плагиоклаза –  $X_{Ca} = Ca/(Ca+Na+K)$ ; содержание  $TiO_2$  в биотите и мусковите приведено в мас. %.

Термодинамические параметры условий формирования гранатовых амфиболитов и гранат-биотит-амфиболовых гнейсов были получены при совместном решении Grt-Hbl геотермометра [7] и Grt-Hbl-Pl-Qtz геобарометра [8].

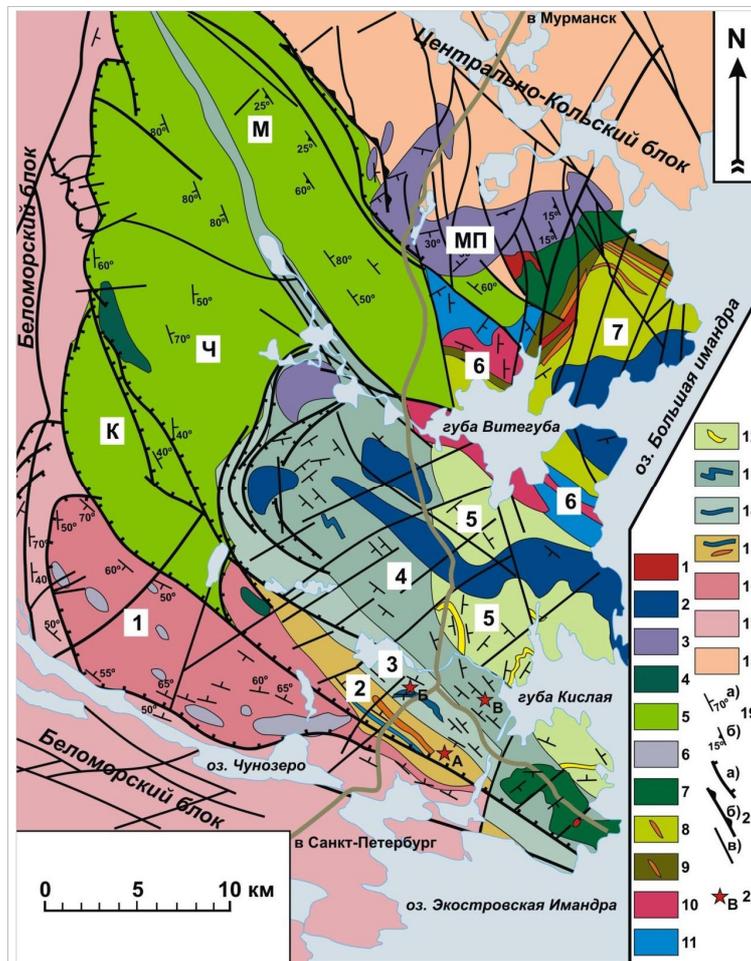


Рис. 1. Структурно-геологическая схема Приимандровского района (с упрощениями по [9]).  
Условные обозначения:

1–7 – интрузивные комплексы; 8–18 – метаморфические комплексы; 19–20 – структурные элементы: 19 – элементы залегания полосчатости и гнейсовидности (а), расслоенности (б); 20 – сдвиги-надвиги и надвиги (пологие (а), крутые (б) и субвертикальные разломы (в)); 21 – детальные участки: А – Воче-Ламбинский геодинамический полигон, Б – Майяврский, В – Гора Курковая. Цифрами на карте обозначены структурные зоны: 1 – Чуноозерско-Воче-Ламбинская зона Лапландско-Беломорского тектонического шва; 2 – фрагмент Воче-Ламбинского зеленокаменного пояса; 3 – Майяврская пластина; 4 – Кислогубская пластина; 5 – Куркенйокская зона; 6 – Витегубская зона; 7 – Рижгубская зона. Буквами на схеме обозначены интрузивные массивы: К – Керкчоррский; М – Мончетундровский; МП – Мончегорский плутон; Ч – Чуноундровский

### Геолого-петрологическая характеристика объектов исследований

Район исследований расположен в области сочленения Кольского и Беломорского мегаблоков, а также западного фланга Имандра-Варзугской структуры и рассматривается как Приимандровский блок (рис. 1). Структурные особенности Приимандровского блока характеризуются многократным развитием в позднем архее и в раннем протерозое систем

комплементарных разломов, осложненных более поздними субвертикальными разломами различной ориентировки. В пределах блока выделяются крупные позднеархейские и раннепротерозойские структуры, а также их фрагменты, сложенные породами различного вещественного состава и генезиса, имеющие тектонические границы. Все вещественные комплексы являются вторично переработанными с автономными внутренними структурами, которые являются дискордантными по отношению к границам тел [9].

### **I. Фрагмент Воче-Ламбинского зеленокаменного пояса**

Располагается в пределах мощной сдвиговой зоны, маркирующей контакт двух структурно-вещественных комплексов архея: раннеархейского (древнее 2.80 млрд лет) гранитогнейсового (инфракомплекса) и позднеархейского (моложе 2.76 млрд лет) зеленокаменного, осадочно-вулканогенного (супракомплекса) (рис. 1). Эндогенная история супракомплекса характеризуется проявлением двух тектоно-метаморфических циклов. К первому, раннеархейскому, циклу с интервалом в 2.76–2.53 млрд лет относится формирование мелких изоклинальных складок, сохранившихся в виде единичных реликтов, а также метаморфизм амфиболитовой фации кианит-силлиманитового типа [2, 9, 10]. Поздний тектонометаморфический цикл отделен от раннего цикла внедрением интрузивных пород, представленных базитами, ультрабазитами, габбро-анортозитами, плагиомикроклиновыми гранитами. В рамках второго тектонометаморфического цикла и была сформирована линзовидно-чешуйчатая структура пояса, а также зона наиболее интенсивных сдвиговых деформаций или «зона Главного разлома» [2].

Одним из первых объектов исследований послужили гранат-биотитовые гнейсы. Структура гнейсов варьирует в зависимости от интенсивности проявления в них пластических деформаций. Слабдеформированные разновидности характеризуются лепидогранобластовой структурой с мелкозернистым строением основной ткани, а интенсивно пластически деформированные разновидности – гранолепидобластовой с хорошо проявленным бластезом минералов основной ткани, наблюдается укрупнение зернистости всех породообразующих минералов. Главными породообразующими минералами гнейсов являются: гранат (3–8 %), биотит (5–10 %), плагиоклаз (45–55 %), кварц (20–25 %) и ± калиевый полевой шпат (0–2 %). Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, монацитом и сульфидами; вторичные – мусковитом и хлоритом в незначительном количестве. По своим петрохимическим характеристикам все исследованные образцы гранат-биотитовых гнейсов относятся к одному литогеохимическому типу и реконструируются по [11] как высокоглинистые и глинистые метаграувакки. Химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 58.38–71.04;  $\text{TiO}_2$  – 0.32–0.87;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13.02–17.32;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0.13–1.72;  $\text{FeO}$  – 3.69–8.61;  $\text{MnO}$  – 0.05–0.12;  $\text{MgO}$  – 1.19–3.48;  $\text{CaO}$  – 2.60–4.21;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2.83–3.40;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1.33–2.75.

Гранаты гнейсов относятся к пироп-альмандиновому ряду. В зонах интенсивных пластических деформаций гранаты обладают повышенным и высоким содержанием мас. %  $\text{CaO}$  (3.79–7.96 % в центральной части зерна и 3.81–7.91 % – в краевой) относительно гранатов из слабдеформированных зон (3.06–3.55 % в центральной части зерна и 3.18–3.43 % – в краевой), сформированных в сопоставимых температурных условиях (550–710 и 500–640 °C соответственно), что может свидетельствовать об их формировании в условиях повышенных давлений. Составы гранатов из гнейсов в зонах интенсивных пластических деформаций характеризуются повышенным количеством гроссуляровой компоненты (10.6–34.0 %) по сравнению с гранатами из менее деформированных разностей (5.3–10.3 %), более широким диапазоном минимального и максимального количества пироповой компоненты (7.40–18.1 %) и понижением минимального предела альмандиновой – (49.9–71.2 %) по сравнению с гранатами из зон слабдеформированных гнейсов (11.7–15.5 и 69.5–74.4 % соответственно). Фиксируется также широкий разброс минимального и максимального количества спессартиновой составляющей в зонах интенсивных пластических деформаций – 2.8–11.1 % относительно слабдеформированных участков – 4.7–7.7 % (табл. 1).

На кульминационном этапе метаморфизма давление в пределах исследуемого участка варьировало от 4.2 до 11.6 кбар (табл. 1). Максимальные его значения (9.1–11.6 кбар) отмечены в зонах наиболее интенсивных пластических деформаций и в более контрастных по реологическим свойствам пачках пород; в аналогично дислоцированных зонах при меньшей контрастности строения величина давления оценивается в 6.7–10.7 кбар (табл. 1).

Таблица 1

Параметры состава сосуществующих минералов из гранат-биотитовых гнейсов  
Воче-Ламбинской сдвиговой зоны и P-T условия их равновесий

	Grt					Bt		Pl	$T, ^\circ\text{C}$	$P, \text{кбар}$
	Prp	Sps	Alm	Grs	$X_{\text{Mg}}$	TiO <sub>2</sub>	$X_{\text{Mg}}$	$X_{\text{Ca}}$	$T_1$	$P_1$
Зоны интенсивных пластических деформаций										
Образец- Б-3452*										
A <sub>1</sub>	11.9	5.9	51.9	30.3	0.170	2.72	0.532	0.363	656	11.6
A <sub>3</sub>	7.4	8.7	49.9	34.0	0.113	2.72	0.532	0.363	547	9.1
A <sub>4</sub>	9.6	7.9	50.5	32.0	0.142	2.72	0.532	0.363	604	10.4
C <sub>4</sub>	8.4	8.5	51.1	32.0	0.124	1.94	0.527	0.369	574	9.7
Образец Б-3437*										
A <sub>1</sub>	11.7	6.7	62.8	18.8	0.144	2.05	0.485	0.299	645	10.7
C <sub>1</sub>	10.7	8.8	62.5	18.0	0.130	1.62	0.500	0.338	599	9.0
Образец ВЧ-5/4										
A <sub>2</sub>	9.9	6.7	60.6	22.7	0.128	2.08	0.462	0.330	628	10.1
C <sub>2</sub>	8.7	9.1	60.1	22.1	0.112	2.08	0.462	0.330	596	9.1
Образец ВЧ-5/3-3										
A <sub>2</sub>	16.7	4.3	66.0	13.0	0.193	1.66	0.497	0.309	706	10.8
A <sub>3</sub>	10.6	4.4	71.2	13.8	0.123	1.24	0.491	0.387	558	7.8
Образец ВЧ-3437г-1										
A <sub>1</sub>	14.0	3.4	69.1	13.6	0.162	1.65	0.444	0.299	707	11.1
C <sub>1</sub>	12.0	3.8	70.7	13.5	0.138	1.65	0.444	0.350	643	9.0
A <sub>2</sub>	14.6	2.8	69.7	12.9	0.168	1.74	0.485	0.390	665	8.7
Образец ВЧ-3437г-2										
A <sub>1</sub>	12.7	11.1	62.1	14.1	0.148	2.17	0.453	0.342	686	9.8
A <sub>3</sub>	18.1	4.0	67.3	10.6	0.202	1.62	0.509	0.335	697	9.6
C <sub>3</sub>	15.8	4.8	68.4	11.0	0.177	1.62	0.509	0.352	650	8.5
Зоны слабого проявления пластических деформаций										
Образец ВЧ-5/7-1										
A <sub>1</sub>	15.5	4.7	69.5	10.3	0.173	1.68	0.503	0.366	642	7.8
C <sub>1</sub>	12.0	6.3	72.0	9.6	0.133	1.68	0.503	0.366	562	5.7
A <sub>2</sub>	12.1	6.0	72.7	9.2	0.133	1.68	0.505	0.354	558	5.6
C <sub>2</sub>	9.5	8.0	73.0	8.0	0.105	1.68	0.505	0.354	504	4.4
Образец ВЧ-3440/12										
A <sub>1</sub>	14.1	5.5	70.3	10.1	0.157	1.71	0.452	0.267	494	4.8
C <sub>1</sub>	10.3	8.3	71.6	10.3	0.114	1.71	0.452	0.301	427	2.9
A <sub>2</sub>	11.7	6.4	72.5	9.5	0.129	1.62	0.433	0.295	623	7.6
C <sub>2</sub>	9.9	8.6	71.7	9.8	0.110	1.62	0.433	0.295	585	6.8
Образец Б-3440-2-2*										
A <sub>1</sub>	13.3	7.7	73.7	5.3	0.140	2.55	0.556	0.244	527	4.6
A <sub>2</sub>	12.7	7.4	74.4	5.5	0.135	2.55	0.556	0.260	514	4.2
C <sub>1</sub>	9.5	13.1	67.5	9.9	0.106	2.55	0.537	0.257	506	5.8
C <sub>2</sub>	10.1	12.0	68.3	9.6	0.112	2.57	0.542	0.284	507	5.4

Примечание. А – ассоциации, включающие центр Grt, Pl и матричного Bt; С – ассоциации с участием контактирующих зон Grt, Bt и Pl.

\* Образцы из коллекции О.А. Беляева [1].

Термодинамические условия формирования минерального парагенезиса  $\text{Grt}_{81.7-86.1} + \text{Bt}_{49.4-56.0} + \text{Pl}_{29.5-36.6} + \text{Qtz}$  слабдеформированных зон оцениваются в  $T=500-640^\circ\text{C}$ ,  $P=6.0-7.8$  кбар, что, вероятно, характеризует фоновые P-T условия метаморфизма. Для гнейсов из зон

интенсивных пластических деформаций минеральный парагенезис представлен  $\text{Grt}_{79.0-87.0}^{+} + \text{Vt}_{49.0-55.5} + \text{Pl}_{29.9.8-39.0} + \text{Qtz}$ , а термодинамические условия его формирования составляют:  $T=550-710\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P=8.0-11.6\text{ кбар}$ . Аномально высокие давления (9.0–11.6 кбар) могут рассматриваться как сверхдавления, генерируемые при интенсивных деформациях пластического сдвига в неоднородной по своим реологическим свойствам среде (образец 3452\* [1]). В аналогично дислоцированных зонах, но при меньшей контрастности вещества давление оценивается в 7.8–10.7 кбар (образцы: ВЧ-5/3, ВЧ-5/4, 3437Г-1, 3437Г-2 и образец [1] – 3437\*).

Гранатовые парагенезисы, независимо от интенсивности проявления пластических деформаций гнейсов, характеризуются регрессивным температурным трендом кристаллизации, и их фигуративные точки отвечают кианитовому типу метаморфизма (рис. 2). Различия в оценках температур центральных и краевых зон составляют в пределах от 20 до 60 °С для интенсивно пластически деформированных разновидностей гнейсов и до 80 °С – в слабдеформированных (табл. 1).

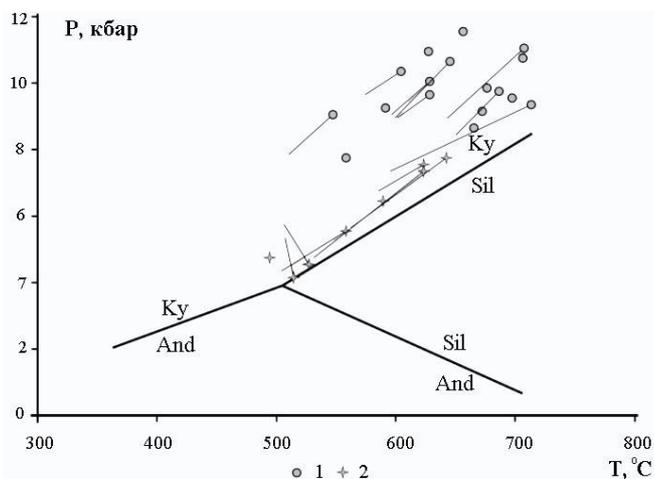


Рис. 2. P-T параметры гранат-биотитовых гнейсов Воче-Ламбинского геодинамического полигона. Условные обозначения:

1 – интенсивно пластически деформированные; 2 – слабдеформированные

## II. Кислогубская тектоническая пластина

Простирается в северо-западном направлении от южного окончания Кислой губы, прослеживается в долине р. Вите между фрагментами массива габбро-анортозитов Монче- и Чуна-Тундр и имеет протяженность около 30 км (при ширине 2–5 км) (рис. 1). Пластина ограничена разломами и сложена позднеархейскими биотит-амфиболовыми ( $\pm$ гранат) и гранат-двуслюдяными гнейсами с прослоями полосчатых полевошпатовых ( $\pm$ гранат) амфиболитов. Она представляет собой сегмент шовной зоны с более низкой степенью преобразования вещества (метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой или низкотемпературной амфиболитовой фаций), чем в Воче-Ламбинском зеленокаменном поясе. Пласты гранатовых двуслюдяных гнейсов смяты в складки, размер которых может достигать сотни метров. Шарниры крупных и более мелких складок погружаются по аз. 110–130° под углами 45–52° [9]. U-Pb возраст метавулканитов кислого состава оценивается в  $2708 \pm 20$  млн лет [12].

В пределах Кислогубской пластины был закартирован участок «Журковая» (рис. 3), сложенный преимущественно единым по своему происхождению и вещественному составу комплексом пород, гранат-двуслюдяными ортогнейсами с резко подчиненным количеством деформированных биотитовых и гранат-биотит-амфиболовых ортогнейсов.

Объектом исследований, прежде всего, послужили гранат-двуслюдяные ортогнейсы, представленные тонко- и мелкозернистыми темно-серыми породами, структура варьирует

в зависимости от интенсивности проявления пластических деформаций. Слабо деформированные разновидности характеризуются лепидогранобластовой структурой с тонкозернистым строением основной ткани, а в интенсивно пластически деформированных разновидностях наблюдается укрупнение всех породообразующих минералов и структура основной ткани характеризуется как гранолепидобластовая. Главными породообразующими минералами ортогнейсов являются: гранат (гроссуляр-альмандинового состава – 0–5 %); биотит (10–15 %); мусковит (5–10 %); плагиоклаз (олигоклаз-андезин и андезин – более 40 %); калиевый полевой шпат (микроклин – 0–15 %) и кварц (20–25 %). Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, титанитом и сульфидами, вторичные – эпидотом и серицитом в незначительном количестве. По своим петрохимическим характеристикам исследованные образцы гранат-двуслюдяных ортогнейсов реконструируются по [13] как ортопороды, а на диаграмме для магматических пород, в системе TAS, их фигуративные точки соответствуют составам дацитов и риодацитов. Химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 68.35–74.10,  $\text{TiO}_2$  – 0.56–0.83,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8.92–12.34,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0.86–2.38,  $\text{FeO}$  – 3.49–6.49,  $\text{MnO}$  – 0.05–0.15,  $\text{MgO}$  – 0.23–1.76,  $\text{CaO}$  – 0.94–2.50,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2.18–4.25,  $\text{K}_2\text{O}$  – 2.34–4.07.

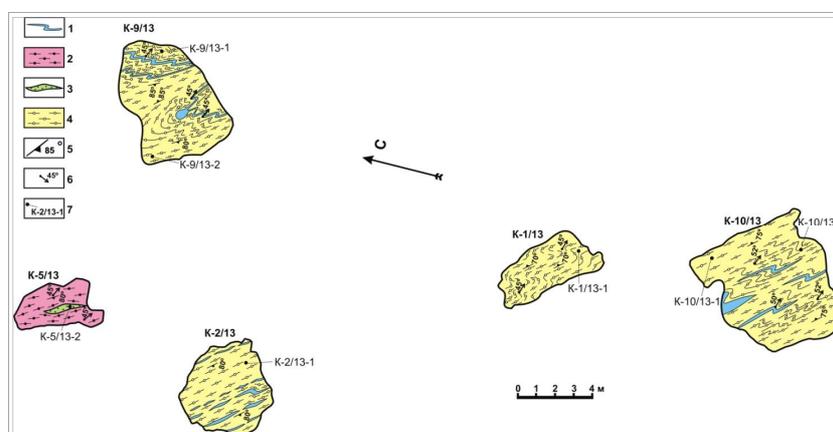


Рис. 3. Детальный участок «Курковая». Условные обозначения:

- 1 – кварцевые прожилки; 2 – деформированные биотитовые ортогнейсы; 3 – интенсивно рассланцованные гранат-биотит-амфиболовые ортогнейсы; 4 – в различной степени деформированные гранат-двуслюдяные ортогнейсы; элементы залегания: 5 – гнейсовидности; 6 – шарниры складок; 7 – точки отбора образцов

В зонах интенсивных пластических деформаций гранаты ортогнейсов обладают повышенным и высоким содержанием мас. %  $\text{CaO}$  (8.79–11.04 % в центральной части зерна и 8.94–11.84 % – в краевой) относительно гранатов из слабдеформированных зон (6.91–6.98 % в центральной части зерна и 7.50–8.02 % – в краевой), сформированных в сопоставимых температурных условиях (610–740 и 620–640 °C соответственно). Составы гранатов в зонах проявления интенсивных пластических деформаций характеризуются повышенным количеством гроссуляровой составляющей (25.0–33.0 %) по сравнению с гранатами из менее деформированных разновидностей (20.0–21.84 %), увеличением пироба (5.77–7.4 % в центральной части зерна и 6.10–7.47 % – в краевой, кроме образца K-9/13-1) и понижением альмандиновой компоненты (54.21–64.26 % в центральной части зерна и 54.90–64.53 % – в краевой, кроме образца K-9/13-1) относительно гранатов из зон слабдеформированных гранат-двуслюдяных гнейсов (0.81–1.12 и 0.81–1.22 %; 72.57–73.36 и 71.70–74.96 % соответственно), фиксируется также незначительное повышение спессартиновой составляющей в зонах интенсивных деформаций (4.92–6.16 % и 3.81–5.52 соответственно) (табл. 2).

Оценки давлений в пределах исследуемого участка варьируют в пределах 8.2–17.1 кбар (табл. 2). Максимальные его значения (11.6–17.1 кбар) отмечены в зонах наиболее интенсивных деформаций, для слабдеформированных участков давление оценивается в диапазоне от 8.2 до 10.1 кбар.

Термодинамические условия формирования минерального парагенезиса  $\text{Grt}_{98.5-98.9} + \text{Vt}_{93-97} + \text{Ms}_{86.7-94.0} + \text{Kfs}_{92.9-95.9} + \text{Pl}_{12.3-17.3} + \text{Qtz}$  слабдеформированных зон оцениваются в  $T=620\text{--}640\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P=8.2\text{--}10.1$  кбар, что, вероятно, характеризует фоновые P-T условия образования гранат-двуслюдяных ортогнейсов в пределах участка (табл. 2).

Таблица 2

Параметры состава сосуществующих минералов из гранат-двуслюдяных и гранат-биотит-амфиболовых гнейсов участка «Курковая» и P-T условия их равновесий

	Grt					Bt		Ms		Pl	T, °C	P, кбар	
	Prp	Sps	Alm	Grs	X <sub>Mg</sub>	TiO <sub>2</sub>	X <sub>Mg</sub>	TiO <sub>2</sub>	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Ca</sub>			
Гранат-двуслюдяные ортогнейсы													
Зоны интенсивных пластических деформаций													
К-10/13-2													
A <sub>1</sub>	6.49	6.16	56.34	31.02	0.103	2.42	0.410	0.28	0.402	0.293	608	11.6	
C <sub>1</sub>	6.79	5.11	55.17	32.93	0.110	2.42	0.410	0.28	0.402	0.293	628	12.3	
A <sub>2</sub>	7.37	5.36	54.21	33.06	0.110	2.42	0.402	0.20	0.386	0.248	663	15.6	
C <sub>2</sub>	7.47	4.89	54.90	32.74	0.111	2.42	0.402	0.20	0.386	0.248	673	16.4	
К-9/13-1													
A <sub>1</sub>	1.35	3.15	70.45	25.05	0.018	3.15	0.070	0.10	0.131	0.108	738	14.4	
C <sub>1</sub>	1.27	3.10	69.22	26.40	0.017	3.15	0.070	0.10	0.131	0.108	727	14.2	
К-1/13													
C <sub>1</sub>	6.17	4.22	64.34	25.26	0.083	2.82	0.274	0.46	0.320	0.257	732	17.7	
A <sub>1</sub>	5.77	4.92	64.26	25.05	0.077	2.82	0.274	0.46	0.320	0.257	710	17.1	
C <sub>1</sub>	6.10	3.20	64.53	26.16	0.083	2.82	0.274	0.46	0.320	0.257	730	17.7	
Зоны слабого проявления пластических деформаций													
К-2/13													
A <sub>1</sub>	1.12	3.81	73.23	21.84	0.014	2.15	0.083	0.19	0.113	0.173	623	8.2	
C <sub>1</sub>	1.22	3.41	71.77	22.60	0.016	2.15	0.083	0.19	0.113	0.173	648	9.0	
К-9/13-2													
C <sub>1</sub>	1.05	4.09	73.17	21.69	0.013	3.37	0.054	0.06	0.060	0.123	711	12.4	
A <sub>1</sub>	0.81	6.55	72.57	20.08	0.010	3.37	0.054	0.06	0.060	0.123	630	9.7	
C <sub>1</sub>	1.00	4.23	71.70	23.07	0.013	3.37	0.054	0.06	0.060	0.123	683	11.6	
A <sub>2</sub>	0.86	5.52	73.36	20.26	0.012	1.53	0.030	0.06	0.060	0.123	642	10.1	
C <sub>2</sub>	0.81	2.22	74.96	22.01	0.011	1.53	0.030	0.06	0.060	0.123	623	9.8	
Гранат-биотит-амфиболовые гнейсы													
Зона интенсивного проявления пластических деформаций													
К-5/2													
	Grt					Bt		Amp			Pl	T, °C	P, кбар
	Prp	Sps	Alm	Grs	X <sub>Mg</sub>	TiO <sub>2</sub>	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Mg</sub>	(Na+K) <sub>A</sub>	Si ф.е.	X <sub>Ca</sub>		
C <sub>1</sub>	1.59	1.01	67.20	30.20	0.023	3.71	0.069	0.070	0.665	6.18	0.156	751	14.2
A <sub>1</sub>	1.37	2.87	66.88	28.88	0.019	3.71	0.069	0.070	0.665	6.18	0.156	687	13.0
C <sub>1</sub>	1.29	3.04	67.77	27.90	0.018	3.71	0.069	0.070	0.665	6.18	0.156	710	13.1
A <sub>2</sub>	1.51	1.10	68.42	28.96	0.021	3.35	0.006	0.060	0.625	6.11	0.151	762	14.0
C <sub>2</sub>	0.84	4.10	66.07	29.00	0.012	3.35	0.006	0.060	0.625	6.11	0.151	668	12.1
A <sub>3</sub>	1.39	1.23	68.03	29.35	0.020	3.35	0.006	0.060	0.678	6.16	0.151	739	13.7
A <sub>4</sub>	1.08	2.45	67.90	28.58	0.015	3.35	0.006	0.060	0.678	6.16	0.151	683	12.8
A <sub>5</sub>	1.58	1.33	69.77	27.33	0.022	3.35	0.006	0.060	0.678	6.16	0.151	768	13.9
C <sub>5</sub>	1.50	1.91	68.49	28.10	0.021	3.35	0.006	0.060	0.678	6.16	0.151	761	13.9

*Примечание.* А – ассоциации, включающие центр граната, плагиоклаза и матричных биотита, мусковита (Ms) из гранат-двуслюдяных ортогнейсов, а также центр граната, плагиоклаза и матричного амфибола (Amp) из гранат-биотит-амфиболовых ортогнейсов; С – ассоциации с участием контактирующих зон граната, биотита, мусковита и плагиоклаза, а также контактирующих зон граната плагиоклаза и амфибола соответственно.

Для гнейсов из зон интенсивных пластических деформаций минеральный парагенезис представлен  $Grt_{89.7-91.7} + Bt_{59-72.6} + Ms_{59.8-68.2} + Kfs_{93.1-95.9} + Pl_{27.8-29.3} + Qtz$ , а термодинамические условия его формирования составляют:  $T=610-740$  °C,  $P=11.6-17.1$  кбар (табл. 2).

В пределах участка «Курковая» в ассоциации с гранат-двуслюдянными ортогнейсами наблюдается коренный выход, сложенный интенсивно пластически деформированными биотитовыми и гранат-биотит-амфиболовыми гнейсами (рис. 3). Изученные образцы гранат-биотит-амфиболовых гнейсов представлены мелко- и среднезернистыми породами серого цвета с зеленоватым оттенком, общая структура характеризуется как порфиробластовая, структура основной ткани – гранолепидобластовая. По своим петрохимическим характеристикам все исследованные образцы гранат-биотит-амфиболовых гнейсов реконструируются по [15] как ортопороды, а на диаграмме для магматических пород, в системе TAS, их фигуративные точки соответствуют составам низкощелочных дацитов. Химический состав (мас. %):  $SiO_2 - 64.48-66.01$ ;  $TiO_2 - 1.02-1.44$ ;  $Al_2O_3 - 10.94-12.52$ ;  $Fe_2O_3 - 1.65-2.49$ ;  $FeO - 7.82-9.21$ ;  $MnO - 0.20-0.23$ ;  $MgO - 0.33-0.52$ ;  $CaO - 3.89-4.26$ ;  $Na_2O - 1.24-3.52$ ;  $K_2O - 1.21-1.24$ .

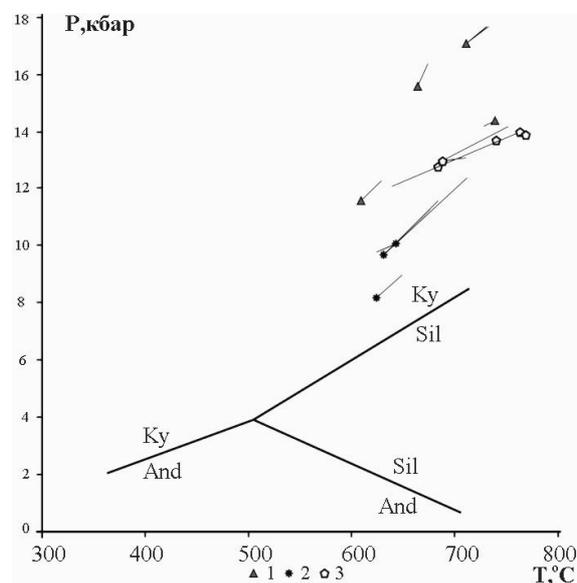


Рис. 4. P-T параметры гранат-двуслюдяных и гранат-биотит-амфиболовых ортогнейсов Кислогубской тектонической пластины. Условные обозначения:

- 1 – интенсивно пластически деформированные и 2 – слабдеформированные гранат-двуслюдяные ортогнейсы; 3 – интенсивно пластически деформированные гранат-биотит-амфиболовые ортогнейсы

Для минеральной ассоциации  $Grt_{93.0-96.3} + Bt_{92.7-95.6} + Amp_{93.0-94.2} + Pl_{15.1-15.6} + Qtz$  из интенсивно пластически деформированных гранат-биотит-амфиболовых ортогнейсов, получены оценки термодинамических параметров ( $T=680-770$  °C и  $P=12.8-14$  кбар), которые являются близкими по термодинамическим значениям рассчитанным для интенсивно пластически деформированных гранат-двуслюдяных ортогнейсов (табл. 2).

Исследованные гранаты из гранат-двуслюдяных и гранат-биотит-амфиболовых ортогнейсов, независимо от интенсивности проявления пластических деформаций, характеризуются прогрессивным температурным трендом кристаллизации, P-T параметры всех минеральных ассоциаций отвечают кианитовому типу метаморфизма (рис. 4). Различия в оценках температур центральных и краевых зон гранатов из интенсивно деформированных гранат-двуслюдяных гнейсов составляют 10–20 °C, а в слабдеформированных разновидностях –

20–80 °С (табл. 2). Для гранатов из интенсивно деформированных гранат-биотит-амфиболовых гнейсов отличие в оценках температур *центр – край* составляет до 70 °С.

### III. Майяврская тектоническая «пластина»

Представляет собой полосу северо-западного простирания, сложенную позднеархейскими толщами гранатовых и гранат-полевошпатовых амфиболитов с резко подчиненным количеством гранат-биотитовых гнейсов (рис. 1). Породы Воче-Ламбинского зеленокаменного пояса и Майяврской тектонической пластины претерпели близкие структурно-метаморфические преобразования двух этапов метаморфизма в условиях амфиболитой фации [9].

В пределах Майяврской тектонической пластины, в районе горы высотой 366.9 м, закартирован детальный участок «Майяврский», сложенный в различной степени деформированными гранатовыми амфиболитами с редкими прослоями слабодеформированных гранат-биотитовых гнейсов (рис. 5).

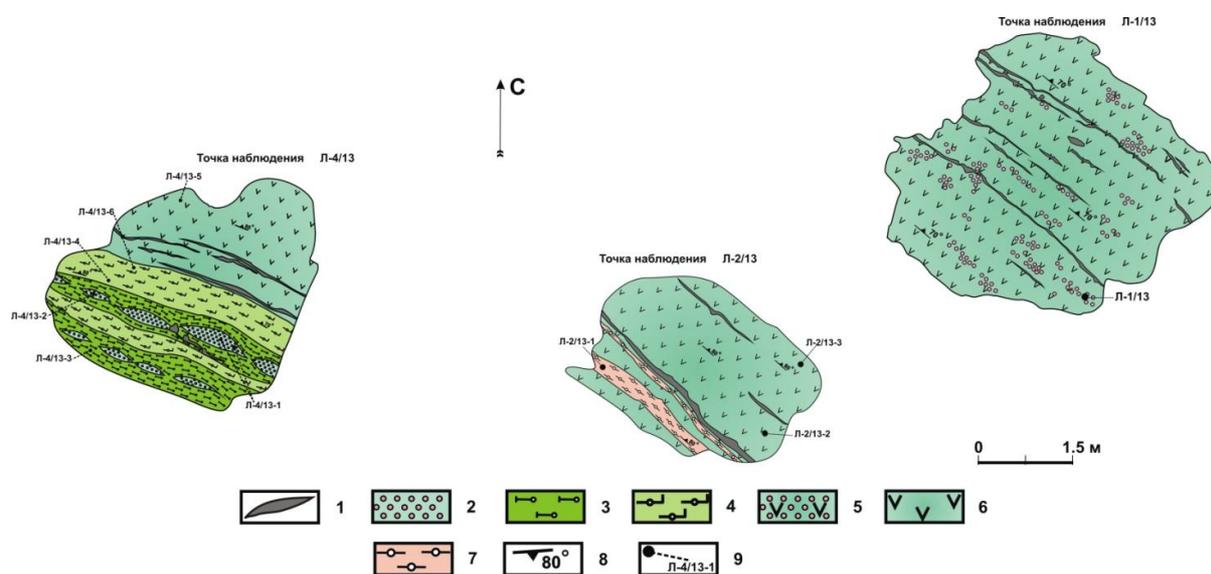


Рис. 5. Детальный участок «Майяврский». Условные обозначения:

- 1 – кварцевые прожилки; 2 – будины гранатовых амфиболитов; 3 – интенсивно пластически деформированные гранатовые амфиболиты; 4 – средней степени пластически деформированные гранатовые амфиболиты; 5 – места скопления крупных порфиробласт граната;
- 6 – слабодеформированные гранатовые амфиболиты; 7 – слабо пластически деформированные гранат-биотитовые гнейсы; 8 – элементы залегания сланцеватости; 9 – точки отбора образцов

Гранатовые амфиболиты представлены массивными мелкозернистыми породами темно-зеленого цвета, структура варьирует в зависимости от интенсивности проявления в них пластических деформаций. Слабо пластически деформированные разновидности обладают массивной текстурой, структура породы порфиробластовая за счет выделений граната, структура основной ткани характеризуется сочетанием гранобластовой и гетерогранобластовой. По мере увеличения интенсивности пластических деформаций (средняя степень) в амфиболитах наблюдается укрупнение всех порообразующих минералов и структура основной ткани характеризуется сочетанием гранонематобластовой и нематогранобластовой с элементами мозаичной. В процессе интенсивных пластических деформаций гранатовые амфиболиты были подвергнуты разлинзованию с образованием будинаж-текстуры, соответственно. Главными порообразующими минералами гранатовых амфиболитов являются: амфибол (роговая обманка – 50–60 %); гранат (пироп-альмандинового состава – 5–10 %); биотит (1–5 %); плагиоклаз (андезин – более 30–35 %) и кварц. Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом,

титанитом, алланитом и сульфидами; вторичные – хлоритом, карбонатом и серицитом в незначительном количестве. По своим петрохимическим характеристикам все исследованные образцы гранатовых амфиболитов реконструируются по [13] как ортопороды, а на диаграмме для магматических пород, в системе TAS, их фигуративные точки соответствуют составам базальтов. Химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 46.75–50.16,  $\text{TiO}_2$  – 0.88–2.72,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12.19–15.67,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1.58–3.02,  $\text{FeO}$  – 10.07–13.43,  $\text{MnO}$  – 0.17–0.26,  $\text{MgO}$  – 4.60–7.62,  $\text{CaO}$  – 8.02–11.22;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2.09–3.06,  $\text{K}_2\text{O}$  – 0.17–0.77.

Гранаты из зон слабо- и интенсивно пластически деформированных амфиболитов относятся к гроссуляр-пироп-альмандиновому и пироп-гроссуляр-альмандиновому рядам, соответственно. В зонах интенсивного расщепления гранаты обладают повышенным и высоким содержанием мас. %  $\text{CaO}$  (11.09–12.78 % в центральной части зерна и 11.31–12.97 % – в краевой) относительно гранатов из средне- и слабodeформированных зон (4.47–7.06 % в центральной части зерна, 4.47–7.59 % – в краевой и 3.40–4.88 % в центральной части зерна, 4.20–4.93 % – в краевой соответственно), сформированных в близких температурных интервалах (600–670, 630–670 и 610–700 °C соответственно), что может свидетельствовать о том, что данные гранаты могли быть сформированы в условиях высоких давлений (табл. 3). В изученных составах гранатов с увеличением интенсивности пластических деформаций резко возрастает количество гроссуляра (31.40–35.08 %) по сравнению с гранатами из средне- и слабodeформированных разновидностей (12.66–21.67 и 9.48–13.43 % соответственно). Гранаты из зон интенсивных пластических деформаций характеризуются значительным понижением пироповой (9.26–10.94 %) и альмандиновой (49.73–56.40 %) составляющих, относительно гранатов из средне- и слабodeформированных разновидностей пород, где значения пироба (16.20–24.33 и 21.22–27.29 %) и альмандина (58.50–67.10 и 61.64–65.61 %) имеют большие значения, а также увеличением спессартиновой составляющей до 3–5.96 % (табл. 3).

Оценки давления варьируют в пределах 6.5–11.1 кбар. Максимальные его значения (8.5–11.1 кбар) отмечены в зонах наиболее интенсивных пластических деформаций и в более контрастных по реологическим свойствам пачках пород, а в аналогично дислоцированных зонах при меньшей контрастности строения вещества величина давления снижается до 6.2–8.2 кбар.

Для амфиболитов из слабodeформированных зон минеральный парагенезис представлен  $\text{Grt}_{71.1-75.1} + \text{Hbl}_{36.6-39.4} \pm \text{Bt} - \text{Pl}_{27.4-36.9} + \text{Qtz}$ , термодинамические условия формирования которого оцениваются в  $T=610-700$  °C,  $P=6.5-7.4$  кбар (табл. 3). Для амфиболитов, из зон средней и интенсивной степени пластических деформаций, минеральные парагенезисы представлены  $\text{Grt}_{71.7-78.4} + \text{Hbl}_{37.0-44.4} \pm \text{Bt} + \text{Pl}_{30.9-37.2} + \text{Qtz}$  и  $\text{Grt}_{80-86.5} + \text{Hbl}_{46.1-60.1} \pm \text{Bt} + \text{Pl}_{23.4-47.3} + \text{Qtz}$ , а термодинамические условия формирования оцениваются в  $T=630-670$  °C,  $P=6.2-8.2-8.5$  (?) кбар и  $T=600-670$  °C,  $P=8.2$  (?)–10.4–11.1 кбар соответственно (табл. 3).

В ассоциации с гранатовыми амфиболитами наблюдаются прослои слабodeформированных мелкозернистых гранат-биотитовых гнейсов серого цвета, общая структура породы характеризуется как порфиробластовая, структура основной ткани – лепидогранобластовая (рис. 5). По своим петрохимическим характеристикам они реконструируются по [13] как ортопороды, а на диаграмме для магматических пород, в системе TAS, соответствуют риодацитам. Химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 69.66;  $\text{TiO}_2$  – 0.53;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11.19;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1.51;  $\text{FeO}$  – 4.40;  $\text{MnO}$  – 0.11;  $\text{MgO}$  – 0.54;  $\text{CaO}$  – 2.80;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2.45;  $\text{K}_2\text{O}$  – 3.97.

Для минеральной ассоциации  $\text{Grt}_{70.3} + \text{Bt}_{66.6} + \text{Pl}_{22.8} + \text{Qtz}$  получены оценки термодинамических параметров ( $T=600-650$  °C и  $P=4.0-6.3$  кбар), которые являются близкими по термодинамическим значениям, рассчитанным для гранатов из слабodeформированных амфиболитов (табл. 3), а также гранатов из слабodeформированных гнейсов, изученных в пределах Воче-Ламбинского геодинамического полигона.

Значительная часть исследованных гранатов из гранатовых амфиболитов в слабodeформированных зонах, а также в зонах средней и интенсивной степени проявления пластических деформаций характеризуется прогрессивным температурным трендом,

регрессивный температурный тренд наблюдается у гранатов из зон разлинзования или будинаж-структур (рис. 6, табл. 3). Различие в оценках температур для центральных и краевых частей граната составляет около 60 °С в недеформированных зонах, а в зонах средней и интенсивной степени пластических деформаций достигает 50 и 30 °С соответственно.

Таблица 3

Параметры состава сосуществующих минералов из гранатовых амфиболитов и гранат-биотитовых гнейсов Майяврской тектонической пластины и P-T условия их равновесий

	Grt					Amp			Pl	T, °C	P, кбар
	Prp	Sps	Alm	Grs	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Mg</sub>	(Na+K) <sub>A</sub>	Si ф.е.	X <sub>Ca</sub>		
Гранатовые амфиболиты											
Будина											
Л-4/13-1											
C <sub>1</sub>	9.14	2.77	56.26	31.83	0.140	0.450	0.465	6.46	0.235	632	10.7
A <sub>1</sub>	9.26	2.94	56.40	31.40	0.141	0.460	0.507	6.47	0.235	673	11.1
C <sub>1</sub>	7.82	3.03	56.34	32.82	0.122	0.450	0.465	6.46	0.235	602	10.4
Зоны интенсивного проявления пластических деформаций											
Л-4/13-3											
A <sub>1</sub>	10.94	5.15	49.73	34.17	0.180	0.580	0.318	6.59	0.416	599	8.5
C <sub>1</sub>	11.84	3.05	49.91	35.20	0.192	0.580	0.318	6.59	0.416	613	8.8
A <sub>2</sub>	10.74	5.96	50.23	35.08	0.176	0.570	0.351	6.50	0.476	603	8.2
Зоны средней степени проявления пластических деформаций											
Л-4/13-4											
A <sub>1</sub>	18.09	4.10	58.50	19.32	0.236	0.600	0.290	6.52	0.372	668	6.2
A <sub>2</sub>	16.20	3.34	58.80	21.67	0.216	0.600	0.290	6.52	0.372	628	8.2
C <sub>2</sub>	14.20	3.08	60.43	22.30	0.190	0.600	0.290	6.52	0.372	599	8.5
Л-4/13-6											
A <sub>1</sub>	24.33	0.68	61.62	13.37	0.283	0.670	0.294	6.57	0.309	644	7.9
C <sub>1</sub>	26.09	0.90	60.33	12.69	0.302	0.670	0.294	6.57	0.309	663	7.8
A <sub>2</sub>	18.48	1.77	67.10	12.66	0.216	0.600	0.292	6.52	0.344	633	6.6
A <sub>3</sub>	21.66	1.60	62.24	14.50	0.258	0.660	0.322	6.48	0.344	630	7.5
Зоны слабого проявления пластических деформаций											
Л-1/13											
A <sub>1</sub>	21.89	3.04	61.64	13.43	0.262	0.590	0.385	6.38	0.644	703	7.2
C <sub>1</sub>	21.62	2.73	62.11	13.54	0.258	0.590	0.385	6.38	0.369	690	7.5
Л-4/13-5											
C <sub>1</sub>	20.38	1.77	64.75	13.10	0.239	0.640	0.278	6.59	0.326	643	7.1
A <sub>1</sub>	21.93	2.45	63.64	11.98	0.256	0.640	0.278	6.59	0.326	624	7.3
C <sub>1</sub>	22.50	1.55	63.47	12.48	0.262	0.640	0.278	6.59	0.326	670	7.4
A <sub>2</sub>	21.22	3.07	63.07	12.63	0.252	0.640	0.278	6.59	0.326	638	7.2
Л-2/13-2											
C <sub>1</sub>	26.13	0.91	61.15	11.82	0.299	0.660	0.384	6.51	0.274	666	8.2
A <sub>1</sub>	25.80	1.37	63.32	9.51	0.289	0.660	0.384	6.51	0.274	659	7.4
C <sub>1</sub>	24.80	0.92	62.65	11.63	0.284	0.660	0.384	6.51	0.274	617	7.8
C <sub>1</sub>	26.87	0.80	62.69	9.64	0.300	0.660	0.384	6.51	0.274	670	7.5
A <sub>2</sub>	21.81	3.10	65.61	9.48	0.249	0.670	0.345	6.55	0.309	610	6.5
C <sub>2</sub>	27.24	0.72	59.92	12.12	0.313	0.670	0.345	6.55	0.309	671	7.8
A <sub>3</sub>	27.29	0.55	60.08	12.08	0.312	0.670	0.345	6.55	0.309	625	9.1
Гранат-биотитовые гнейсы											
Зоны слабого проявления пластических деформаций											
Л-2/13-1											
	Grt					Bt		Pl	T, °C	P, кбар	
	Prp	Sps	Alm	Grs	X <sub>Mg</sub>	TiO <sub>2</sub>	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Ca</sub>			
A <sub>1</sub>	27.11	1.58	67.97	3.34	0.281	2.08	0.744	0.228	645	6.3	
C <sub>1</sub>	31.00	1.60	64.89	2.50	0.318	2.08	0.744	0.228	595	4.0	

*Примечание.* А – ассоциации, включающие центр Grt, Amp и Pl для гранатовых амфиболитов, а также центр Grt, Pl и матричного Bt для гранат-биотитовых гнейсов; С – ассоциации с участием контактирующих зон Grt, Amp и краев зерен Pl, а также контактирующих зон Grt, Pl и матричного Bt соответственно.

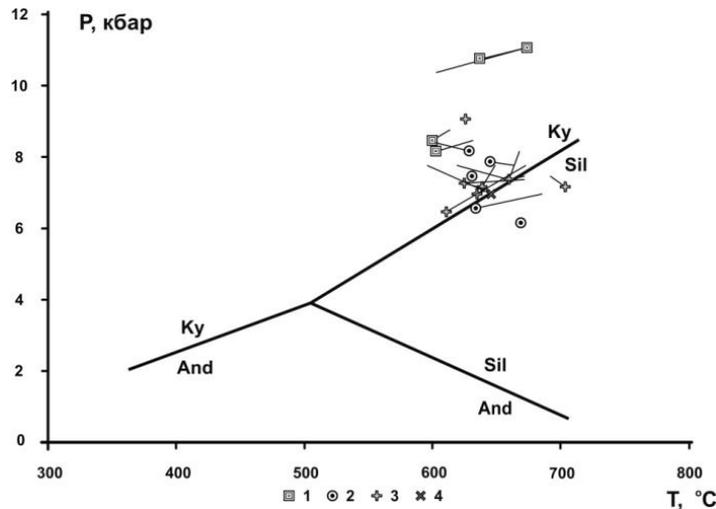


Рис. 6. P-T параметры тектонометаморфизма гранатовых амфиболитов и гранат-биотитовых гнейсов Майяврской тектонической пластины. Условные обозначения:

1 – интенсивно пластически деформированные, 2 – средней степени пластически деформированные, 3, 4 – слабдеформированные гранатовые амфиболиты и гранат-биотитовые гнейсы соответственно

#### IV. Куркенйокская зона

Куркенйокская клиновидная зона (рис. 1) ограничена разломами и сложена в основном полевошпат-роговообманковыми амфиболитами. В амфиболитах наблюдаются пласты парагнейсов, мощность которых варьирует от первых метров до 200 м. Пласты смяты в складки размером до 100 м. Шарниры крупных и мелких складок погружаются по азимуту 120–160°, под углами 30–40°.

Для оценки вариаций термодинамических параметров был закартирован детальный участок «Нюрпа», отличающийся от предыдущих породных комплексов по своему происхождению и вещественному составу. В пределах участка развиты гранат-двуслюдяные парагнейсы, различающиеся как по интенсивности проявления деформаций, так и по гетерогенности их вещественного сложения, а также прослойки интенсивно пластически деформированных гранатовых амфиболитов, смятых в складки (рис. 7).

Гранат-двуслюдяные парагнейсы представлены среднезернистыми светло-серыми, гнейсовидными породами. Слабо пластически деформированные разновидности обладают мелкозернистым строением и массивной текстурой, структура породы порфиробластовая за счет выделений граната, структура основной ткани характеризуется как гранобластовая с элементами лепидогранобластовой. По мере увеличения интенсивности пластических деформаций в гнейсах происходит укрупнение всех породообразующих минералов, а также фиксируется наличие кварцевых и кварц-плагиоклазовых прожилков. Структура основной ткани соответствует лепидогранобластовой с элементами гранолепидобластовой и мозаичной. Главными породообразующими минералами являются: гранат (до 6%), биотит (2–7%), мусковит (5–13%), плагиоклаз (олигоклаз – более 40–45%), микроклин (0–3%) и кварц (28–30%). Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, титанитом, эпидотом и сульфидами, вторичные – хлоритом до 0.5–1% и серицитом в незначительном количестве.

По своим петрохимическим характеристикам все исследованные образцы гранат-двуслюдяных парагнейсов реконструируются по [13] как парапороды, а на диаграмме FAK [11] их фигуративные точки соответствуют составам граувакковым и субграувакковым песчаникам. Химический состав (мас. %): SiO<sub>2</sub> – 64.40–70.00; TiO<sub>2</sub> – 0.38–0.87; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 11.14–20.25; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –

0.73–4.01; FeO – 2.15–4.54; MnO – 0.02–0.10; MgO – 0.36–2.19; CaO – 0.79–2.57; Na<sub>2</sub>O – 1.58–4.11; K<sub>2</sub>O – 1.76–4.29.

В зонах интенсивных пластических деформаций гранаты из гранат-двуслюдяных парагнейсов большей частью обладают повышенным содержанием масс. % CaO (1.98–4.47 % в центральной части зерна и 1.54–3.28 % – в краевой) относительно гранатов из слабдеформированных зон (1.40–2.31 % в центральной части зерна и 1.51–2.68 % – в краевой), сформированных в сопоставимых температурных условиях (490–590 и 520–590 °С, соответственно). Составы гранатов в зонах интенсивных пластических деформаций характеризуются повышенным количеством гроссуляровой составляющей (5.70–12.94 %) по сравнению с гранатами из менее деформированных разностей (3.99–6.77 %), близкими значениями пироповой (7.85–13.43 % в центральной части зерна и 9.63–14.11 % – в краевой) и понижением альмандиновой компоненты (75.58–79.94 % в центральной части зерна и 76.23–81.72 % – в краевой) относительно гранатов из зон слабдеформированных гранат-двуслюдяных парагнейсов (10.69–14.12 и 9.99–14.57 %; 79.73–82.80 и 77.35–85.79 % соответственно) (табл. 4).

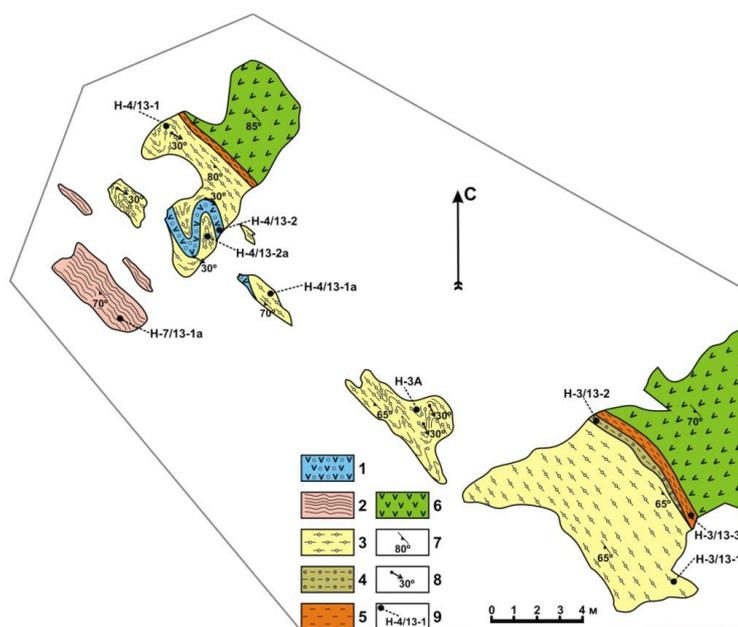


Рис. 7. Детальный участок «Нюрпа». Условные обозначения:

- 1 – гранатовые амфиболиты; 2 – двуслюдяные гнейсы; 3 – гранат-двуслюдяные парагнейсы;
- 4 – жильные образования эпидот-амфибол-биотит-плагиоклаз-кварцевого состава;
- 5 – биотитовые гнейсы; 6 – плагиоамфиболиты; 7 – гнейсовидность; 8 – шарниры складок;
- 9 – точки отбора образцов

Определение термодинамических параметров для гранат-двуслюдяных гнейсов показало, что на кульминационном этапе метаморфизма давление в пределах исследуемого участка варьировало в пределах 4.9–9.1 кбар (табл. 4). Максимальные его значения (7.1–9.2 кбар) отмечены в зонах наиболее интенсивных пластических деформаций, для слабдеформированных участков давление оценивается в интервале от 5.5 до 7.1–8.0 кбар.

Для гранат-двуслюдяных парагнейсов термодинамические условия формирования минерального парагенезиса  $Grt_{85.2-88.6} + Bt_{49.2-51.7} + Ms_{44.2-47.6} \pm Kfs + Pl_{18.3-20.5} + Qtz$  из слабдеформированных зон оцениваются в  $T=520-590$  °С,  $P=5.5$  до 8.0 кбар, что, вероятно (?), характеризует фоновые P-T условия образования гранат-двуслюдяных гнейсов в пределах детального участка (табл. 4). Для гнейсов из зон интенсивных пластических деформаций

минеральный парагенезис представлен  $Grt_{85.3-90.7} + Bt_{48.0-51.4} + Ms_{44.2-58.5} \pm Kfs + Pl_{18.4-19.6} + Qtz$ , а термодинамические условия его формирования составляют:  $T=490-590$  °С,  $P=7.2-9.2$  кбар (табл. 4).

Таблица 4

Параметры состава сосуществующих минералов из гранат-двуслюдяных гнейсов и гранатовых амфиболитов Куркенйокской клиновидной зоны и P-T условия их равновесий

	Grt					Bt		Ms		Pl	T, °C	P, кбар
	Prp	Sps	Alm	Grs	X <sub>Mg</sub>	TiO <sub>2</sub>	X <sub>Mg</sub>	TiO <sub>2</sub>	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Ca</sub>		
Гранат-двуслюдяные парагнейсы												
Зоны интенсивных пластических деформаций												
Образец Н-3А												
A <sub>1</sub>	7.85	2.97	76.23	12.94	0.090	1.53	0.498	0.490	0.415	0.190	493	7.2
C <sub>1</sub>	12.95	1.60	78.27	7.17	0.140	1.53	0.498	0.490	0.415	0.190	579	8.0
A <sub>2</sub>	13.04	1.32	79.94	5.70	0.138	1.62	0.505	0.490	0.415	0.189	567	7.3
A <sub>5</sub>	12.5	0.53	78.86	8.10	0.136	1.62	0.499	0.590	0.550	0.186	571	8.3
C <sub>5</sub>	13.54	0.12	76.73	9.61	0.150	1.62	0.499	0.590	0.550	0.186	570	9.1
A <sub>6</sub>	13.43	0.23	77.86	8.48	0.147	1.81	0.491	0.350	0.558	0.189	594	8.9
Н-4/13-1												
A <sub>1</sub>	11.84	0.42	75.58	12.16	0.135	1.68	0.503	0.170	0.489	0.194	570	9.2
C <sub>1</sub>	14.11	0.20	76.46	9.22	0.155	1.68	0.503	0.490	0.352	0.194	598	9.1
A <sub>2</sub>	12.59	0.35	76.79	10.28	0.140	1.48	0.520	0.490	0.352	0.184	564	8.9
C <sub>2</sub>	12.48	0.58	78.19	8.75	0.137	1.48	0.520	0.490	0.352	0.184	557	8.3
Образец Н-4/13-2а												
A <sub>1</sub>	9.51	1.01	77.63	11.85	0.108	1.44	0.486	0.240	0.505	0.187	534	8.1
C <sub>1</sub>	9.63	1.43	81.72	7.22	0.104	1.44	0.486	0.240	0.505	0.187	523	6.5
Зоны слабого проявления пластических деформаций												
Н-3/13-1												
A <sub>1</sub>	14.12	0.72	81.17	3.99	0.147	1.71	0.490	0.348	0.560	0.190	589	6.7
C <sub>1</sub>	12.04	0.72	81.41	5.83	0.128	1.71	0.490	0.348	0.560	0.190	561	7.6
Н-3А-1												
C <sub>1</sub>	13.20	2.02	78.52	6.15	0.141	1.28	0.482	0.210	0.524	0.185	585	7.9
A <sub>1</sub>	12.96	1.10	79.73	6.21	0.138	1.28	0.482	0.210	0.524	0.185	589	8.0
C <sub>2</sub>	9.99	1.54	85.79	5.68	0.106	1.21	0.506	0.450	0.528	0.183	512	5.9
A <sub>2</sub>	12.56	1.04	80.92	5.48	0.133	1.21	0.506	0.450	0.528	0.183	558	7.1
Н-4/13-1а												
C <sub>1</sub>	14.57	0.56	77.35	7.53	0.158	1.45	0.508	0.450	0.534	0.205	597	8.4
A <sub>1</sub>	12.44	0.66	80.13	6.77	0.133	1.45	0.508	0.450	0.534	0.205	557	7.1
C <sub>2</sub>	10.68	0.95	83.48	4.89	0.112	1.45	0.508	0.450	0.534	0.205	520	5.2
A <sub>2</sub>	10.69	1.13	82.80	5.38	0.113	1.45	0.508	0.450	0.534	0.205	522	5.5
Гранатовые амфиболиты												
Зоны интенсивных пластических деформаций												
Н-4/13-2												
	Grt					Amp				Pl	T, °C	P, кбар
	Prp	Sps	Alm	Grs	X <sub>Mg</sub>	X <sub>Mg</sub>	(Na+K) <sub>A</sub>	Si ф.е	X <sub>Ca</sub>			
C <sub>1</sub>	12.39	5.08	58.83	23.70	0.162	0.530	0.264	6.22	0.325	643	9.4	
A <sub>1</sub>	15.47	4.51	67.43	12.60	0.177	0.530	0.264	6.22	0.325	668	7.5	
A <sub>2</sub>	16.17	4.51	67.05	12.27	0.184	0.540	0.336	6.13	0.325	646	7.4	
C <sub>3</sub>	13.44	3.67	62.29	20.59	0.169	0.530	0.291	6.18	0.325	634	8.9	
A <sub>3</sub>	14.60	5.13	67.89	12.38	0.167	0.530	0.291	6.18	0.325	658	7.6	

*Примечание.* А – ассоциации, включающие центр Grt, Pl и матричных Bt, Ms из гранат-двуслюдяных парагнейсов, а также центр Grt, Pl и Amp из гранатовых амфиболитов; С – ассоциации с участием контактирующих зон Grt, Bt, Ms, а также контактирующих зон Grt, Amp и Pl соответственно.

В пределах участка «Нюрпа» среди интенсивно пластически деформированных гнейсов закартирован прослой гранатового амфиболита смятого в складку (рис. 7). Гранатовые амфиболиты представлены мелко и среднезернистыми породами темно-зеленого цвета, структура породы порфириобластовая за счет выделений граната, структура основной ткани характеризуется сочетанием гранонематобластовой и нематогранобластовой с элементами мозаичной. Главными породобразующими минералами амфиболитов являются: амфибол

(роговая обманка – 55–65 %); гранат (переменного пироп-альмандинового гроссуляр-альмандинового составов – 5–8 %); плагиоклаз (андезин – 25–33 %) и кварц. Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, титанитом, алланитом и сульфидами, вторичные – хлоритом, карбонатом и серицитом в незначительном количестве. По своим петрохимическим характеристикам исследованные образцы гранатовых амфиболитов реконструируются по [13] как ортопороды, а на диаграмме для магматических пород, в системе TAS, соответствует составам базальтов. Химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 49.89,  $\text{TiO}_2$  – 1.30,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 14.55,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2.45,  $\text{FeO}$  – 11.24,  $\text{MnO}$  – 0.25,  $\text{MgO}$  – 5.82,  $\text{CaO}$  – 10.38,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0.89,  $\text{K}_2\text{O}$  – 0.39.

Для минеральной ассоциации  $\text{Grt}_{77.1-78.9} + \text{Hbl}_{50.1-53.0} + \text{Pl}_{32.5-38.5} + \text{Qtz}$  из интенсивно пластически деформированных гранатовых амфиболитов определены термодинамические параметры центральных частей:  $T=650-670$  °С и  $P=7.4-7.6$  кбар, которые, вероятно, соответствует термодинамическим характеристикам проявления раннего этапа их формирования, краевые его части характеризуются P-T параметрами в  $T=630-640$  °С,  $P=8.9-9.4$  кбар. Оценки давления краевых частей гранатов (8.9–9.4 кбар) выше таковых в центральных его частях (7.4–7.6 кбар) и являются близкими к оценкам давления, определенным для интенсивно пластически деформированных гранат-двуслюдяных гнейсов (8.0–9.2 кбар) в пределах детального участка.

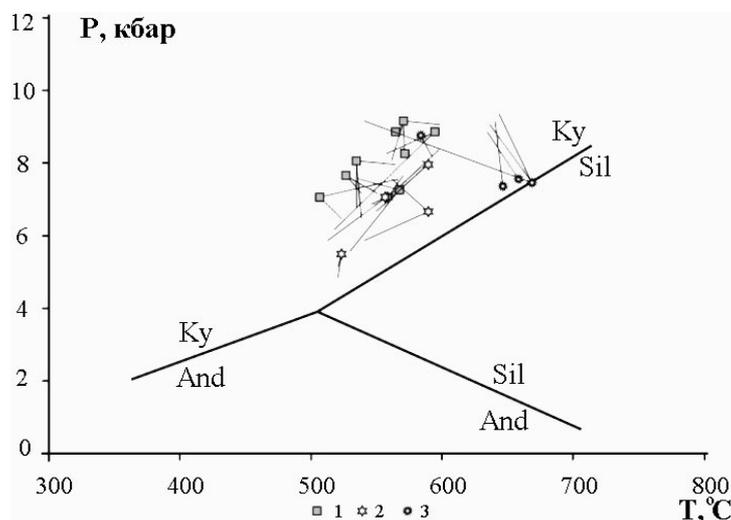


Рис. 8. P-T параметры тектонометаморфизма гранат-двуслюдяных парагнейсов и гранатовых амфиболитов Куркенйокской клиновидной зоны. Условные обозначения: 1 – интенсивно пластически деформированные; 2 – слабдеформированные гранат-двуслюдяные парагнейсы; 3 – интенсивно пластически деформированные гранатовые амфиболиты

Исследованные гранаты из гранат-двуслюдяных парагнейсов, независимо от интенсивности проявления пластических деформаций, характеризуются как прогрессивным, так и регрессивным температурным трендом кристаллизации, что можно объяснить хорошей проницаемостью пород, следовательно, они в большей степени были подвергнуты изменениям под влиянием проявления более поздних процессов даже с незначительными термодинамическими параметрами. P-T условия всех минеральных ассоциаций отвечают кианитовому типу метаморфизма (рис. 8). Принципиальных отличий в оценках температур центральных частей гранатов относительно его краевых частей не наблюдается. Различия в оценках температур центральных и краевых зон гранатов из интенсивно пластически деформированных гранат-двуслюдяных парагнейсов составляют 10–60 °С, а в слабдеформированных разновидностях – 10–50 °С (табл. 4). Для гранатов из интенсивно пластически деформированных гранатовых амфиболитов отличие в оценках температур *центр* – *край* составляет до 30 °С (табл. 4).

**Обсуждение результатов исследований**

Проведенные геолого-петрологические исследования пород и минеральных парагенезисов, представляющих различные по строению и вещественному составу объекты, позволяют получить новую информацию о метаморфических процессах и их термодинамических режимах в глубинных тектонических зонах сдвиговой природы.

Для всех изученных разновидностей пород (гранат-биотитовых гнейсов, гранат-двуслюдяных пара- и ортогнейсов, а также гранатовых амфиболитов) устанавливаются существенные закономерные различия в составах гранатовых парагенезисов в зависимости от интенсивности деформационно-вещественных преобразований пород. Общей тенденцией является возрастание содержания СаО и, соответственно, доли гроссулярового компонента в интенсивно пластически деформированных породах по сравнению со слабодеформированными породами. Кристаллы гранатов, образованные в результате интенсивных тектонометаморфических деформаций, характеризуются достаточно однородным распределением компонентов в центральной и краевой его частях. Гранаты из слабо- или недеформированных зон обладают сложной химической зональностью, которая характеризуется однородным составом в центральной части, снижением содержания Mn, Fe и ростом концентрации Ca и Mg в краевой его части.

Диапазоны давлений, зафиксированных для слабодеформированных участков из гранат-биотитовых гнейсов (6.0–7.5 кбар) Воче-Ламбинского геодинамического полигона [1, 2], гранатовых амфиболитов (6.5–7.4 кбар) Майяврской тектонической пластины и гранат-двуслюдяных парагнейсов (5.5–8.0 кбар) Куркенйокской клиновидной зоны являются близкими (при сопоставимых температурных значениях) и, по-видимому, отвечают диапазону фоновых давлений кульминационной стадии регионального метаморфизма амфиболитовой фации кианит-силлиманитового типа, проявленного в пределах зоны Лапландско-Беломорского тектонического шва [9, 10]. Оценки давлений, полученные для гранат-двуслюдяных и гранат-биотит-амфиболовых ортогнейсов Кислогубской тектонической пластины, сформированных в условиях амфиболитовой фации метаморфизма, являются завышенными, что обусловлено спецификой их химизма и возможностями использованных геотермобарометров.

Аномально высокие давления (9.1–11.6 кбар для гнейсов Воче-Ламбинского геодинамического полигона; 10.4–11.1 – гранатовых амфиболитов Майяврской тектонической пластины; 8.0–9.2 кбар – гранат-двуслюдяных парагнейсов Куркенйокской клиновидной зоны) можно рассматривать как сверхдавления, генерируемые при интенсивных пластических деформациях в неоднородной по своим реологическим свойствам среде.

Вариации значений давления хорошо коррелируются с интенсивностью проявления пластических сдвиговых деформаций и литолого-геохимической среды их формирования и позволяет оценить так называемую «надбавку» тектонического давления относительно фонового в пределах одного литохимического типа пород.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Беляев О.А., Петров В.П., Ряженова С.А. Неоднородности состава граната из гнейсов в зоне сдвиговых деформаций (Кольский полуостров) // ЗВМО. 2000. № 1. С. 82–90.
2. Воче-Ламбинский архейский геодинамический полигон Кольского полуострова / под ред. Ф.П. Митрофанова и В.И. Пожиленко. Апатиты, 1991. 196 с.
3. Hoisch T.D. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet // Contrib. Mineral. and Petrol. 1990. Vol. 104. P. 225–234.
4. Hoisch T.D. Equilibria within the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase, and implication for the mixing properties of octahedrally-coordinated cations in muscovite and biotite // Contrib. Mineral. and Petrol. 1991. Vol. 108. P. 43–54.
5. Биотит-гранат-кордиеритовые равновесия и эволюция метаморфизма / Л.Л. Перчук [и др.] // М.: Наука, 1983. 197 с.
6. Ghent E.D. Geobarometry and geothermometry of plagioclase-biotite-garnet-muscovite assemblages / E.D. Ghent, M.Z. Stout // Contrib. Miner. and Petrol. 1981. Vol. 76. P. 92–97.
7. Wells P.R.A. P-T conditions in the Moines of the Central Highlands, Scotland // J. Geol. Soc. London. 1979. Vol. 136. P. 663–671.
8. Kohn M.Y., Spear F.S. Empirical calibration of geobarometers for the assemblage garnet + hornblende + plagioclase + quartz // Amer. Miner. 1989. Vol. 74, № 1-2. P. 77–84.
9. Геология рудных районов Мурманской области / В.И. Пожиленко [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
10. Петров В.П. Метаморфизм раннего протерозоя Балтийского щита. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 325 с.

**11.** *Предовский А.А.* Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980. 152 с. **12.** Баянова Т.Б., Чащин В.В. Новые результаты радиологического датирования кислых метавулканитов кислугубской и сейдореченской свит // Материалы Всеросс. палеовулканического симп. Петрозаводск, 2011. С. 16–17. **13.** *Werner C.D.* Saxonian granulites – a contribution to the geochemical diagnosis of original rocks in high metamorphic complexes // *Gerlands Beitr. Geophys.* 1987. Vol. 96, № 3-4. P. 271–290.

### **Сведения об авторах**

*Петровская Лариса Сергеевна* – к.г.-м.н., научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; e-mail: petrovskaya@geoksc.apatity.ru

*Петров Валентин Петрович* – д.г.-м.н., профессор, Кольский научный центр РАН; e-mail: petrov@admksk.apatity.ru

*Петровский Михаил Николаевич* – к.г.-м.н., старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; e-mail: petrovskiy@geoksc.apatity.ru

*Базай Айя Валериевна* – к.г.-м.н., научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; e-mail: bazai@geoksc.apatity.ru

УДК 536.322

**ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПЛАСТИНЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СБРОСА С БОРТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

**П.В. Амосов**

Горный институт КНЦ РАН

**Аннотация**

Представлены результаты расчетов распределения температуры излучающей пластины (перемычки), предназначенной для обеспечения теплового сброса с космического аппарата. Исследования выполнены на базе численных методов с применением программы COMSOL. По причине отсутствия достаточных ресурсов вычислительной техники оценка длины перемычки осуществлена посредством описания графиков распределения температуры теплоносителя, полученных на моделях устройства малого масштаба, экспоненциальными зависимостями.

**Ключевые слова:**

*тепловой сброс, космический аппарат, численные методы, распределение температуры.*



**1. Введение**

Излагаемые ниже результаты исследования являются откликом автора на публикацию [1]. При этом автор ни в коем случае не пытается противопоставлять аналитические и численные методы расчетов при решении ответственных научно-инженерных задач. Например, в работах [2–5] автор именно на базе аналитического подхода показал эффективность его использования при решении ряда миграционных задач в оценке безопасности объектов захоронения радиоактивных отходов. Скорее, это естественная реакция на задачу, которую, по мнению автора, в дополнение к

аналитическому подходу вполне можно попытаться решить методами численного моделирования (см. публикации [6, 7]).

Известно [1], что в космическом пространстве единственным способом сброса тепла с борта космического корабля является излучение, что указывает на важную роль холодильников-излучателей в обеспечении энергетического баланса космического аппарата. Более подробно об актуальности этой проблемы можно найти в публикациях, указанных в библиографии работы [1].

**2. Постановка задачи и исходные параметры модели**

Как и в работе [1], рассматривается плоский холодильник-излучатель, который состоит из секций, представляющих собой набор металлических трубок 1, по которым протекает теплоноситель (рис. 1), и контактирующих через плоские пластины (перемычки) 2 (материал перемычек – алюминий или медь). Теплоноситель из входного коллектора 3 попадает в трубки и после остывания собирается в выходном коллекторе 4 [1]. Естественно, перемычки задуманы для увеличения площади излучающей поверхности.

Моделируется элемент конструкции холодильника-излучателя, который состоит из трубки 1 и двух перемычек 2 (рис. 2). Причем, в силу очевидной симметрии, можно ограничиться рассмотрением одиночной трубки и половинками перемычек, что позволяет в компьютерной модели уменьшить расстояние вдоль оси  $x$ .

В отличие от работы [1] в нашем случае перемычка имеет малую, но конечную толщину 0.5 мм, однако, как и в работе [1], влияние лучистого потока космических тел не учитывается.

Исключительно с целью упрощения геометрических построений форма трубки заменена на прямоугольный параллелепипед. При этом реализован переход с сохранением площади поперечного сечения. Таким образом, имеем внутренний параллелепипед с квадратным основанием 3.5 мм (в работе [1] указан внутренний радиус трубки – 2 мм) и внешний с основанием 5.3 мм (внешний радиус трубки выбран равным 3 мм). Для полуширины перемычки использованы значения, указанные в работе [1]: 0.05, 0.10 и 0.20 м. Длина трубки, а значит, и длина перемычки были проварьированы с шагом 0.1 м от 0.2 м до 1.3 м. Ограничения по длине трубки, а следовательно, и перемычки вызваны недостаточными ресурсами имеющейся вычислительной техники.

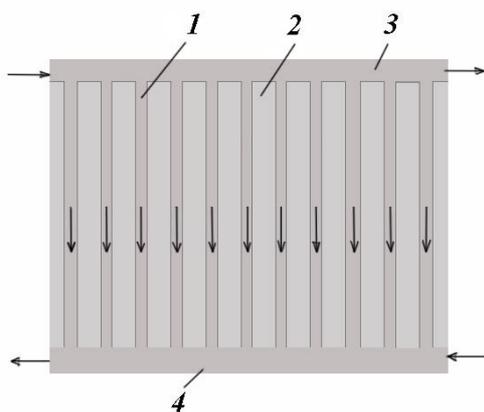


Рис. 1. Схема сечения проточного холодильника-излучателя [1]. Элементы конструкции: 1 – трубки с теплоносителем; 2 – излучающие пластины (перемычки); 3 – входной коллектор; 4 – выходной коллектор

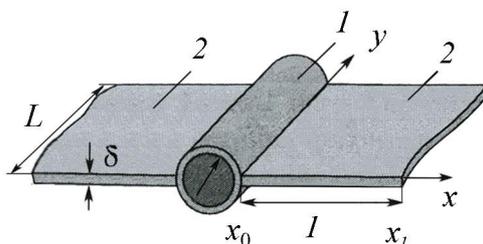


Рис. 2. Элемент конструкции холодильника-излучателя [1]

Рис. 3 дает представление о геометрии модели, построенной в программе COMSOL. Для более корректного понимания рис. 3 необходимо отметить следующие моменты: размерность осей выражена в метрах; вертикальная ось имеет множитель 0.001; затененный блок – внутренняя трубка, по которой движется теплоноситель (этиленгликоль [8]). Скорость течения теплоносителя  $V_y$  варьировалась от 0.4 м/с до 1.2 м/с. Заметим, что значение скорости теплоносителя на уровне 0.8 м/с следует данным по массовому расходу теплоносителя, приведенным в работе [1] и отнесенным к плотности этиленгликоля.

Теплофизические свойства материалов модели (медь или алюминий, этиленгликоль) заимствованы из библиотеки используемой программы с учетом зависимостей этих свойств от температуры. Необходимость учета изменения значений теплофизических параметров от температуры отмечена автором в работе [7].

Граничные условия следующие: на внешних границах трубки и поверхностях пластины – радиационное излучение (степень черноты излучающей поверхности принята равной 1), температура теплоносителя на входе в трубку 700 К, на выходе из трубки – условие «конвективный поток» (см. ниже).

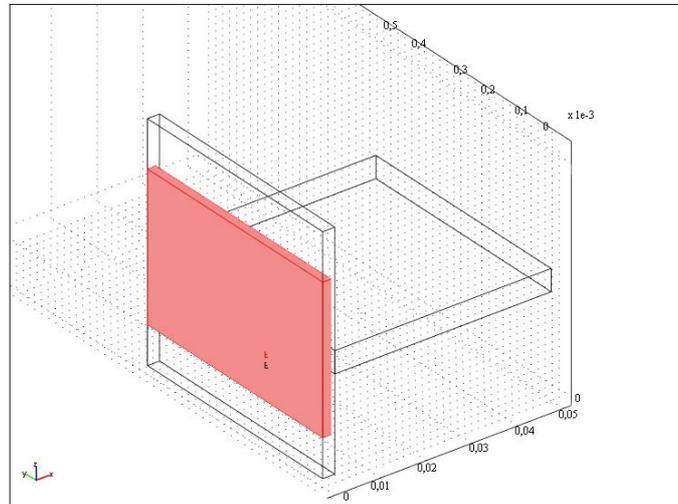


Рис. 3. Геометрическая схема расчетной модели: длина трубки – 0.5 м; полуширина перемычки – 0.05 м

### 3. Анализ результатов численных экспериментов

Типичное стационарное пространственное распределение температуры по отдельным сечениям модели в форме изоповерхностей представлено на рис. 4. В данном случае параметры модели следующие: материал – алюминий, длина перемычки – 0.3 м, полуширина – 0.05 м, скорость теплоносителя – 0.8 м/с.

Оказалось, что при указанных геометрических размерах различий в распределении температуры в разных сечениях модели при вариации материалов перемычки (алюминий и медь) не прогнозируется. Данный факт следует из анализа графической и цифровой информации распределений температуры в различных зонах модели: имеет место либо полное совпадение графиков (см. рис. 5), либо отдельные отличия в численных значениях на уровне десятых долей градуса (см. табл.).

Температура теплоносителя на выходе из трубки при вариации длины перемычки (полуширина перемычки – 0.10 м, скорость теплоносителя – 0.8 м/с), К

Материал	Длина перемычки, м					
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
Алюминий	658.5	653.5	648.5	643.3	639.8	633.8
Медь	658.5	653.5	648.6	643.3	639.8	633.8

Приведем некоторые соображения относительно выбора граничного условия на выходе из трубки. Как указано в работе [1], для получения аналитического решения использованы фиксированные значения температуры теплоносителя на входе в трубку (700 К) и на выходе из нее (400 К). Первоначальные попытки автора были выполнены именно по аналогичному пути, когда на выходе из трубки задавалось постоянное значение температуры теплоносителя. При этом, естественно, пришлось «присматриваться» к поведению графиков распределения температуры, которые приведены в статье [1] (см. рис. 3 [1]). Оказалось, что методом перебора

можно выйти на то значение температуры теплоносителя на выходе из трубки, при которой поведение кривой распределения становится физически объективным, т.е. без резких колебаний в значениях производной вблизи выходной границы.

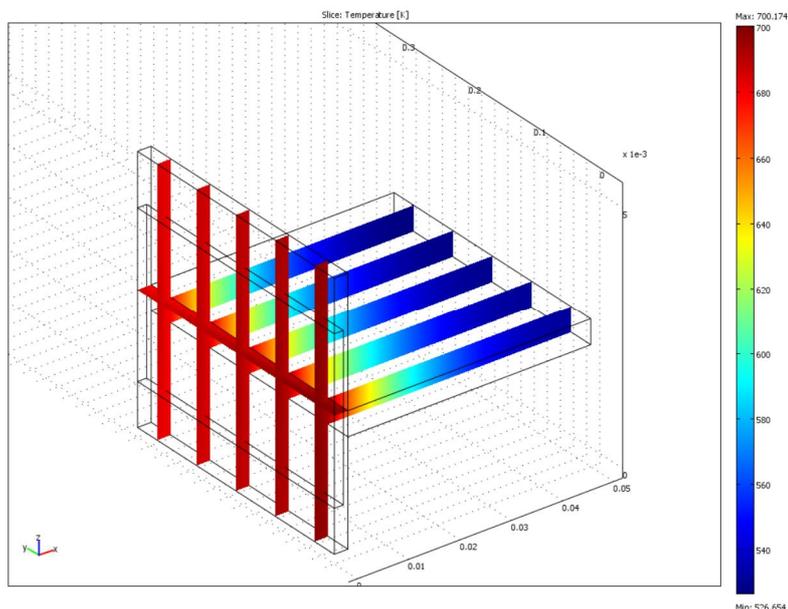


Рис. 4. Типичное пространственное распределение температуры по сечениям модели в форме изоповерхностей (материал – алюминий, скорость теплоносителя – 0.8 м/с)

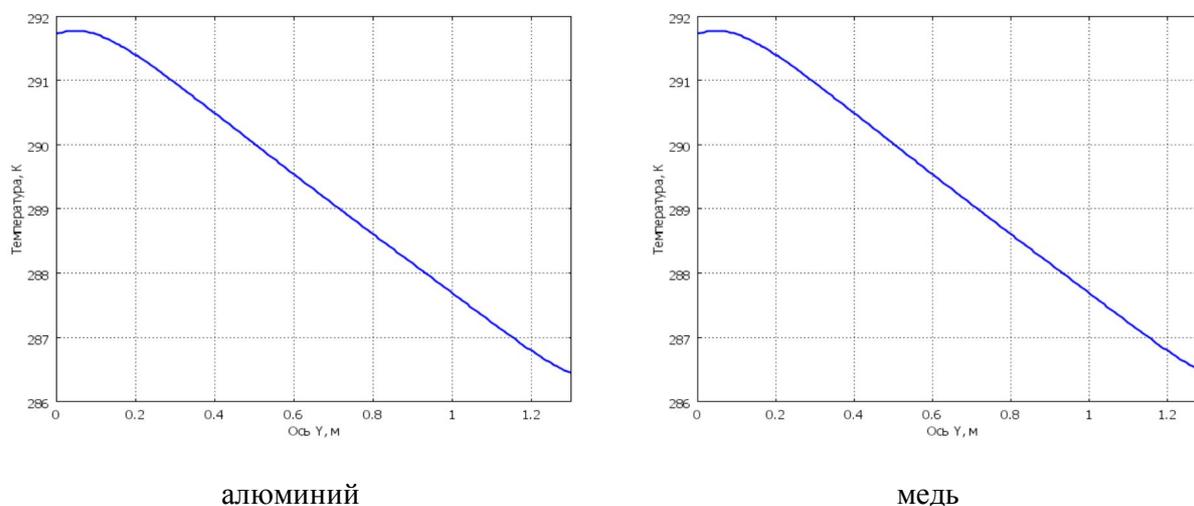


Рис. 5. Распределение температуры по краю перемычки, изготовленной из разного материала (полуширина – 0.20 м, скорость теплоносителя – 0.8 м/с)

В качестве примера можно указать на графики рис. 6 (а, б, в), где результаты такого перебора продемонстрированы для следующих параметров модели: длина перемычки 0.50 м, полуширина перемычки – 0.05 м, скорость теплоносителя – 0.08 м/с. В частности, график рис. 6а соответствует значению температуры 685 К, рис. 6б – 665 К, рис. 6в – 675 К. Для сравнения на рис. 6г представлено распределение температуры вдоль трубки с теплоносителем для граничного условия «конвективный поток». Как прекрасно видно на указанных графиках, хорошее совпадение поведения кривых отмечается для двух граничных условий: температура

675 К (рис. 6в) и «конвективный поток» (рис. 6г). Очевидно, что при некотором усердии можно добиться еще большего совпадения.

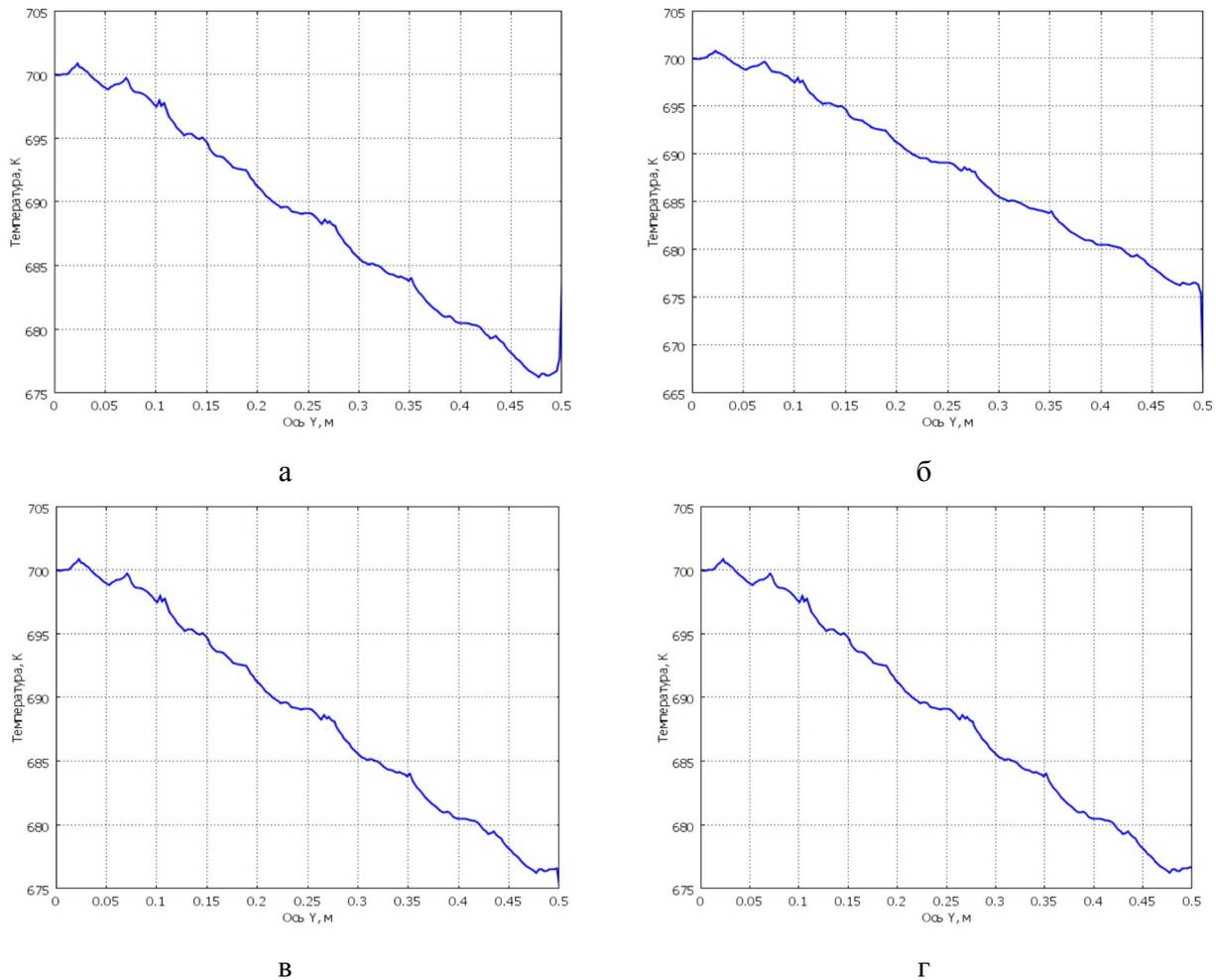


Рис. 6. Примеры распределений температуры вдоль трубки с теплоносителем в зависимости от выбора граничного условия для температуры на выходе из трубки:  
 а – 685 К; б – 665 К; в – 675 К; г – «конвективный поток» (материал – алюминий, длина перемычки – 0.50 м, полуширина перемычки – 0.20 м, скорость теплоносителя – 0.8 м/с)

Внимательный читатель, тем более знакомый с содержанием статьи [1], наверняка обратил внимание на тот момент, что автор ограничивается в своем исследовании длиной перемычки 1.3 м. Ответ на это весьма прост: есть ограничение на технические характеристики имеющегося персонального компьютера. Под управлением Windows 64x создаваемые модели с размером длины перемычки более 1.3 м требуют не имеющегося на данный момент объема оперативной памяти.

Именно поэтому появилась идея: проанализировать распределения температуры теплоносителя вдоль трубки, описать результаты функциональными зависимостями и попробовать перенести их на необходимые длины перемычки. На рис. 7 представлены распределения температуры теплоносителя на выходе из трубки при вариации полуширины перемычки (материал – алюминий, скорость теплоносителя – 0.8 м/с). Оказалось, что с достаточно высокими коэффициентами достоверности – на уровне 0.997–0.999 (рис. 7) – кривые хорошо описываются экспоненциальными зависимостями типа  $T_{out}=T_{in}\exp(-bx)$ .

В частности, для приведенных кривых коэффициенты  $T_{in}$  и  $b$  следующие: верхняя – 701.6 и 0.07, средняя – 702.1 и 0.07, нижняя – 702.6 и 0.08 соответственно. Оказалось, что по указанной выше функциональной зависимости могут быть описаны и кривые рис. 8, где учтена скорость теплоносителя.

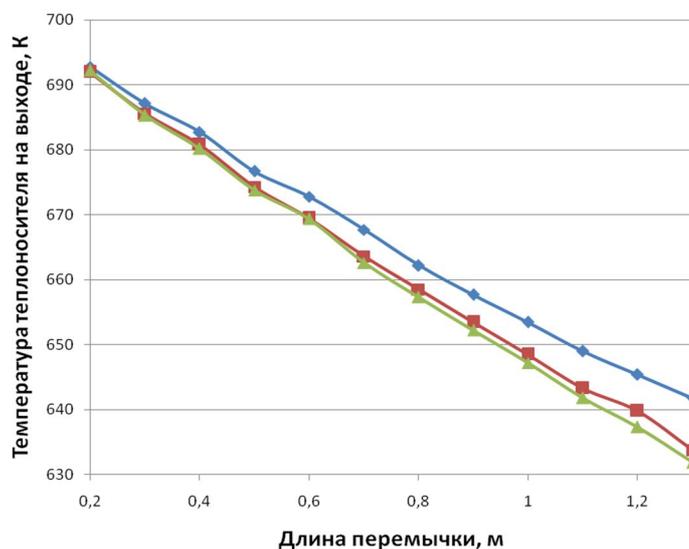


Рис. 7. Температура теплоносителя на выходе из трубки при вариации полуширины перемычки (материал – алюминий, скорость теплоносителя – 0,8 м/с): ромб – 0,05 м; квадрат – 0,10 м; треугольник – 0,20 м

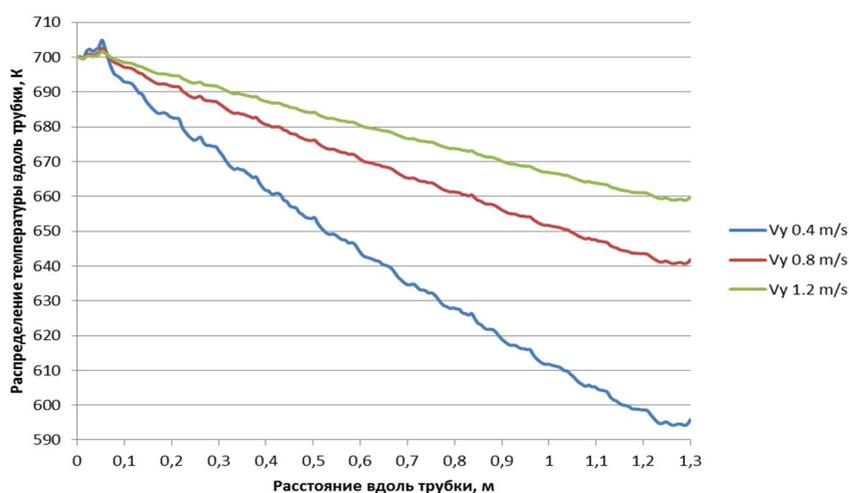


Рис. 8. Распределение температуры вдоль трубки при вариации скорости теплоносителя (материал – алюминий, полуширина перемычки – 0,05 м)

Представленные на рис. 8 кривые физически ведут себя правильно: чем меньше скорость течения теплоносителя, тем больше он остывает. При скорости потока на уровне 0,4 м/с на выходе из трубки температура теплоносителя прогнозируется на уровне 595 К, при скорости 0,8 м/с – 640 К, а при максимальной скорости 1,2 м/с имеем почти 660 К. Для графиков рис. 8 коэффициенты  $T_{in}$  и  $b$  экспоненциальной зависимости  $T_{out}=T_{in}\exp(-bx)$  следующие: скорость 0,4 м/с – 700,1 и 0,13; скорость 0,8 м/с – 701,4 и 0,07; скорость 1,2 м/с – 701,4 и 0,05. Если принять температуру теплоносителя на выходе из трубки равной 400 К (как в работе [1]),

то несложно оценить ту длину перемычки, которая необходима для остывания теплоносителя до указанной температуры. Выполненные оценки по формуле  $X_k = [\ln(T_{in}/T_{out})]/b$  показали:

- при скорости 0.4 м/с – чуть более 4 м;
- при скорости 0.8 м/с – несколько менее 8 м;
- при скорости 1.2 м/с – порядка 20 м.

Безусловно, разумность полученных размеров перемычки, а также предложенного подхода могут оценить специалисты-теплотехники, исследующие проблему сброса тепла. В принципе, на это и рассчитывает автор, направляя статью в редакцию рецензируемого научного журнала.

#### 4. Заключение

В работе сделана попытка в дополнение к аналитическому подходу, реализованному в работе [1], предложить численный метод для решения задачи обеспечения теплового сброса с борта космического аппарата, которая продолжает оставаться актуальной.

Автором разработана многопараметрическая (размеры, материал, скорость теплоносителя, температуры на входе и выходе трубки) компьютерная модель на базе кода COMSOL, которая, в силу ограниченности ресурса вычислительной техники, позволяет получать распределения температуры на компоненте устройства сброса тепла (пластина – перемычка) малого масштаба (длина – 1.3 м, полуширина – 0.20 м).

На основе анализа результатов численных экспериментов предложен простой переход к оценке необходимого размера устройства сброса тепла. Представляется, что полученный результат достаточно разумен, но нуждается в оценке специалистов-теплотехников, которые занимаются указанной в заголовке статьи проблемой профессионально.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолаева Ю.О., Ризаханов Р.Н., Сигалаев С.К. Применение аналитических методов расчета распределения температуры излучающей пластины для решения задач обеспечения теплосброса с борта космического аппарата // Известия РАН. Энергетика. 2014. № 1. С. 135–140.
2. Амосов П.В. Диффузионный перенос радиоактивных веществ в обводненной трещиноватой пористой среде (модель одиночной трещины) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1999. № 1. С. 88–93.
3. Амосов П.В. Моделирование процесса диффузионного распространения радиоактивных веществ в обводненной трещиноватой пористой среде (модель одиночной трещины) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2001. № 4. С. 390–395.
4. Амосов П.В. Упрощенная модель оценки безопасности подземного захоронения высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива в кристаллических породах (сценарий нормальной эволюции) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2002. № 6. С. 506–516.
5. Амосов П.В. Оценка накопления радионуклидов в различных зонах модели одиночной трещины // Ядерная физика. Известия вузов. 2007. № 4. С. 55–61.
6. Ермолаева Ю.О., Ризаханов Р.Н., Сигалаев С.К. Аналитический расчет распределения температуры излучающей пластины // Известия РАН. Энергетика. 2012. № 5. С. 138–143.
7. Амосов П.В. Численное моделирование распределения температуры излучающей пластины // Вестник КНЦ РАН. 2013. № 2. С. 17–21.
8. Морковкин А.В., Плотников А.Д., Борисенко Т.Б. Теплоносители для внутренних контуров систем терморегулирования пилотируемых космических аппаратов // Космическая техника и технологии. 2013. № 1. С. 79–87.

#### Сведения об авторе

Амосов Павел Васильевич – к.т.н., с.н.с., старший научный сотрудник Горного института КНЦ РАН; e-mail: vosoma@goi.kolasc.net.ru

УДК 550.4 (471.21)

**ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
СУБАРКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА ШУОНИЯУР В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ  
КИСЛОТНОЙ НАГРУЗКИ**

**Т.Г. Кашулина, Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер**

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

**Аннотация**

Обобщены результаты долговременных исследований (1990-2013 гг.) динамики основных гидрохимических показателей субарктического оз. Шуонияур, расположенного в зоне аэротехногенного влияния горно-металлургического комбината «Печенганикель». Выявлено достоверное увеличение щелочности и кислотонейтрализующей способности вод озера, снижение диапазона сезонных колебаний рН и щелочности воды, уменьшение содержания  $SO_4^{2-}$  в воде озера за период наблюдений, как результат снижения нагрузки кислотообразующих агентов вследствие снижения эмиссионных потоков  $SO_2$ .

**Ключевые слова:**

*гидрохимия, озеро, Мурманская обл., тяжелые металлы, загрязнение, закисление.*



**Введение**

Закисление поверхностных вод и территорий водосборов является одной из актуальнейших проблем северных регионов. В результате выпадения кислых атмосферных осадков ( $pH < 5.6$ ) нарушается природное кислотно-щелочное равновесие поверхностных вод, обуславливающее снижение рН,

происходит их обогащение биогенными веществами, в первую очередь содержащими N, S, и увеличиваются концентрации неорганического алюминия и других токсичных ионов, таких как  $Cd^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$  и др. В результате сложных взаимосвязанных изменений физико-химических параметров водной среды трансформируется структура и продуктивность экосистемы водоема, часто сопровождающаяся гибелью кислоточувствительных организмов [1–4].

Озеро Шуонияур находится в импактной зоне воздействия комбината «Печенганикель», который функционирует с 1930-х гг. и считается одним из основных источников эмиссии  $SO_x$ ,  $NO_x$ , Ni, Cu и других тяжелых металлов в Северной Фенноскандии [5]. Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН) проводит комплексный мониторинг состояния оз. Шуонияур в последнюю четверть века, начиная с 1990 г.

**Материалы и методы**

Озеро Шуонияур (водосбор р. Шуонийоки) расположено в 20 км на юг от п. Никель и 40 км на юго-запад от г. Заполярный, где размещены цеха обжига руды и ее плавки комбината «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК» (рис. 1). Это относительно большое (площадь озера – 11.3 км<sup>2</sup>, площадь водосбора – 285.8 км<sup>2</sup>), мелководное, овально-удлиненное (с запада на восток) озеро ледникового происхождения, длина которого 7.2 км, ширина – 2.8 км [6]. Наибольшие глубины (до 10 м) располагаются в центральной части озера. Годовое количество осадков в Печенгском районе – 450–500 мм, испарение – около 200 мм. Большая часть осадков выпадает в виде снега в зимний период. Территория водосборной площади по типу ландшафтов относится к лесотундровой зоне [6, 7]. Основные техногенные потоки, влияющие на водосбор озера, –

атмосферные эмиссии кислотообразующих оксидов серы и азота, пылевые и аэрозольные частицы Cu, Ni, Co, а также загрязненные трансграничные атмосферные потоки [8–10]. Основной пик производственной деятельности по переработке медно-никелевого сырья в этом районе относится к концу 1970-х – началу 1980-х гг. В этот период на комбинате перерабатывались высокосернистые норильские руды, что обуславливало максимальные объемы выбросов SO<sub>2</sub> (рис. 2). С середины 1990-х гг. в результате усовершенствования технологических процессов и перехода на местные малосернистые руды эмиссия SO<sub>2</sub> в атмосферу уменьшается. Выраженное снижение продолжалось до 2004 г., затем уровень эмиссии стабилизировался.

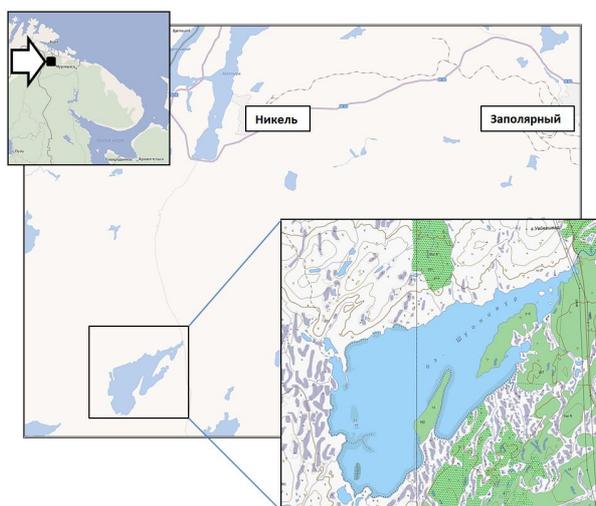


Рис. 1. Схема расположения оз. Шуонияур

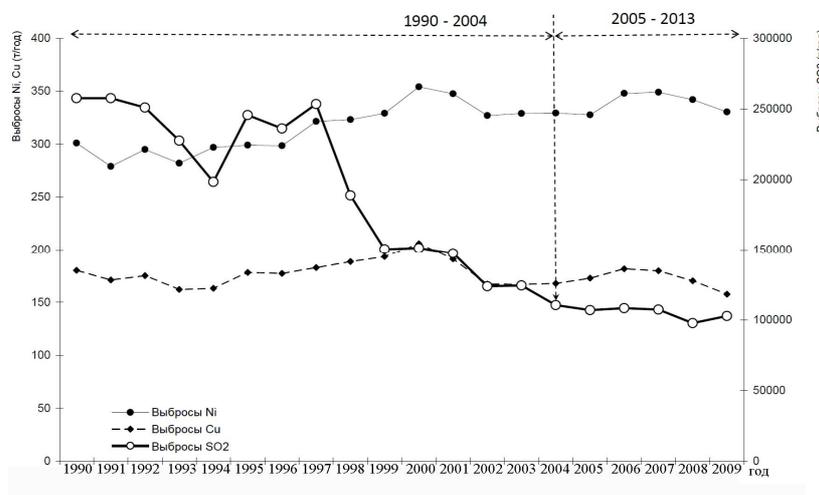


Рис. 2. Динамика выбросов в атмосферу соединений никеля, меди и оксида серы комбинатом «Печенганикель» [10]

Отбор проб воды и химико-аналитические измерения осуществляли по сертифицированным российским и международным методикам [11, 12] в аккредитованном Центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН. Пробы воды отбирали пластиковым батометром в полиэтиленовые бутылки в центральной части озера с поверхностного (0.5 м) и придонного (1 м от дна) горизонтов весной после схода снежного покрова и в осенний период после осеннего охлаждения. Контроль качества результатов измерений включал балансировые

расчеты концентраций основных ионов минерализации и зарядов. Расхождение суммарных содержаний катионов и анионов в пробах воды не превышало  $\pm 5\%$ .

### Результаты и их обсуждение

Среднее значение минерализации воды оз. Шуонияур за период наблюдений 1990–2013 гг. составило  $23.9 \pm 2.1$  мг/л. По показателю минерализации воды озеро можно отнести к ультрапресным (классификация А.М. Овчинникова), наиболее пресным по классификации Н.И. Толстихина (10–30 мг/л) или очень малой минерализации <100 мг/л (классификация О.А. Алекина). Основные гидрохимические показатели воды озера за период мониторинга приведены в таблице.

Основные гидрохимические показатели воды оз. Шуонияур (1990–2013 гг.)

Параметр	N	Значение*	Параметр	N	Значение
pH	40	$\frac{6.17-6.93}{6.70(6.73) \pm 0.17}$	$\text{HCO}_3^-$ , мг/л	40	$\frac{4.03-5.86}{5.11(5.22) \pm 0.45}$
Электропроводность, мкСм/см	40	$\frac{21.7-32.0}{24.13(23.9) \pm 2.15}$	$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/л	40	$\frac{3.11-8.50}{3.69(3.43) \pm 0.94}$
Щелочность, мкг-экв/л	40	$\frac{66.0-96.0}{83.75(85.5) \pm 7.31}$	$\text{SO}_4^{2-}$ **, мг/л	40	$\frac{2.85-8.20}{3.43(3.18) \pm 0.93}$
Цветность, °Pt	39	$\frac{10-32}{17(17) \pm 5}$	$\text{Cl}^-$ , мг/л	40	$\frac{1.57-2.4}{1.84(1.83) \pm 0.19}$
$\text{C}_{\text{орг}}$ , мг/л	40	$\frac{3.38-6.20}{4.59(4.58) \pm 0.52}$	$\text{NO}_3^-$ , мкгN/л	39	$\frac{0-98}{11(4) \pm 17}$
$\text{Ca}^{+2}$ , мг/л	39	$\frac{1.40-1.96}{1.81(1.85) \pm 0.13}$	$\text{N}_{\text{общ}}$ , мкгN/л	39	$\frac{88-597}{159(13) \pm 101}$
$\text{Mg}^{+2}$ , мг/л	40	$\frac{0.50-0.80}{0.61(0.62) \pm 0.06}$	$\text{PO}_4^{3-}$ , мкгP/л	39	$\frac{0-5}{2(1) \pm 1}$
$\text{Na}^+$ , мг/л	40	$\frac{1.41-2.00}{1.58(1.56) \pm 0.12}$	$\text{P}_{\text{общ}}$ , мкгP/л	40	$\frac{2-10}{4(4) \pm 1.8}$
$\text{K}^+$ , мг/л	40	$\frac{0.31-0.47}{0.40(0.40) \pm 0.03}$	Si, мг/л	39	$\frac{1.11-1.74}{1.43(1.4) \pm 0.13}$

\*В числителе указан минимум-максимум; в знаменателе – среднее (медианное значение)  $\pm$  стандартное отклонение.

\*\*Сульфаты с поправкой на морскую соль.

В настоящее время вода оз. Шуонияур по преобладающему аниону относится к гидрокарбонатно-сульфатному классу (по О.А. Алекину), по преобладающему катиону – к группе кальция, по соотношению концентраций основных ионов, выраженных в эквивалентной форме, – ко II группе:  $[\text{HCO}_3^-] < [\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}] < [\text{HCO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}]$  (табл.). Химический состав воды озера в 2013 г. можно выразить в виде формулы Курлова:

$$M(0.023 \text{ г/л} / 0.22 \text{ мкэкв/л}) \frac{\text{HCO}_3(43)\text{SO}_4(34)\text{Cl}(23)}{\text{Ca}(43)\text{Mg}(24)\text{Na}(29)\text{K}(4)} \text{pH} 6.84.$$

Анализ многолетней динамики гидрохимических показателей за период наблюдений позволяет выявить ряд закономерностей. На рис. 3 показаны изменения относительного состава главных ионов минерализации в воде оз. Шуонияур, свидетельствующие о снижении роли  $\text{SO}_4^{2-}$  и

Na<sup>+</sup> в ионном балансе.

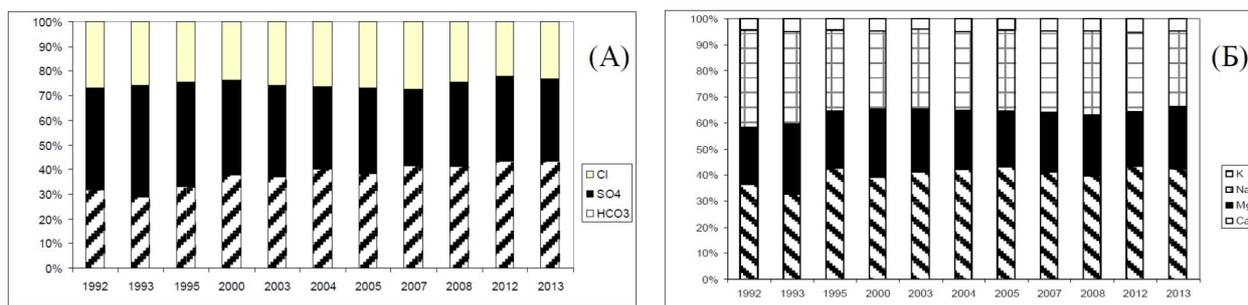
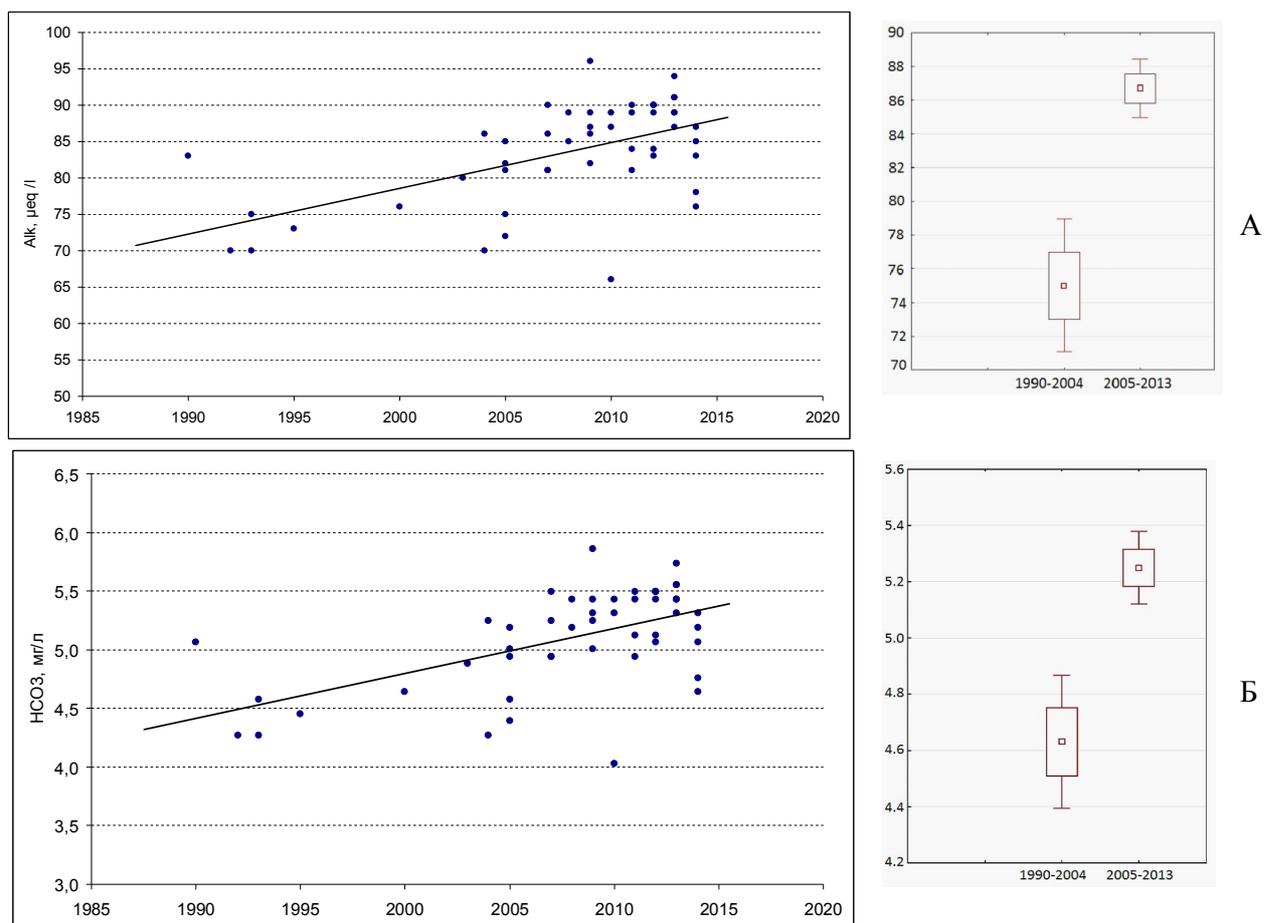


Рис. 3. Изменение относительного состава основных анионов (А) и катионов (Б) минерализации вод оз. Шуонияур

Установлено среднее значение щелочности (Alk) воды оз. Шуонияур –  $85.5 \pm 7.3$  мкг-экв/л при минимальном – 70 мкг-экв/л, зафиксированном в 1992 г. Это довольно высокий показатель, учитывая, что, по данным метеонаблюдений, основной эмиссионный поток от производственных мощностей комбината «Печенганикель» локализуется в районе озера [5]. После 1992 г. выявлен достоверный тренд увеличения щелочности воды озера ( $p=0.001$ ) (рис. 4).



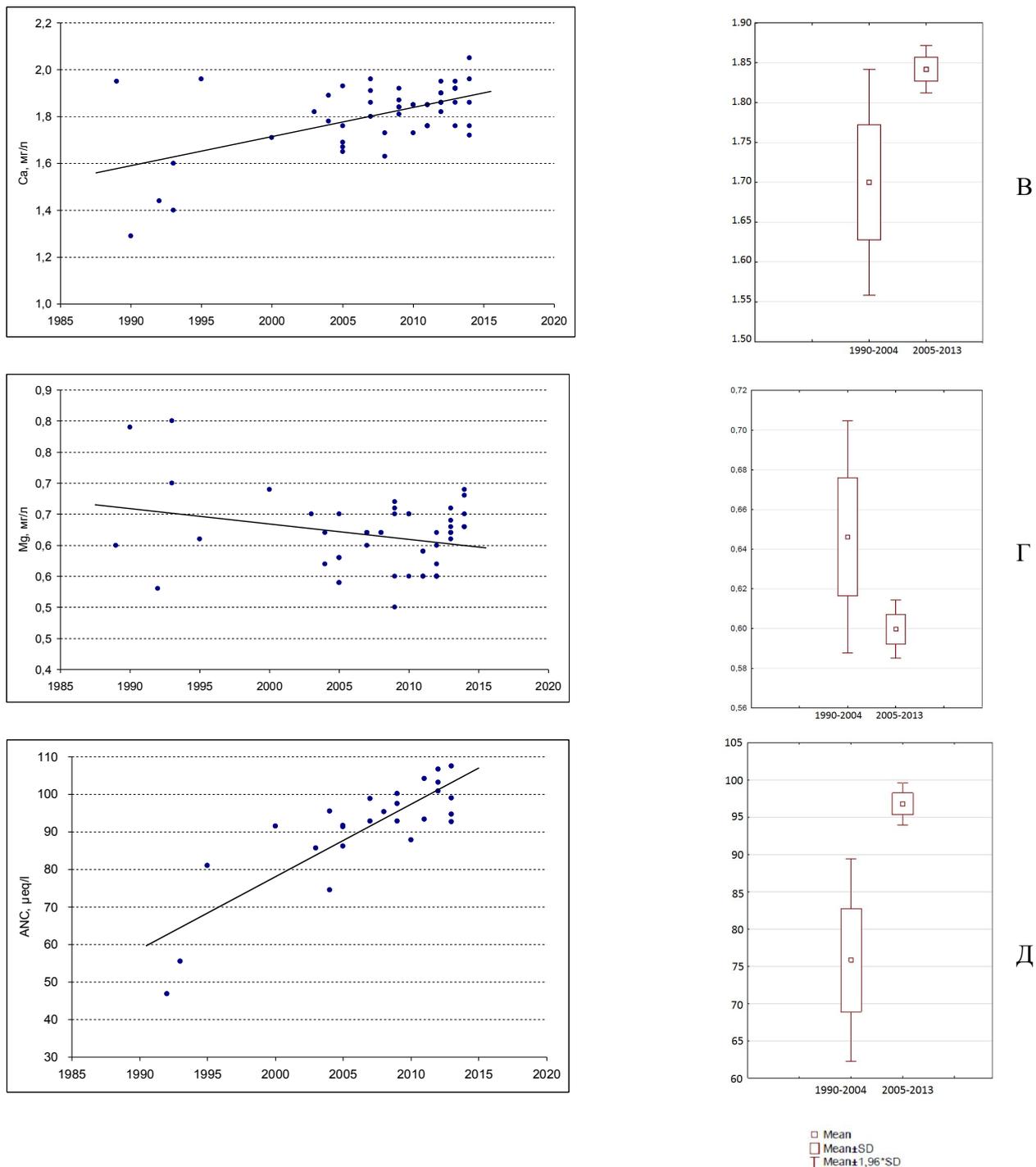


Рис. 4. Динамика щелочности (А), содержания карбонат-иона  $[HCO_3^-]$  (Б), кальция (В), магния (Г), кислотонейтрализующей способности (АНС) (Д) вод оз.Шуонияур за 1992–2013 гг. (поверхностный горизонт)

Средние значения щелочности за 2005–2013 гг. были выше на 11.7 мкг-экв/л ( $t=5.91$ ) аналогичных показателей за 1990–2004 гг. Вместе с тем, в соответствии с принятой классификацией экологического статуса (ES) природных вод [13], водоем находится на первой стадии закисления (значение щелочности менее 0.1 мкг-экв/л). Отмечены значительные сезонные

колебания щелочности озера с минимальными значениями в паводковые периоды, что является типичным для водоемов при аэротехногенном характере их загрязнения кислотообразующими соединениями. Наибольший диапазон сезонных колебаний щелочности наблюдался в 1990-е гг. Одновременно с увеличением щелочности в 2000-е гг. достоверно ( $p=0.01$ ) снижается диапазон сезонных колебаний (рис. 5). Так, весной 2004 г. щелочность на 16 мкг-экв/л была ниже, чем летне-осенний период, а в 2013 г. – на 5 мкг-экв/л.

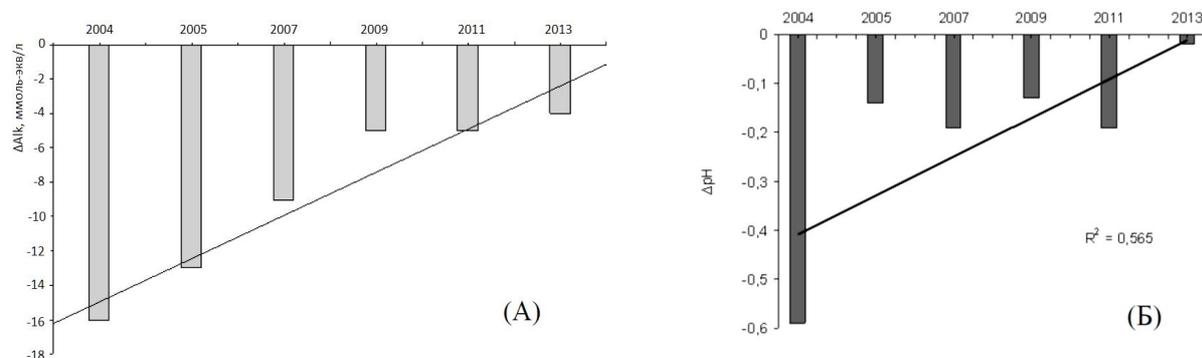


Рис. 5. Динамика величины сезонных (весна – осень) колебаний щелочности ( $\Delta\text{Alk}$ ) (А) и рН (Б) вод оз. Шуонияур в период 2004 – 2013 гг. (поверхностный горизонт)

В период наблюдений достоверно установлено увеличение содержания гидрокарбоната в воде озера (рис. 3, 4). Средние значения за 2005–2013 гг. превышали на 0.62 мг/л ( $t=4.47$ ) аналогичные показатели за 1990–2004 гг. Эти изменения сопровождались увеличением содержания в воде кальция. Средние значения за 2005–2013 гг. были выше на 0.14 мг/л ( $t=3.06$ ), чем в 1990–2004 гг., но содержание магния при этом снижалось. В 2005–2013 гг. его содержание было на 0.05 мг/л ( $t=2.24$ ) ниже, чем в предыдущий период.

Многолетние изменения кислотонейтрализующей способности (ANC) озера (1992–2013 гг.), рассчитанные как разница в суммарных концентрациях в воде озера щелочных катионов и анионов сильных кислот [14], демонстрируют достоверный тренд увеличения значений этого показателя ( $p=0.01$ ) (рис. 4). При этом среднее значение ANC озера составляет  $91 \pm 16$  мкг-экв/л. Средние значения ANC за 2005–2013 гг. были выше на 20.95 мкг-экв/л ( $t=4.37$ ) аналогичных показателей за 1990–2004 гг.

Существующий баланс основных ионов вод озера определяет близконеутральные значения рН воды (рис. 6). Наблюдается достоверное увеличение рН воды озера с 2005 г. ( $p=0.01$ ). Диапазон колебаний рН за период наблюдений составил 6.17–6.93 (медиана  $M=6.70 \pm 0.17$ ). Средние значения рН воды за 1990–2004 и 2005–2013 гг. повысились на 0.14 ( $t=2.33$ ), при этом уменьшилась амплитуда ( $\Delta\text{pH}$ ) сезонных (весенне-летних) колебаний рН воды озера (рис. 5). В 2004 г. в весенний период, когда с паводковыми водами происходит максимальное поступление в водоем кислотообразующих агентов, отмечено подкисление воды на 0.6 единиц рН, в то время как в 2005–2013 гг. весеннее снижение рН составляло 0.02–0.19 (рис. 5).

Достоверные снижения сезонных колебаний щелочности ( $\Delta\text{Alk}$ ), кислотности ( $\Delta\text{pH}$ ) воды и характер направленности их многолетних изменений свидетельствуют об увеличении кислотонейтрализующей способности воды озера (рис. 5). И хотя снижение выбросов кислотных осадков отмечается с 1992 г., именно 2004 г. можно считать началом некоторой стабилизации буферной системы вод озера. При этом наиболее выраженным было снижение концентрации сульфатов, ставшее ответом на уменьшение объемов эмиссии соединений серы комбинатом «Печенганикель». Эти процессы имеют конгруэнтный характер ( $R=0.852$ ,  $R_{\text{кр}}=0.847$ ;  $p=0.001$ ). Достоверное снижение средних значений сульфатов за 1990–2004 и 2005–2013 гг. составило 1.39 мг/л ( $t=5.00$ ) при уменьшении сезонной вариабельности (рис. 6).

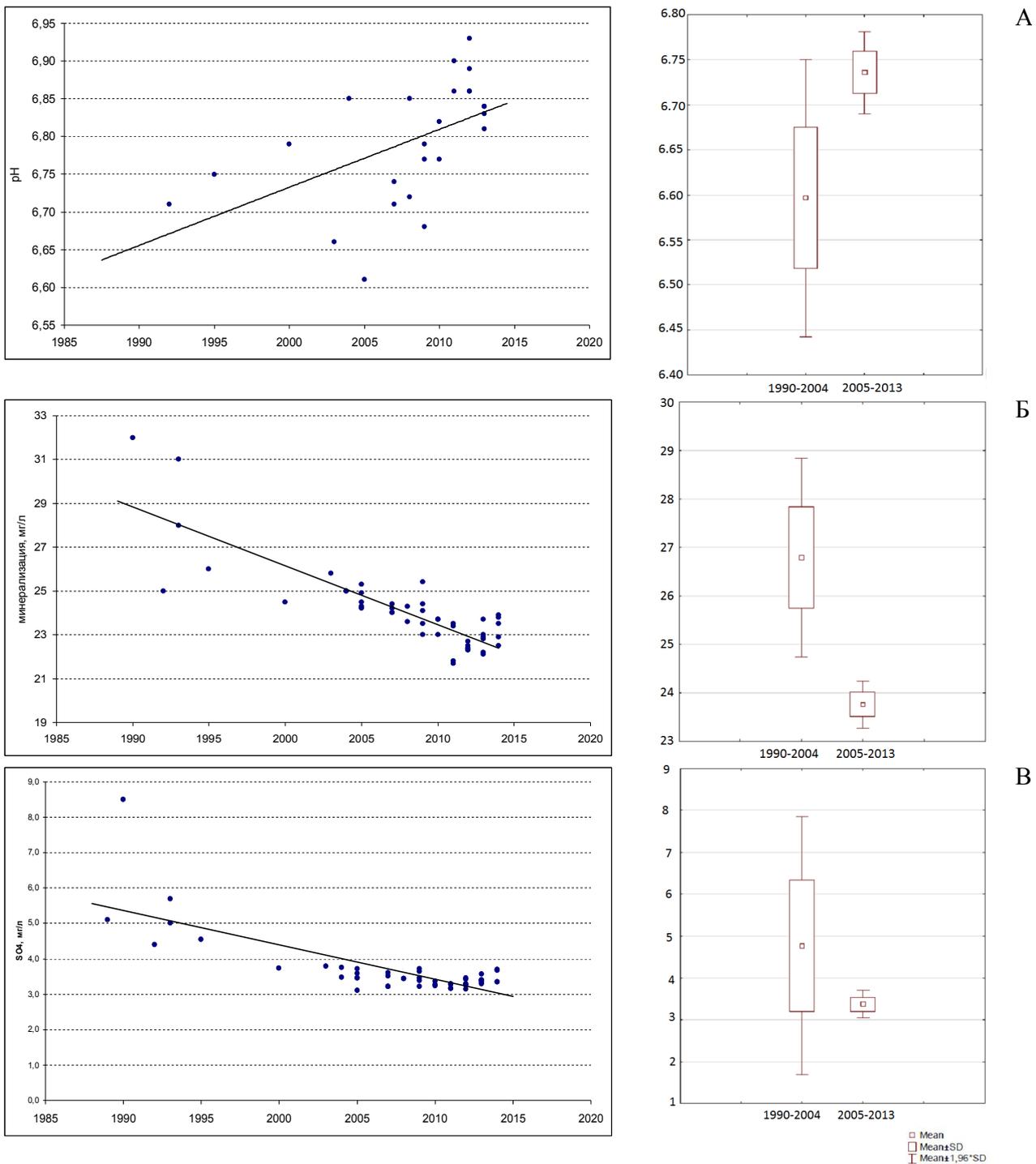


Рис. 6. Динамика pH (А), минерализации (Б), сульфат-иона  $[SO_4^{2-}]$  (В) вод оз. Шуонияур за период 1992–2013 гг.

Водосборная территория оз. Шуониявр имеет значительный показатель кислотонейтрализующей способности почв ( $ANC_{\text{почв}}$ ), и даже незначительное снижение аэротехногенной нагрузки или даже стабилизация объемов эмиссии обуславливает выраженное повышение  $ANC_{\text{вод}}$ .

Отношение концентрации нитрат-ионов (мкг-экв/л) в воде к концентрации сульфат-ионов меньше 1 ( $K_{N/S} = 0.01-0.40$ ), что подтверждает преобладающее влияние выпадений сульфат-ионов на процесс закисления озера. При этом отмечается достоверный рост общего содержания азота (рис. 7) в воде озера с 2000 г. ( $R_{кр}^2 = 0.399$ ;  $p = 0.05$ ), что может быть связано как с увеличением атмосферных поступлений  $NO_2$  [8], так и с увеличением первичной продуктивности водоема. В целом содержание соединений азота и фосфора в воде озера довольно низкое: среднее общее содержание фосфора –  $4.43 \pm 1.78$  мкгP/л, азота –  $148 \pm 77$  мкгN/л, что соответствует показателям для олиготрофных водоемов. Учитывая сложность биогеохимических циклов азота в экосистемах [15, 16] и низкие содержания в воде озера  $NO_3^-$  ( $11 \pm 17$  мкгN/л),  $NH_4^+$  ( $7 \pm 7$  мкгN/л), количественная оценка вклада атмосферных выпадений  $NO_2$  в изменение буферности воды пока не представляется возможной.

Хотя оз. Шуонияур по содержанию соединений P и N в воде можно рассматривать как олиготрофный водоем [13], достоверно ( $R_{кр}^2 = 0.468$ ;  $p = 0.01$ ) установленный рост (рис. 8) содержания органических веществ в воде за период наблюдения, положительная корреляция содержания органического углерода со  $Alk_{вод}$  и содержанием гидрокарбонат-иона ( $p < 0.05$ ), а также обратная достоверная корреляция содержания органического углерода и  $SO_4^{2-}$  ( $p < 0.05$ ) свидетельствуют об увеличении первичной продуктивности озера. Средние значения за 2005–2013 гг. были выше на  $0.63$  мгC/л ( $t = 3.67$ ) аналогичных показателей за 1990–2004 гг. Синтез первичного органического вещества и последующее его разложение в озере в осенний период обеспечивает регенерацию C, N, P, с чем связан достоверный рост содержания  $PO_4^{3-}$  в осенний период. При этом средние значения за 2005–2013 гг. были выше на  $1.33$  мг/л ( $t = 3.34$ ) аналогичных показателей 1990–2004 гг. (рис. 8).

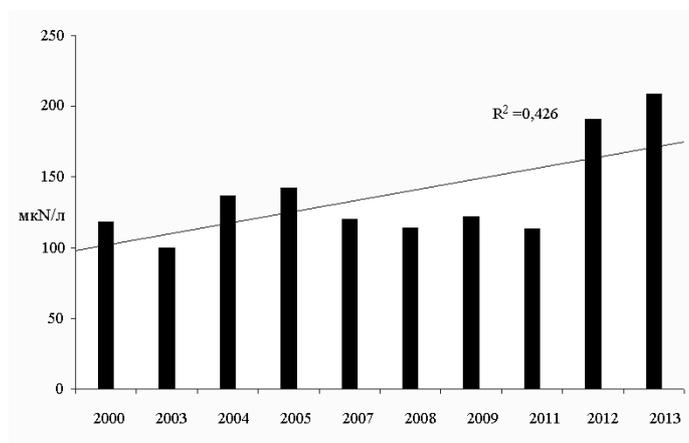


Рис. 7. Динамика содержания Нобщ в водах оз. Шуонияур в период 2000–2013 гг. (поверхностный горизонт, осень)

В начале 1990-х гг. оз. Шуонияур находилось на первой стадии закисления ( $Alk < 0.1$  мг-экв/л). Высокая ANC почв водосбора сдерживала длительное (более чем 60 лет) воздействие кислых атмосферных осадков на водоем, и значения pH озера оставались околонеutralными. Известно, что длительный период устойчивости водоемов к закислению связан с высоким природным геохимическим буферированием [17]. Следует учитывать, что помимо кислотообразующих агентов, атмосферные выбросы плавильных цехов комбината «Печенганикель» содержат значительное количество зольных частиц, содержащих щелочные и щелочноземельные элементы, в том числе Ca и Mg, осаждающиеся в радиусе 40 км от источника

эмиссии. В 1990–2013 гг. в атмосферных осадках соотношение этих элементов к сульфатам (KCa,Mg/S) в различные периоды составляло 1–3, что свидетельствует о значительной забуференности атмосферных осадков в зоне расположения озера. Снижение кислотной нагрузки (LAc) привело к стабилизации ситуации и повышению  $ANC_{\text{вод}}$  с 47 до 107 мкг-экв/л. Критическая кислотная нагрузка (CLAC) оз. Шуониявр в 2013 г. равнялась 114 мкг-экв/м<sup>2</sup>·год. Изменения CLAC озера за 1992–2013 гг. представлены на рис. 9. Отмечается рост этого показателя в 1994–2013 гг. Высокая  $ANC_{\text{почв}}$  водосбора и значительное содержание щелочноземельных элементов в атмосферных выпадениях эффективно нейтрализуют существующий уровень LAc и сдерживают процесс закисления водоема.

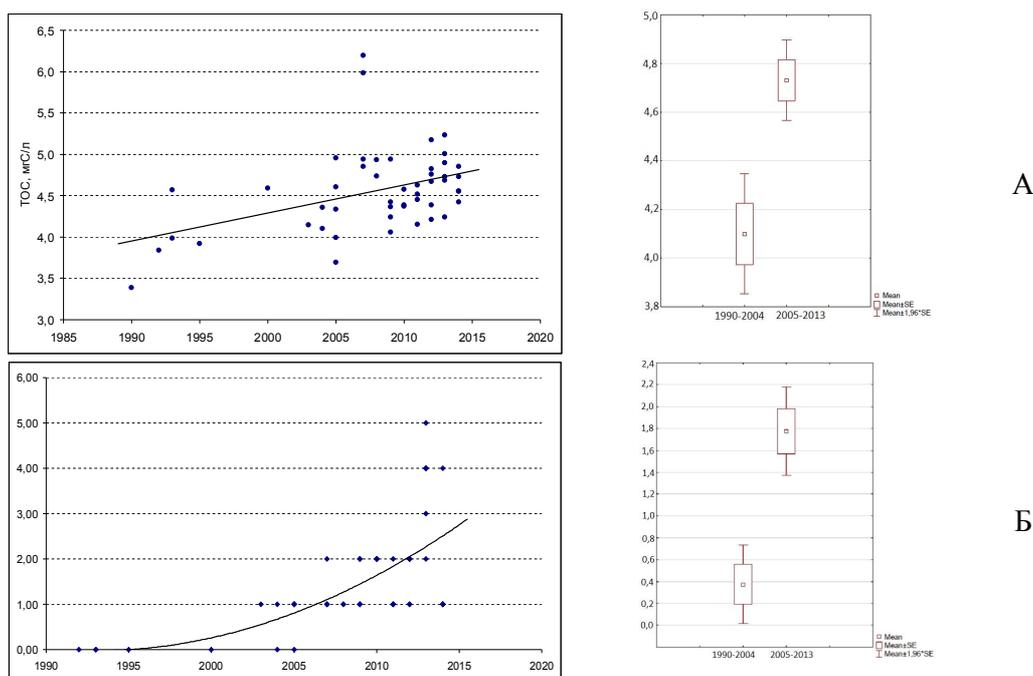


Рис. 8. Изменения содержания общего растворенного углерода (ТОС) (А), фосфат-иона ( $PO_4^{3-}$ ) (Б) в водах оз. Шуонияур в период 1992–2013 гг. (поверхностный горизонт, осень)

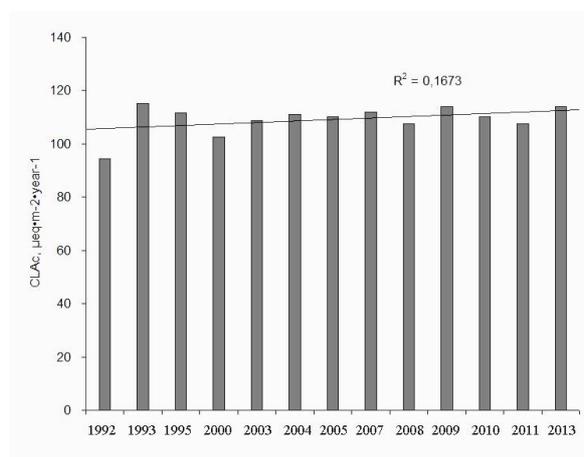


Рис. 9. Изменения показателей критической кислотной нагрузки (CLAC) оз. Шуонияур в период 1992–2013 гг.

## Заключение

По итогам четвертьвекового мониторинга субарктического низкоминерализованного оз. Шуонияур выявлено достоверное увеличение щелочности и кислотонейтрализующей способности воды озера, вызванное уменьшением эмиссионных потоков диоксида серы и, следовательно, нагрузки кислотообразующих агентов, а также снижение диапазона сезонных колебаний значений рН, щелочности и кислотонейтрализующей способности. В ионном балансе воды озера зафиксировано снижение доли  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  (как результат уменьшения выбросов пыли и  $\text{SO}_2$ ) и увеличение доли  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . Снижение выбросов кислотных осадков отмечается с 1992 г., но только с 2004 г. зафиксирована некоторая стабилизация буферной системы вод озера, что может говорить о значительной инертности буферной емкости системы водосбор – озеро. Отмечена тенденция роста первичной продуктивности озера, что связано с увеличением содержания соединений биогенных элементов (азота и фосфора) в воде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Muniz L.P.* Effects of acidification on Scandinavian freshwater fish fauna // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1984. 305. P. 517–528.
2. *Hestagen T., Langeland A., Berger H.M.* Effect of acidification due to emissions from the Kola Peninsula on fish populations in lakes near the Russian border in northern Norway // *Water, Air and Soil Pollution*. 1998. Vol. 102. P. 17–36.
3. State of fish populations in small forest lakes in the Norwegian, Finnish and Russian area / *N.A. Kashulin* [et al.] // *In State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. The Finnish Environment*. 2007. 6. 47 p.
4. *Lappalainen A., Tamm J., Kashulin N.A.* The effect airborne emission from the Pechenganikel smelters on water quality and littoral fish communities of small watercourses in joint Finnish, Norwegian and Russian border area // *State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. The Finnish Environment*. 2007. 6. 47 p.
5. A refinement of emission data Kola Peninsula based on inverse dispersion modeling / *M. Prank* [et al.] // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. Vol. 10. P. 849–865.
6. Экологический каталог озер Мурманской области. Северо-западная часть Мурманской области и приграничной территории сопредельных стран: в 2 ч. / *Н.А. Кашулин* [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. Ч. 1. 226 с.
7. *Kashulin N.A., Dauvalter V.A., Sandimirov S.S., Koroleva I.M.* Catalogue of lakes in the Russian, Finnish and Norwegian Border Area // *Finland, Kuopio: Koriyva Oy*. 2008. 141 p.
8. Обновление перечня экологических «горячих точек» в российской части Баренцева региона: Предложения по экологически значимым инвестиционным проектам / Секретариат АМАП. Осло, 2003. 111 с.
9. *Ревич Б.А.* Горячие точки химического загрязнения окружающей среды и здоровья населения России / под ред. В.М. Захарова; Общественная палата РФ. М.: Акрополь, 2007. 192 с.
10. Мониторинг окружающей среды в зоне влияния ОАО «Кольская ГМК» и рекультивация нарушенных земель, 2010. URL: <http://www.kolagmk.ru/ecology/monitoring>
11. Контроль качества воды: справ. издание. М.: Стандартинформ, 2010. 944 с.
12. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. 3-е изд. М.: Протектор, 2000. 848 с.
13. *Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. Справочные материалы / Т.В. Гусева* [и др.]. М.: Эколайн, 2000. 87 с.
14. *ICP Waters Programmer Manual* 2010. ICPWaters Report 105/2010. Oslo: NIVA, November 2010. 91 p.
15. *Никаноров А.М.* Гидрохимия: учебник. 2-е изд. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 444 с.
16. *Башкин В.Н., Касимов Н.С.* Биогеохимия. М.: Научный мир, 2004. 648 с.
17. *Lam D.C.L., Wong I., Swayne D.A., Storey J.A.* Knowledge-based approach to regional acidification modelling // *Environmental Monitoring and Assessment*. 1992. Vol. 23. P. 83–97.

## Сведения об авторах

*Кашулина Татьяна Григорьевна* – к.т.н., доцент, зав. сектором физико-химических методов анализа Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН;

e-mail: [tkash@inep.ksc.ru](mailto:tkash@inep.ksc.ru)

*Кашулин Николай Александрович* – д.б.н., профессор, зав. лабораторией водных экосистем, зам. директора по научной работе Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН;

e-mail: [nikolay@inep.ksc.ru](mailto:nikolay@inep.ksc.ru)

*Даувальтер Владимир Андреевич* – д.г.н., профессор, главный научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН;

e-mail: [vladimir@inep.ksc.ru](mailto:vladimir@inep.ksc.ru)

УДК 551.593.9

## ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ДУБЛЕТА НАТРИЯ ВО ВРЕМЯ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

**В.К. Ролдугин, А.В. Ролдугин**  
Полярный геофизический институт

### Аннотация

Согласно спектральным наблюдениям ночного неба в обл. Ловозеро зимой 2012 г., дублет натрия 5893 Å наблюдается всегда в течение всей ночи. Обнаружена его корреляция с интенсивностью авроральных эмиссий, в первую очередь с молекулярным азотом 1PGN2. Наблюдающееся иногда его усиление в утренние часы связано с появлением акустико-гравитационных волн.

### Ключевые слова:

*свечение Na, полярные сияния, акустико-гравитационные волны.*



### Введение

Еще в 1936 г. советскими учеными Черняевым и Вуксом по спектроскопическим измерениям на Эльбрусе было обнаружено, что эмиссия около 5890 Å, известная ранее по спектрам ночного неба, усиливается в несколько раз в сумерках. Это указывало на ее атмосферное происхождение и на то, что она возбуждается резонансным рассеянием солнечных лучей. Более точные измерения определили линию как дублет натрия 5890–5896 Å, а по расчетам земной тени позволили определить высоту области свечения около 90 км и что слой узкий – несколько километров [1]. Потенциал возбуждения дублета невелик, всего 2.1 эВ, поэтому его возбуждение может происходить за счет многих процессов. Эмиссия стала предметом пристального изучения ученых как для выяснения морфологии и динамики натриевого слоя, так и для исследования процессов в мезосфере. Большой прогресс был достигнут после применения лидаров, позволивших точно определить высоту, толщину, плотность слоя [2].

В работе [3] по наблюдениям на лидаре в Андойе ( $\varphi=69^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=16^\circ\text{E}$ ) авторы обнаружили увеличение плотности паров натрия на высоте 95 км в 25 раз в течение 5 минут в ночное время, толщина слоя при этом составляла всего лишь 0.8 км. Они объяснили это явление как результат бомбардировки авроральными электронами атмосферной пыли, содержащей натрий. Действительно, в приведенном в статье случае в соседней обсерватории Абиско наблюдалась отрицательная бухта около 300 нТ. Впрочем, о спектральном наблюдении дублета натрия во время низких сияний типа *B* сообщалось и в монографии Чемберлена [4].

Идея об авроральном происхождении вспышек свечения натриевых слоев была подвергнута критике в работе [5]: такие слои видели и на очень низких широтах –  $\varphi=23^\circ\text{S}$  и  $\varphi=20^\circ\text{N}$ , где сияний не бывает. Они дали альтернативное объяснение явлению: акустико-гравитационные волны (АГВ) на высотах 80–100 км при прохождении натриевого слоя дают в максимуме волны кажущийся рост плотности. Впрочем, авторы авроральной гипотезы с критикой не согласились [6].

### Экспериментальные данные

Таким образом, вопрос «Есть ли связь между свечением натрия и полярными сияниями?» остался нерешенным. Для прояснения обратимся к наблюдениям сияний в обл. Ловозеро, где с

конца декабря 2011 г. по середину апреля 2012 г. работал меридиональный спектрометр [7], являясь современным аналогом камеры С-180S, он дает спектральные изображения дуги вертикала местного геомагнитного меридиана. Его параметры:

поле зрения	180°×0.2°
угловое разрешение	1°×0.2°
временное разрешение	60 с
спектральный диапазон	375–700 нм
спектральное разрешение	0.3 нм
динамический диапазон	65536

Для получения суточных ходов четырех эмиссий использовались данные спектрометра: 5577 Å OI, 5890 Å Na, 6563 Å H $\alpha$  и IPGN2. Образец спектра с этими четырьмя эмиссиями приведен на рис. 1. В нижней части на спектр сплошными окружностями нанесены указанные эмиссии, а точечными – области фона. Горизонтальными линиями нанесены положения углов 15° от горизонтов. Находилась средняя интенсивность пикселей в полосе  $\pm 1$  пиксель от линии в пределах от указанных  $\pm 15^\circ$  от горизонтов и аналогично в фоне, и разность полученных значений рассматривалась как интенсивность эмиссии в условных единицах.

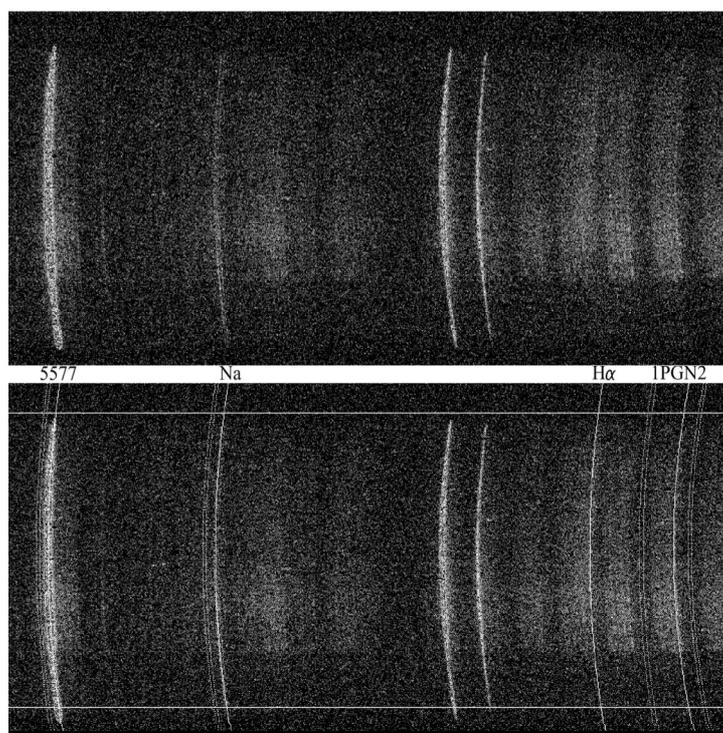


Рис. 1. Спектр в 01 ч 18 мин. UT 23 марта 2012 г. На нижней панели указаны определяемые эмиссии (сплошные линии) и спектральные интервалы, по которым определялся фон (пунктирные линии)

Так были построены суточные хода эмиссий для 20 ночей в январе – апреле 2012 г. В основном ночи выбирались безлунные и безоблачные, но было несколько ночей либо при наличии Луны, либо в облачность.

Оказалось, что дублет Na в обс. Ловозеро на данном спектрометре в течение всего зимнего сезона январь – апрель 2012 г. наблюдался всегда, в том числе и в совершенно ясные ночи, что исключает антропогенную подсветку. Его интенсивность с южной стороны больше, чем с северной.

### Na и сияния

Были исследованы ночи с сияниями, в том числе и с очень слабыми. Для более полной информативности об авроральной активности к суточным ходам интенсивности эмиссий добавлялись также вариации *H*- и *D*-компонент магнитного поля.

Оказалось, что все более или менее интенсивные сияния сопровождалось усилением свечения дублета натрия. Характерный пример приведен на рис. 2 для случая 30–31 января 2012 г. Сверху вниз показаны вариации эмиссий натрия, атомарного кислорода, водорода и молекулярного азота 1PGN2, а внизу вариации *H*- и *D*-компонент магнитного поля в обс. Ловозеро (сплошная и пунктирная линия соответственно). Видно, что возмущение до -400 нТл между 17.00 и 01.00 ч мирового времени сопровождалось сияниями и в это время эмиссия Na усиливается. В ходе основной эмиссии полярных сияний OI 5577 выражены два периода усиления – 17–22 и 22–02 ч мирового времени, эти интервалы видны и в интенсивности натрия. Они же хорошо заметны и в полосе 1PGN2, которая усиливается при вторжении высокоэнергичных электронов, проникающих до высоты 70 км и ниже. Водородная эмиссия Na 6563 Å высвечивается на бóльших высотах, около 120 км, однако она накладывается на полосу 1PGN2, поэтому когда эта полоса интенсивна, то фотометрирование в области Na не дает информации об интенсивности водородной эмиссии.

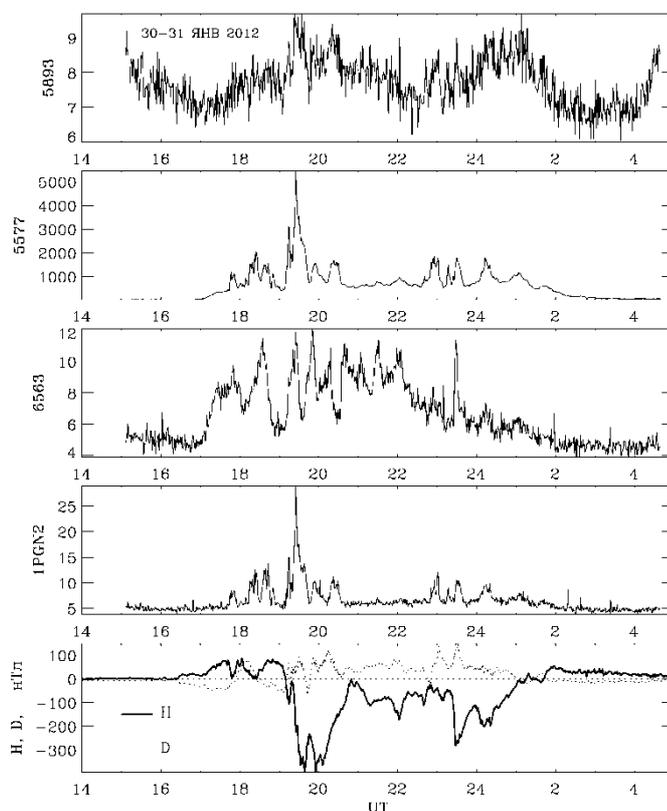


Рис. 2. Интенсивность эмиссий Na 5893 Å, OI 5577 Å, Na 6563 Å и полосы 1PGN2 30–31 января 2012 г. Внизу вариации магнитного поля в обс. Ловозеро в *H*- и *D*-компонентах

Другой пример приведен на рис. 3. Видно, что во время небольшой положительной бухты около 19.00 UT наблюдалось протонное вторжение, которое вызвало небольшое свечение в эмиссии 5577 Å, но в это время не было вторжения энергичных электронов, судя по отсутствию эмиссии 1PGN2. Излучение дублета Na в это время отсутствовало, но оно появилось при вспышке 1PGN2 в 20.30 UT во время отрицательной бухты.

Анализ полученных записей для 20 ночей дает возможность сделать вывод о том, что эмиссия Na появляется во время вторжения высокоэнергичных электронов, когда в спектрах хорошо видна полоса 1PGN2, и эта эмиссия отсутствует при вторжении авроральных протонов. Таким образом, утверждение авторов [2, 3, 6] о высвечивании натрия во время сияний подтверждается нашими данными.

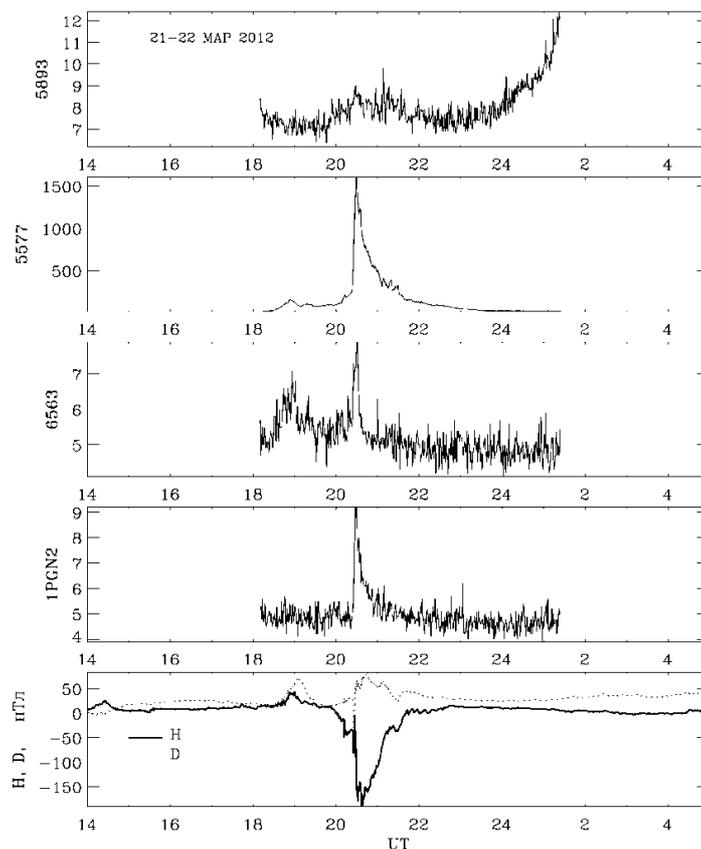


Рис. 3. Интенсивность эмиссий Na 5893 Å, OI 5577 Å, Na 6563 Å и полосы 1PGN2 21–22 марта 2012 г. Внизу вариации магнитного поля в obs. Ловозеро в *H*- и *D*-компонентах

### Na и акустико-гравитационные волны

Полученные суточные вариации интенсивности дублета натрия выявили и другую особенность: она иногда увеличивается в вечерние, а чаще – в утренние часы. Это увеличение хорошо заметно на рис. 2 и 3. Правда, в эти ночи наблюдались интенсивные сияния. В случае 26 февраля 2012 г. сияния и магнитное возмущение ночью были слабые, а под утро отсутствовали (рис. 4). Характерной особенностью этого случая является быстрое увеличение интенсивности эмиссии Na с 02.00 UT и до рассвета. Включение и выключение меридионального спектрометра происходит в один и тот же момент, когда угол погружения Солнца составляет 11.7–11.9° без учета рефракции. На верхней панели пунктирной линией показан ход высоты солнечной тени над obs. Ловозеро, рассчитанный для зенита, с учетом рефракции. Видно, что рост эмиссии Na происходил, когда высота тени в зените была выше 150 км, много выше мезопаузы, однако у горизонта, вблизи азимута Солнца, этот слой может быть освещен. Наши данные не позволяют определить высоту свечения Na, но его авроральное происхождение можно исключить ввиду отсутствия возмущенности.

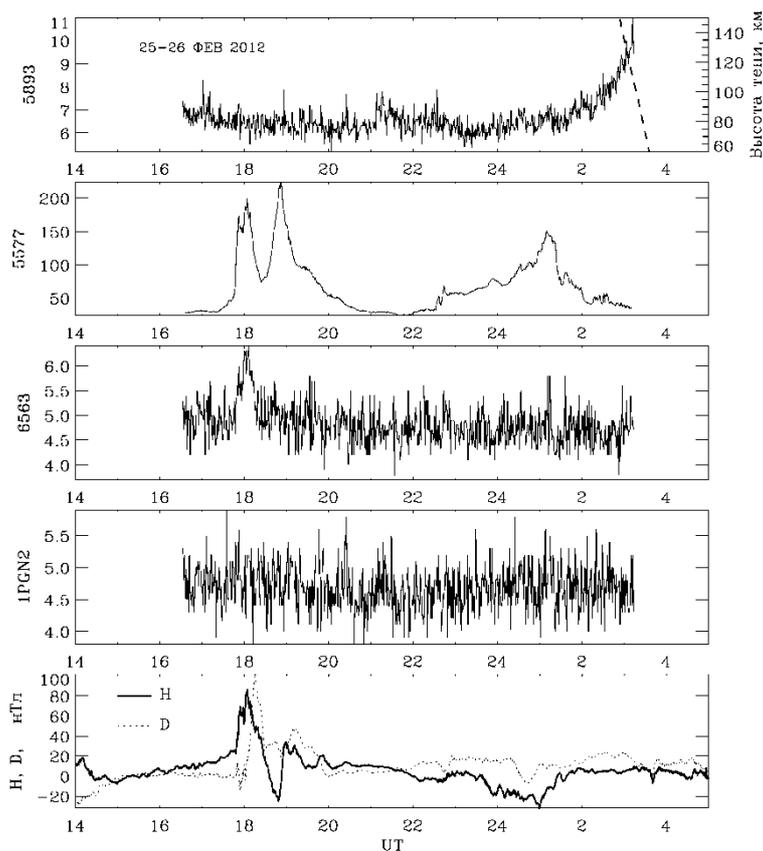


Рис. 4. Интенсивность эмиссий Na 5893 Å, OI 5577 Å, Na 5563 Å и полосы 1PGN2 25–26 февраля 2012 г. Внизу вариации магнитного поля в obs. Ловозеро в *H*- и *D*-компонентах. На верхней панели показана также высота солнечной тени, шкала справа

В этом и подобных случаях снимки камеры всего неба в obs. Ловозеро обнаруживают характерную картину акустико-гравитационных волн на небе. На рис. 5 представлены четыре аскафильма в утренние часы 26 февраля 2012 г, время снимков указано. Камера ориентирована по геомагнитным координатам. Прозрачность неба в эту ночь была очень хорошей, на снимках виден Млечный Путь. Волнистая структура принадлежит АГВ. Она появилась около 00.00, задолго до начала роста интенсивности натриевого дублета, и наблюдалась в 03.15 UT, до рассвета. Картина менялась мало, как видно из приведенных четырех аскафильмов от 01:41 до 02.33 мирового времени. Ориентация волн – NW-SE, длина волны – около 100 км.

Таким образом, усиление свечения Na в сумерки может быть вызвано и появлением АГВ. Справедливы обе концепции: теория фон Цана [2, 3, 6], а также теория Клемеша и Симонич [5].

#### Технические данные камеры всего неба

Представляет интерес сопоставить представленные здесь аскафильмы с фотографиями на камерах всего неба, сделанных специально для съемок акустико-гравитационных волн. Ловозерская камера предназначена для съемок полярных сияний, частота регистрации – 1 кадр/с, время экспозиции – 0.05 с, оптический фильтр отсутствует, область максимальной чувствительности – зеленая, поэтому в наблюдаемую картину свечения основной вклад внесла эмиссия атомарного кислорода OI 5577 Å. В работе [8] представлены фотографии гравитационных волн, сделанные на о-ве Гавайи,  $\varphi=21^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=156^\circ\text{W}$ . Съемка проводилась с интерференционными фильтрами в эмиссиях OI, Na, O<sub>2</sub>(0.1) 8655 Å и OH 7150–9300 Å. Полученные снимки волн похожи на представленные здесь. Экспозиция снимков была равна

соответственно 90, 120, 90 и 20 секунд, то есть примерно в 2 тыс. раз больше, чем наша. Пропускание интерференционных фильтров обычно лучше 10 %, и наша регистрация акустических волн при экспозиции всего лишь 0.05 с может быть объяснена как высокой чувствительностью нашей камеры, так и большой интенсивностью данного события.

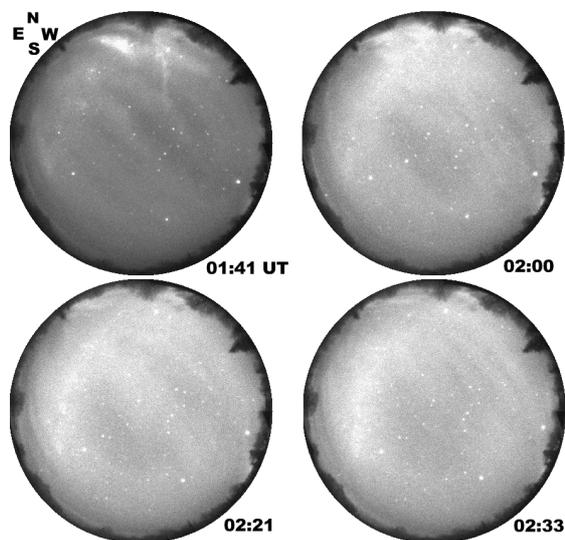


Рис. 5. Кадры камеры всего неба в obs. Ловозеро 26 февраля 2012 г.

## Вывод

Усиление интенсивности свечения дублета натрия может быть вызвано как вторжением высокоэнергичных авроральных электронов, так и появлением на высотах ионосферы акустико-гравитационных волн.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хвостиков И.А. Натрий в стратосфере. Успехи физических наук. 1946. Т. XXX, вып. 3–4. С. 184–244.
2. Von Zahn U., Fricke K.Y., Gerndt R. and T. Blix Mesospheric temperatures and the OH layer height as derived from ground-based lidar and OH\* spectrometry // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1987. Vol. 49, № 8. P. 863–869.
3. Von Zahn U., von der Gathen P. and Hansen G. Forced release of sodium from upper atmospheric dust particles // *Jeoph. Res. Lett.* 1987. Vol. 14, № 1. P. 76–79.
4. Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. 228 с.
5. Clemesha B.R., Simonich D.M. Comments on a paper entitled "Sudden neutral sodium layers: a strong link to sporadic E layers" / by U. von Zahn, T.L. Hansen, *J. Atmos. Terr. Phys.* 1989. Vol. 51, № 2. P. 145–147.
6. Von Zahn U., Hansen T.L. Reply to comments by B.R. Clemesha and D.M. Simonich on a paper entitled "Sudden neutral sodium layers: a strong link to sporadic E layers" // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1989. Vol. 51, № 2. P. 147–151.
7. Меридианальный спектрометр / А.В. Ролдугин и др. // *Приборы и техника эксперимента.* 2007. Т. 50, № 5. С. 130–137.
8. Taylor M.J., Bishop M.B., Taylor V. All-sky measurements of short period waves imaged in the OI(557.7 nm), Na(589.2 nm) and near infrared OH and O<sub>2</sub>(0, 1) nightglow emissions during ALOHA-93 campaign // *Geophys. Res. Lett.* 1995. Vol. 22, № 20. P. 2833–2836.

## Сведения об авторах

Ролдугин Валентин Константинович – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Полярного геофизического института КНЦ РАН;

e-mail: rold\_val@pgia.ru

Ролдугин Алексей Валентинович – ведущий инженер Полярного геофизического института КНЦ РАН;

e-mail: roldugin\_a@pgia.ru

УДК 551.513:551.515.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПОМОЩИ  
ПРОСТРАНСТВЕННО-ТРЕХМЕРНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ,  
РАЗРАБОТАННЫХ В ПОЛЯРНОМ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ В ТЕЧЕНИЕ  
ПОСЛЕДНИХ ДВУХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ\***

**В.С. Мингалёв, И.В. Мингалёв, К.Г. Орлов**  
Полярный геофизический институт

**Аннотация**

Приводится обзор выполненных учеными Полярного геофизического института (ПГИ) за последние примерно два десятилетия теоретических работ, посвященных разработке и приложениям математических моделей крупномасштабной трехмерной циркуляции нижней и средней атмосферы. Разработанные модели использовались для численного исследования начального зарождения циклонических вихрей в полярных и тропических регионах, а также для численного моделирования глобальной циркуляции атмосферы. Модельные расчеты глобальной циркуляции были проведены не только для атмосферы Земли, но и для других планетных тел, в частности, для атмосфер Титана и Венеры.

**Ключевые слова:**

*Полярный геофизический институт, циркуляция атмосферы, циклонические вихри, математическое моделирование.*



**Введение**

Сотрудники ПГИ в своих исследованиях начали применять метод математического моделирования для исследования поведения различных слоев земной атмосферы с 1960-х гг. Обзор математических моделей земной ионосферы, которые были разработаны в ПГИ за 50 лет его существования, был

сделан ранее [1]. Настоящая работа посвящена обзору математических моделей крупномасштабной трехмерной циркуляции нижней и средней атмосферы, разработанных сотрудниками Института за последние примерно два десятилетия, сюда также включены опубликованные работы, в которых описываются результаты приложения этих моделей к исследованиям динамики нижней и средней атмосферы как на региональном уровне, так и в глобальном масштабе. Региональная математическая модель применялась для исследования начальной стадии зарождения полярных и тропических циклонов. Варианты глобальной математической модели использовались для исследования планетарных ветровых систем не только атмосферы Земли, но и других планетных тел, имеющих плотные атмосферы, подобные земной, в частности, для атмосфер Титана (спутника Сатурна) и Венеры.

**Принципы построения атмосферных моделей**

Нижний и средний слои атмосферы представляют собой смесь нескольких газов, подверженных воздействию электромагнитного излучения и находящихся в гравитационном поле вращающейся планеты. Если рассматривать крупномасштабные движения атмосферного газа (ветры), то главная их причина – неравномерное распределение температуры в атмосфере,

\*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-01-00063.

следствием чего является неравномерное распределение давления атмосферного газа. Основными физическими процессами, определяющими температуру атмосферы, являются поглощение атмосферным газом солнечного излучения, теплового излучения поверхности планеты и нижележащих слоев атмосферы, а также охлаждение атмосферного газа за счет его теплового излучения. Эти процессы сильно зависят от концентрации малых компонент в атмосферном газе и аэрозолей.

Довольно широкий круг явлений, протекающих в нижней и средней атмосфере, в частности, ее крупномасштабная циркуляция, может быть описан на макроскопическом уровне при помощи системы уравнений переноса, записанной в так называемом гидродинамическом приближении. Для каждого сорта  $\alpha$  смеси атмосферных газов эта система может быть представлена в виде:

$$\frac{\partial n_\alpha}{\partial t} + \frac{\partial(n_\alpha V_\alpha^i)}{\partial x^i} = \sum_\varphi Q_{\alpha\varphi} - \sum_\gamma L_{\alpha\gamma}, \quad (1)$$

$$m_\alpha n_\alpha \frac{d_\alpha V_\alpha^j}{dt} = -\frac{\partial p_\alpha}{\partial x^j} + \frac{\partial \sigma_\alpha^{ij}}{\partial x^i} - 2m_\alpha n_\alpha (\vec{\Omega} \times \vec{V}_\alpha)^j + m_\alpha n_\alpha g^j + \\ + n_\alpha e_\alpha (\vec{E} + \vec{V}_\alpha \times \vec{B})^j + m_\alpha n_\alpha \sum_\beta \frac{1}{\tau_{\alpha\beta}} (\vec{V}_\beta - \vec{V}_\alpha)^j G_{\alpha\beta}; \quad (2)$$

$$\frac{3}{2} k \frac{d_\alpha(n_\alpha T_\alpha)}{dt} = -\frac{5}{2} k n_\alpha T_\alpha \frac{\partial V_\alpha^i}{\partial x^i} - \frac{\partial q_\alpha^i}{\partial x^i} + \sum_\beta \frac{m_\alpha n_\alpha}{m_\alpha + m_\beta} \times \\ \times \frac{1}{\tau_{\alpha\beta}} [3k(T_\beta - T_\alpha)H_{\alpha\beta} + m_\beta (\vec{V}_\beta - \vec{V}_\alpha)^2 G_{\alpha\beta}] + \sum_\mu \tilde{Q}_{\alpha\mu} - \sum_\nu \tilde{L}_{\alpha\nu}, \quad (3)$$

где  $\frac{d_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + V_\alpha^i \frac{\partial}{\partial x^i}$ ;  $k$  – постоянная Больцмана;  $1/\tau_{\alpha\beta}$  – частота упругих столкновений частиц сорта  $\alpha$  с частицами сорта  $\beta$ ;  $m_\alpha$  и  $e_\alpha$  – масса и заряд частицы сорта  $\alpha$ ;  $\vec{g}$  – ускорение силы тяжести;  $\vec{E}$  – напряженность электрического поля;  $\vec{B}$  – магнитная индукция;  $\vec{\Omega}$  – вектор угловой скорости вращения планеты;  $p_\alpha$  – давление частиц сорта  $\alpha$ ;  $\sigma_\alpha^{ij}$  – тензор вязких напряжений частиц сорта  $\alpha$ ;  $\vec{q}_\alpha$  – вектор теплового потока частиц сорта  $\alpha$ ;  $Q_{\alpha\varphi}$  – скорость образования частиц сорта  $\alpha$  в химической реакции  $\varphi$ ;  $L_{\alpha\gamma}$  – скорость исчезновения частиц сорта  $\alpha$  в химической реакции  $\gamma$ ;  $\tilde{Q}_{\alpha\mu}$  – скорость нагрева частиц сорта  $\alpha$  в неупругом взаимодействии  $\mu$ ;  $\tilde{L}_{\alpha\nu}$  – скорость охлаждения частиц сорта  $\alpha$  в неупругом взаимодействии  $\nu$ ,  $G_{\alpha\beta}$  и  $H_{\alpha\beta}$  – корректирующие множители в выражениях силы трения и скорости нагрева, обусловленных упругими столкновениями частиц, различные для разных потенциалов взаимодействия частиц. Суммирование по  $\beta$  распространяется на все выделенные сорта смеси, включая  $\beta=\alpha$ . Суммирование по  $\mu$  и  $\nu$  охватывает все те химические реакции и радиационные процессы, в которых частица  $\alpha$  принимает участие. Выражения (1), (2) и (3) – уравнения неразрывности, движения и теплового баланса соответственно.

Система (1)–(3) описывает поведение основных газодинамических переменных частиц сорта  $\alpha$ : концентрации  $n_\alpha$ , вектора скорости  $\vec{V}_\alpha$  и температуры  $T_\alpha$ . Уравнения записаны в прямоугольной системе координат, по повторяющимся координатным индексам подразумевается суммирование от 1 до 3. Компоненты тензора вязких напряжений и вектора теплового потока должны находиться из соотношений, связывающих их с градиентами основных газодинамических переменных, а также внешними силами, действующими на частицы.

Приведенная выше система уравнений должна быть дополнена уравнениями переноса излучения для того, чтобы можно было получить конкретный вид скоростей нагрева и охлаждения частиц сорта  $\alpha$ .

Приведенные уравнения могут быть просуммированы по всем сортам смеси газов, и может быть получена аналогичного вида система уравнений переноса для атмосферного газа в целом. В этой системе концентрация  $n$ , вектор скорости  $\vec{V}$  и температура  $T$  будут описывать поведение атмосферного газа в целом. Как видно, моделирующие уравнения являются нелинейными, взаимосвязанными и весьма сложными для решения даже при помощи численных методов, не говоря уже об аналитических решениях.

Разработанные на сегодняшний день математические модели циркуляции атмосферы, упоминание о которых встречается в мировой литературе, могут весьма сильно отличаться друг от друга целым рядом своих характеристик. Причина этих отличий заключается не только в различиях тех возможных целей, для которых разрабатывались модели, но еще и сложностью самого объекта математического моделирования – атмосферы. Из-за этой сложности вполне целесообразным представляется расщепление полной задачи о поведении атмосферы и введение таких упрощений, которые бы позволили сформулировать такую частную задачу, которая поддавалась бы решению имеющимися численными методами с использованием доступной вычислительной техники. Необходимость такого расщепления и введения различных упрощений и явилась причиной разнообразия разработанных в разных странах до настоящего времени математических моделей атмосферы.

Одним из широко применяемых упрощений в существующих математических моделях атмосферы является так называемое гидростатическое приближение. В этом приближении вертикальная скорость газа находится не путем численного решения уравнения движения для вертикальной составляющей скорости, а из условия гидростатического равновесия. Применение уравнения гидростатики в моделях циркуляции атмосферы приводит, как известно, к тому, что рассчитываемые по таким моделям вертикальные скорости обычно не превышают 1 м/с. В то же время имеются экспериментальные данные о том, что в высоких широтах в средней и верхней атмосфере наблюдаются большие (несколько десятков метров в секунду) значения вертикальной компоненты скорости нейтрального ветра, которые не могут быть получены при помощи моделей, базирующихся на уравнениях гидростатики.

### **Разработанная в ПГИ региональная модель атмосферной циркуляции и ее применение**

В течение последних примерно 10 лет в Полярном геофизическом институте разрабатывалась, совершенствовалась и использовалась численная региональная модель горизонтального и вертикального ветра в нижней атмосфере Земли, подробное описание которой можно найти в работах [2, 3], содержащих и подробную запись моделирующих уравнений.

В этой модели 3-мерной областью моделирования является часть шарового слоя над ограниченным участком земной поверхности и используются сферические координаты. Атмосферный газ рассматривается как смесь воздуха и водяного пара, в которой могут присутствовать аэрозоли двух видов: микрокапли воды и микрочастицы льда. Частицы аэрозолей считаются движущимися относительно смеси воздуха и водяного пара со скоростями осаждения. Температура смеси и микрочастиц аэрозолей считается одинаковой. Считается, что аэрозоль из микрокапель воды может присутствовать только при насыщенности водяного пара и температуре не ниже температуры замерзания воды (273.15 К). Аэрозоль из частиц льда может присутствовать только при насыщенности водяного пара и температуре, не превышающей точку плавления льда (273.15 К). При температуре среды 273.15 К смесь не может увеличиться, пока не расплавятся все частицы льда, и не может уменьшиться, пока не замерзнут все капли воды.

Модель основана на решении уравнений неразрывности и движения для горизонтальных и вертикальной компонент скорости вязкого сжимаемого газа, а также уравнения теплового баланса, в котором учитываются процессы нагрева-охлаждения воздуха как за счет поглощения-

испускания инфракрасного излучения, так и за счет фазовых переходов водяного пара в микрокапли воды и частицы льда. Кроме того, в модели вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной компоненты скорости без пренебрежения какими-либо членами, т.е. модель является негидростатической. Учитывается также оседание микрокапель воды и частиц льда в поле силы тяжести Земли.

Областью моделирования является часть шарового слоя над ограниченным участком земной поверхности, которая по высоте простирается от 0 до 15 км, по долготе имеет протяжение  $36^\circ$ , по широте –  $25^\circ$ . Модель основана на численном решении методом конечных разностей системы уравнений переноса для смеси воздуха и водяного пара, в которой могут присутствовать аэрозоли двух видов, и имеет шаги расчетной сетки по высоте 200 м, по широте и долготе  $0.04^\circ$ . Влияние турбулентности, имеющей масштабы, меньшие шагов расчетной сетки, на среднее течение атмосферного газа принимается во внимание; для параметризации этой турбулентности используется одна из существующих эмпирических моделей.

Обсуждаемая математическая модель позволяет рассчитывать зависящие от времени пространственно трехмерные распределения плотностей воздуха, водяного пара, микрокапель воды и частиц льда, зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости смеси воздуха и водяного пара, а также температуры атмосферного газа в области моделирования на отрезках времени порядка суток и более. При этом начальные и граничные условия могут задаваться довольно произвольно и отражать геофизическую обстановку моделируемых событий.

#### *Исследование зарождения полярных циклонов при помощи региональной модели*

В северных регионах Земли регулярно наблюдаются так называемые полярные циклоны, которые являются крупномасштабными атмосферными вихрями, образующимися в нижней тропосфере в высоких широтах. В частности, полярные циклоны достаточно регулярно возникают над незамерзающей поверхностью Норвежского и Баренцева морей. Впервые они были обнаружены на спутниковых изображениях в 1960-х гг. Наиболее интенсивные полярные циклоны называют арктическими ураганами. Полярные циклоны и арктические ураганы создают штормы в Норвежском и Баренцевом морях, могут вызывать обледенение кораблей и самолетов, выводить из строя промышленные и транспортные системы на море и на суше, приводить к затоплению прибрежных территорий, а также обладают огромной разрушительной силой. В Южном полушарии также наблюдаются полярные циклоны, но они, как правило, менее интенсивны, чем в Северном полушарии. Своевременное обнаружение полярных циклонов, изучение их характеристик, отслеживание движения и предсказание траекторий представляют одну из важных и до сих пор полностью не решенных задач современной науки. Применение математических моделей атмосферы может помочь в решении этой задачи.

Разработанная в ПГИ и кратко описанная выше региональная модель атмосферной циркуляции применялась для исследования причин, вызывающих начальное зарождение полярных циклонов. Результаты этих исследований были изложены в серии публикаций, в частности, в работах [4–9]. Авторами этих работ вначале была высказана гипотеза о том, что полярный циклон может сформироваться в результате развития неустойчивости течения воздуха в районе так называемого арктического фронта при появлении возмущения в виде изогнутого (выпуклого) участка этого фронта. Известно из наблюдений, что циркуляция нижней атмосферы в высоких широтах не является однородной, в ней можно выделить так называемые приполюсную циркуляционную ячейку и циркуляционную ячейку Ферреля. Границей между этими циркуляционными ячейками и является арктический фронт. Он представляет собой область, где зональная компонента ветра быстро меняется (имеется сдвиговое горизонтальное течение). Как правило, протяженность арктического фронта в меридиональном направлении не превышает 200 км, а его протяженность в зональном направлении составляет более 2 тыс. км. Из данных спутниковых наблюдений известно, что у арктических фронтов регулярно возникают

искривленные участки длиной 500–1000 км, отклоняющиеся от остальной части фронта на север или на юг на 100–200 км.

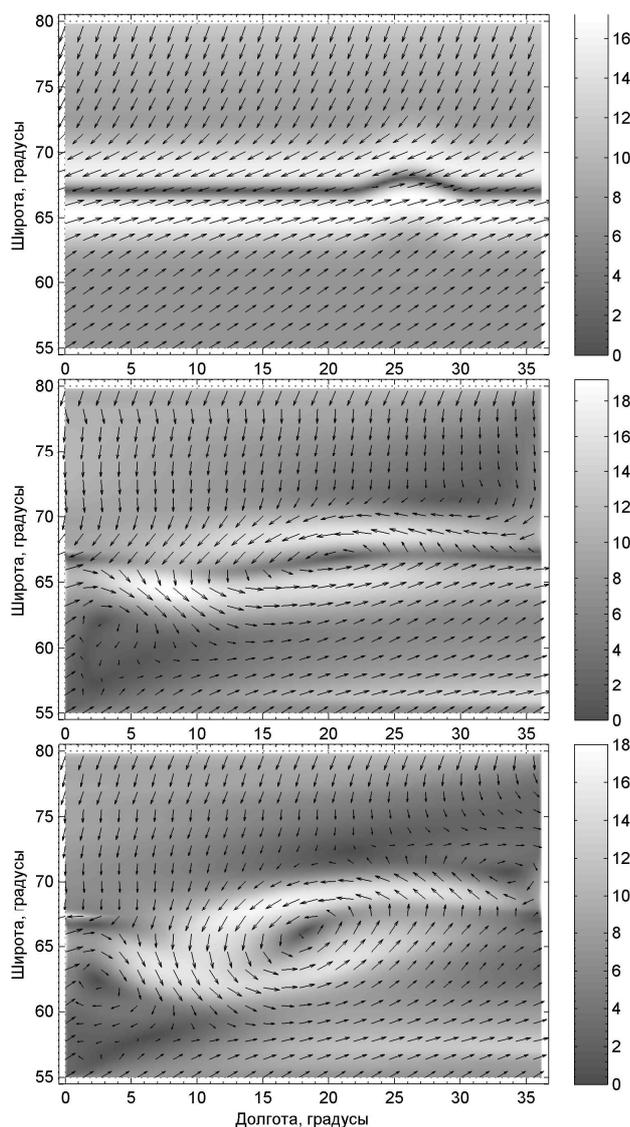


Рис. 1. Распределение горизонтальной составляющей скорости ветра (м/с) на высоте 600 м, заданное в начальный момент (верхняя панель), рассчитанное через 10 ч (средняя панель), 20 ч (нижняя панель) после начала моделирования для случая, когда в начальный момент центр изогнутого к северу участка арктического фронта находится примерно на  $10^\circ$  западнее восточной границы области моделирования. Стрелки указывают направление, их длина и яркость фона – величину скорости ветра

Представленные ранее результаты численного моделирования [4–9] подтвердили первоначально высказанную гипотезу. В этих работах даны результаты расчетов, полученные при разных сочетаниях начальных и граничных условий. Данные, полученные при одном таком сочетании, приведены для примера на рис. 1, из которого видно, что через некоторое время после начала моделирования начинается процесс разрушения арктического фронта и формирования циклонического вихря. Как видно из нижней панели рисунка, через 20 ч после начала моделирования сформировался циклонический вихрь с центром, лежащим на широте примерно  $67^\circ$  с.ш. и примерно на  $18^\circ$  к востоку от западной границы области моделирования. Скорость ветра в этом вихре достигает 18 м/с в северной и западной его частях.

Результаты численного моделирования, полученные при разных сочетаниях начальных и граничных условий, показали, что полярные циклоны зарождаются тогда, когда у арктических фронтов возникают искривленные участки длиной 500–1000 км, отклоняющиеся от остальной части фронта на север или на юг на 100–200 км [4–9]. Модельные расчеты продемонстрировали то, что при начальных отклонениях арктического фронта к северу или югу в течение примерно 10 ч формируется циклонический вихрь, который в дальнейшем движется либо на запад, либо на восток.

Поперечные размеры возникающих циклонических вихрей составляют порядка 600 км и более, а скорость ветра в них может достигать 15–20 м/с.

Физической причиной возникновения этих циклонических вихрей является развитие неустойчивости сдвигового воздушного течения, присутствующего в арктическом фронте. Эта неустойчивость инициируется искривлением арктического фронта. При этом кинетическая энергия крупномасштабного сдвигового течения, существующего в арктическом фронте, переходит в кинетическую энергию циклонического вихря.

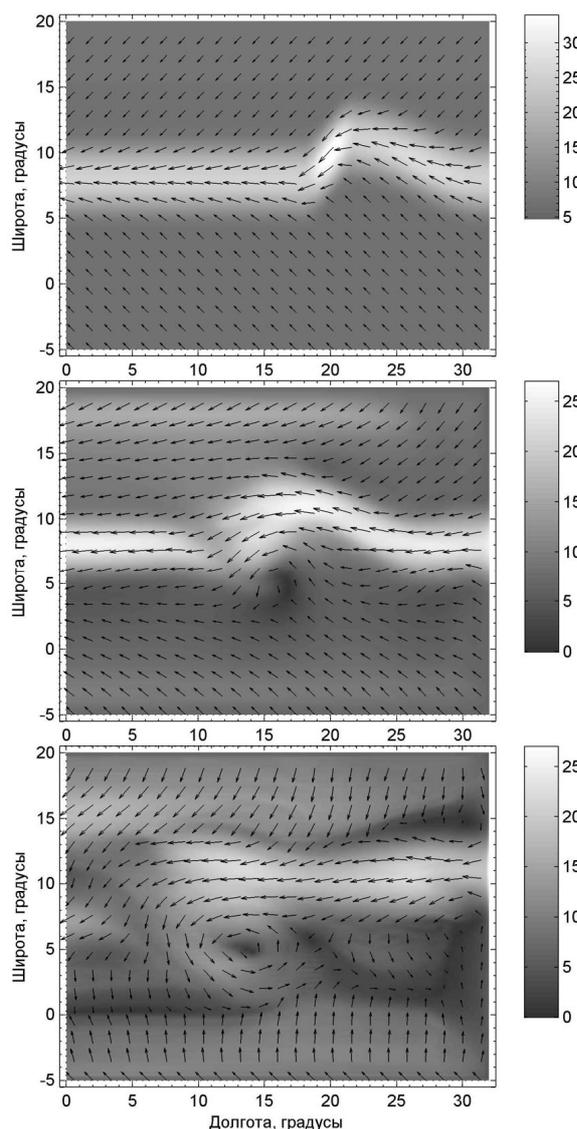


Рис. 2. Распределение горизонтальной составляющей скорости ветра (м/с) на высоте 600 м, заданное в начальный момент (верхняя панель), рассчитанное через 12 ч (средняя панель), 27 ч (нижняя панель) после начала моделирования. Стрелки указывают направление, их длина и степень затемнения рисунков – величину скорости. Результаты получены для случая, когда в начальной форме ВЗК выпуклость направлена к северу и восточный конец лежит на той же широте, что и западный

между пассатами Северного и Южного полушарий шириной несколько сотен километров. Ее отождествляют со статистически значимой границей между двумя циркуляционными ячейками Хедли. Из наблюдений известно, что в ВЗК зональная компонента ветра, направленная

Следовательно, при появлении выпуклых участков арктического фронта, которые могут быть обнаружены со спутников, можно прогнозировать с большой вероятностью зарождение полярных циклонов в течение ближайшего десятка часов, а по форме выпуклых участков арктического фронта можно предсказать место зарождения полярного циклона и его дальнейшую траекторию.

#### *Исследование зарождения тропических циклонов при помощи региональной модели*

Разработанная в ПГИ региональная модель атмосферной циркуляции, кратко описанная выше, применялась и для исследования причин, вызывающих начальное зарождение тропических циклонов. Результаты этих исследований были изложены в серии публикаций [10–19]. Предварительно был проведен анализ данных спутниковых наблюдений в микроволновом и инфракрасном диапазонах, полученных при помощи СВЧ-радиометрических приборов SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager), установленных на космических аппаратах серии DMSP (Defense Meteorological Satellite Program).

На основе этих данных сотрудниками отдела исследований Земли из космоса ИКИ РАН сформирована постоянно обновляемая база (электронная коллекция ИКИ РАН «GLOBAL-Field»), содержащая глобальные радиотепловые поля Земли. Проведенный анализ позволил высказать гипотезу о том, что тропические циклоны могут возникать в результате развития неустойчивости течения насыщенных влагой воздушных масс в окрестности внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), когда в ее очертаниях возникают выпуклые участки длиной 800–1000 км с отклонениями к северу или к югу на 200–300 км.

Известно, что внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) является промежуточной областью преимущественно зональных ветров барической ложбины

преимущественно в западном направлении, увеличивается при приближении к центру ВЗК. Меридиональная компонента направлена к центру ВЗК на высотах менее 3 км и от центра ВЗК на высотах более 3 км. Вертикальная компонента ветра над ВЗК направлена вверх.

Результаты численного моделирования [10–19] подтвердили первоначально высказанную гипотезу. Здесь были приведены данные расчетов, полученные при разных сочетаниях начальных и граничных условий. Результаты, полученные при одном таком сочетании, приведены для примера на рис. 2. На верхней панели этого рисунка дана начальная форма выпуклого участка ВЗК в области моделирования. Видно, что в течение примерно суток на южной границе ВЗК формируется циклонический вихрь.

Результаты моделирования показали, что форма начального возмущения ВЗК в виде выпуклых участков существенно влияет на процесс зарождения крупномасштабных горизонтальных вихрей в земной тропосфере в области внутритропической зоны конвергенции. В этой области при возникновении выпуклых участков ВЗК длиной 800–1000 км, в которых центральная линия зонального течения ВЗК при возрастании долготы отклоняется по широте более чем на 300 км, в течение примерно 1–2 суток может сформироваться один циклонический вихрь, вихревая пара циклон-антициклон, а также два и даже три циклонических вихря. Горизонтальные размеры этих вихрей составляют порядка 600 км, скорость ветра в них может достигать значений 15–20 м/с.

Главной физической причиной формирования крупномасштабных вихрей является развитие неустойчивости крупномасштабного струйного течения воздушных масс в районе ВЗК при возникновении возмущений в виде выпуклых участков ВЗК. Такие возмущения, как правило, регулярно появляются в ВЗК над Африкой в период с июля по сентябрь. Из-за развития неустойчивости формируются крупномасштабные горизонтальные вихри. Дальнейший разгон вихрей происходит за счет энергии, выделяющейся при конденсации водяного пара в восходящих потоках воздуха.

Описанный механизм позволяет по обнаружению выпуклых участков ВЗК при помощи спутниковых наблюдений прогнозировать зарождение тропических циклонов, которые в последующем могут развиваться в ураганы.

## **Разработанная в ПГИ глобальная модель атмосферной циркуляции и ее применение**

### *Исследование глобальной циркуляции атмосферы Земли*

В течение последних примерно 20 лет в Полярном геофизическом институте разрабатывалась, совершенствовалась и использовалась численная глобальная модель горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли. За это время модель прошла несколько серьезных модификаций, касающихся как применяемых численных методов решения, так и полноты системы моделирующих уравнений. В первоначальном варианте модели, описанном в опубликованных на начальном этапе исследований работах [20–24], областью расчетов являлся шаровой слой, окружающий Землю в пределах высот от 0 до 120 км. Позже этот вариант модели был совершенствован за счет того, что форма земной поверхности была сделана более приближенной к реальности: от шарообразной была преобразована в сплюснутый с полюсов эллипсоид вращения. Областью расчетов стал окружающий Землю глобально слой, простирающийся от земной поверхности до высоты 126 км над экватором; усовершенствованный вариант модели был описан в работах [25–27].

В обоих упомянутых вариантах численной глобальной модели температура воздуха не рассчитывалась, а являлась входным параметром модели и задавалась по какой-либо эмпирической модели, например MSISE-90 [28] или NRLMSISE-00 [29]. Такой способ задания температуры обусловлен тем, что на высотах 20–80 км сечения некоторых процессов излучения-поглощения и константы скоростей некоторых фотохимических реакций, существенно влияющих на тепловой режим атмосферы, известны пока недостаточно точно. Поэтому расчет нагрева атмосферы на высотах 20–80 км с достаточной точностью является трудно выполнимой

задачей. Неточность в расчете температуры воздуха может привести к качественно неверной картине циркуляции атмосферы. В силу изложенных причин задание температуры по эмпирическим моделям, которые построены по статистически осредненным экспериментальным данным и верно отражают реальную зависимость температуры воздуха от высоты, широты и долготы, представляется вполне оправданным на современном этапе развития атмосферных моделей.

Кроме того, в обоих упомянутых выше и всех последующих вариантах численной глобальной модели вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной составляющей скорости без пренебрежения какими-либо членами. Таким образом, все три компоненты скорости рассчитываются при помощи численного решения полных уравнений движения вязкого сжимаемого газа, т.е. все варианты глобальной модели являются негидростатическими.

Оба упомянутых выше варианта численной глобальной модели используют сферические координаты и позволяют рассчитывать трехмерные глобальные распределения зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости нейтрального ветра и плотности воздуха на уровнях тропо-, страто-, мезо- и нижней термосферы Земли без каких-либо ограничений на вертикальный перенос атмосферного газа. Расчетная сетка является равномерной по долготе и широте и имеет по этим измерениям одинаковый шаг, равный  $1^\circ$ . По высоте расчетная сетка неравномерна, ее шаг не превышает 2 км. Влияние турбулентности, имеющей масштабы меньше шагов расчетной сетки, на среднее течение атмосферного газа принимается во внимание, для параметризации этой турбулентности используется одна из существующих эмпирических моделей. Граничные условия задаются так, чтобы выполнялся закон сохранения массы в области расчетов. Оба варианта модели способны учитывать различные комбинации солнечной и магнитной активности, а также различные условия солнечной освещенности, обусловленные наклоном земной оси.

При помощи двух вариантов численной глобальной модели было проведено исследование влияния горизонтальной неоднородности температуры на глобальную циркуляцию атмосферы Земли [21], влияния сил, обусловленных вращением Земли, на планетарную циркуляцию земной атмосферы [23], влияния несферичности Земли на глобальную циркуляцию земной атмосферы [24, 30]. Серия работ была посвящена исследованию процессов перестройки планетарной циркуляции земной атмосферы при переходе от сезона к сезону, от зимы к лету, от месяца к месяцу [26, 27, 31–40].

В качестве иллюстрации возможностей модели на рис. 3 и 4 приведены результаты расчетов, выполненных для условий, соответствующих двум различным датам, относящимся к разным сезонам, – 16 января и 16 июля. Все расчеты были проведены для невысокой солнечной ( $F_{10.7} = 101$ ) и низкой магнитной ( $K_p = 1$ ) активностей. Для каждой из двух дат был взят один и тот же момент времени  $UT = 10.30$ , и для этого момента были рассчитаны методом установления глобальные распределения зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости и плотности нейтрального газа. Задаваемые пространственные распределения температуры, вычислявшиеся по эмпирической модели NRLMSISE-00 [29] в момент  $UT = 10.30$  для каждой даты, считались неизменными во времени так же, как и граничные условия.

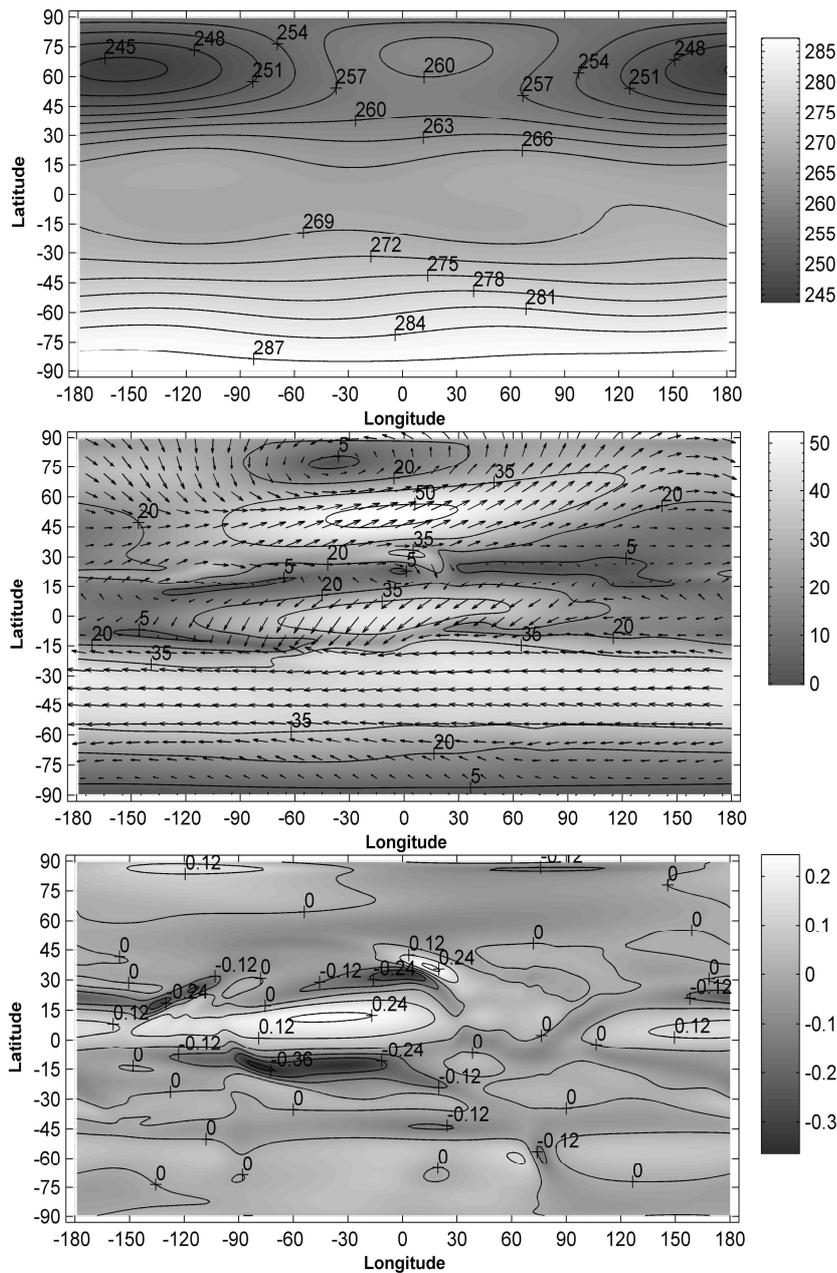


Рис. 3. Распределение задаваемой температуры (К) нейтрального газа (вверху), а также рассчитанных горизонтальной (посередине) и вертикальной (внизу) составляющих скорости (м/с) нейтрального газа как функций широты и долготы на высоте 50 км, полученных для 16 января

Результаты расчетов, которые частично представлены на рис. 3 и 4, позволили установить следующие закономерности глобальной циркуляции атмосферы. Оказалось, что, несмотря на существенные различия в распределениях задаваемой по эмпирической модели NRLMSISE-00 [29] температуры, рассчитанные для разных дат глобальные распределения атмосферных параметров обнаруживают ряд общих черт. Видно, что для обеих дат горизонтальная компонента скорости нейтрального газа является сильно изменяющейся функцией широты, долготы и высоты. Горизонтальная скорость ветра может иметь сильно отличающиеся направления в близко расположенных точках. Существуют ограниченные по размерам горизонтальные области, в которых поле горизонтальной скорости имеет резкие градиенты.

Вертикальная скорость нейтрального газа может иметь противоположные направления в горизонтальных областях, имеющих разные очертания. Горизонтальные области, в которых вертикальный ветер направлен вверх, имеют, как правило, большое протяжение и по длине, и по ширине. Горизонтальные области, в которых вертикальный ветер направлен вниз, обычно являются длинными, но узкими полосами.

Максимальные абсолютные значения вертикальной скорости, направленной вверх, оказываются меньшими, чем у направленной вниз скорости. Значения направленной вниз скорости могут достигать нескольких метров в секунду на высотах нижней термосферы в ограниченных по размерам узких длинных горизонтальных областях, совпадающих, как правило, с областями, в

которых поле горизонтальной скорости имеет резкие градиенты.

Результаты расчетов, полученные при различных распределениях задаваемой по эмпирической модели NRLMSISE-00 [29] температуры, взятых для разных дат, относящихся к разным сезонам, обнаруживают ряд существенных различий. Прежде чем рассмотреть эти различия, отметим следующий факт. Из многолетних наблюдений известно, что в периоды, свободные от стратосферных перестроек, в атмосфере Земли на уровнях страто- и мезосферы формируются симметричные относительно полюсов крупномасштабные вихревые движения –

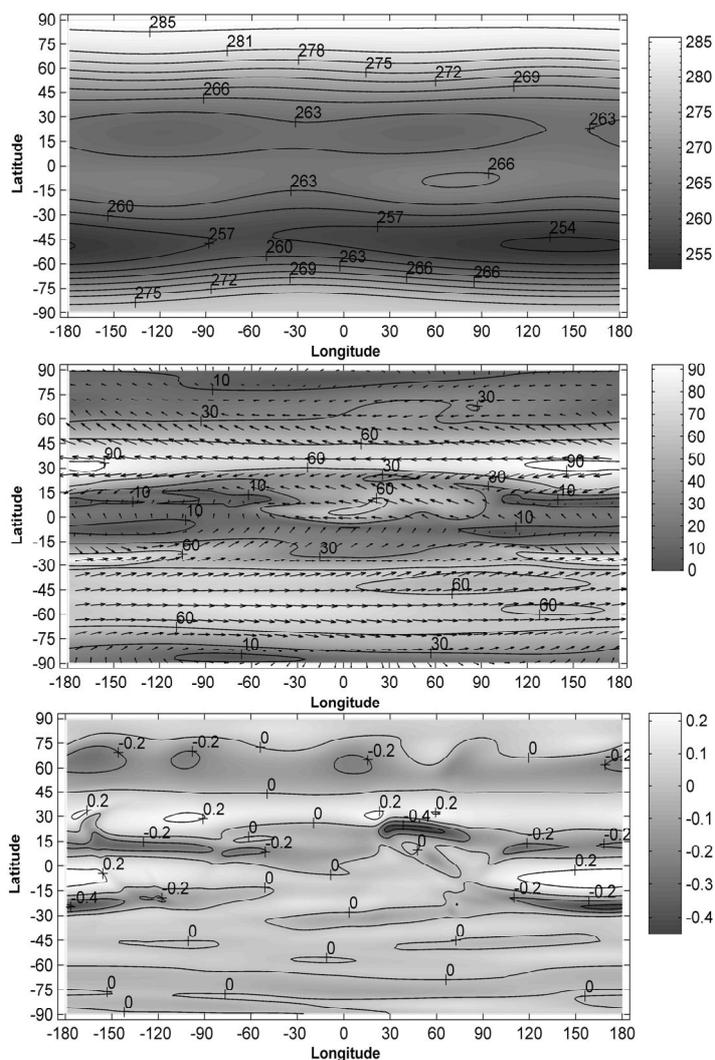


Рис. 4. Распределение задаваемой температуры (К) нейтрального газа (вверху), а также рассчитанных горизонтальной (посередине) и вертикальной (внизу) составляющих скорости (м/с) нейтрального газа как функций широты и долготы на высоте 50 км, полученных для 16 июля

циркумполярные вихри (ЦПВ) Северного и Южного полушарий. В частности, в период, близкий к летнему солнцестоянию, в Северном полушарии формируется циркумполярный антициклон, а в Южном – циркумполярный циклон. В период, близкий к зимнему солнцестоянию, в Северном полушарии формируется циркумполярный циклон, в южном – циркумполярный антициклон.

Оказывается, что результаты расчетов, полученные для разных сезонов, существенно различаются между собой, в частности, характером циркумполярных вихревых движений. Из рис. 3 можно видеть, что в январе в Северном полушарии сформировался циркумполярный циклон, а в Южном – циркумполярный антициклон. Рис. 4 показывает, что в июле в Северном полушарии формируется циркумполярный антициклон, а в Южном – циркумполярный циклон. Видим, что для условий января и июля на уровнях страто- и мезосферы воссоздаются циркумполярные вихри, аналогичные тем, которые известны из наблюдений.

При помощи усовершенствованного варианта модели были также рассчитаны и проанализированы глобальные

физический механизм, посредством которого осуществляется влияние изменений геомагнитной активности на перестройку глобальной циркуляции страто- и мезосферы Земли. В этом механизме определяющую роль играют вертикальные движения атмосферного газа, которые инициируются на высотах термосферы существенными изменениями глобальных распределений температуры, вызываемыми вариациями геомагнитной активности. Благодаря именно этим вертикальным движениям атмосферного газа, которые могут проникать вниз вплоть до высот тропосферы и которые оказываются различными при разных уровнях геомагнитной активности, осуществляется влияние геомагнитной активности на глобальную циркуляцию страто- и мезосферы. Второй упомянутый выше вариант численной глобальной модели горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли, использовавший заданное распределение температуры, был недавно усовершенствован за счет учета самосогласованного теплового режима и рельефа земной поверхности [46]. В новом (третьем) варианте модели температура считается уже не входным параметром модели, определяется уравнением теплового баланса атмосферного газа. При вычислении входящих в уравнение теплового баланса скоростей нагрева-охлаждения атмосферного газа за счет поглощения-испускания электромагнитного излучения использовано релаксационное приближение, в котором эти скорости считаются пропорциональными разности между рассчитываемой температурой и задаваемой так называемой релаксационной температурой, при выборе которой используется эмпирическая модель NRLMSISE-00 [29].

В новом (третьем) варианте модели по-прежнему применяется метод конечных разностей для численного решения моделирующих уравнений и используется нерегулярная треугольная сетка в пространстве географических координат широта – долгота. При этом применяется явная разностная схема, основанная на вычислении потоков массы и импульса через грани контрольного объема узла сетки по специальной методике, которая является обобщением явной гибридной монотонной схемы второго порядка точности по всем переменным для одномерного уравнения неразрывности и которая была предложена в работе [47]. Однако в третьем усовершенствованном варианте численной глобальной модели горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли шаги сетки по горизонтальным координатам выбираются значительно меньшими, чем в исходном варианте. Это становится возможным благодаря использованию параллельных вычислений и делается для того, чтобы при помощи усовершенствованного варианта модели стало возможно более детально учитывать рельеф поверхности планеты.

#### *Исследование глобальной циркуляции атмосфер Титана и Венеры*

Некоторые варианты численной глобальной модели горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли, обсуждавшиеся выше, были адаптированы и использовались для исследования планетарных ветровых систем других планетных тел, обладающих плотными атмосферами, подобными земной, в частности, для глобальных атмосферных циркуляций Титана (спутника Сатурна) и Венеры.

Венера – ближайшая к Земле планета Солнечной системы, в течение последних нескольких десятилетий она активно исследовалась не только астрономическими методами, но и автоматическими космическими аппаратами, многие из которых достигали поверхности планеты. Атмосфера Титана (спутника Сатурна) также исследовалась не только астрономическими методами, но и автоматическими космическими аппаратами, например, в ходе успешной посадки на поверхность Титана космического аппарата Huygens в 2005 г. Однако для успешной посадки на поверхность планетных тел автоматических космических аппаратов с применением парашютных систем необходимы сведения о глобальной атмосферной циркуляции планетных тел. Поэтому использование математических моделей для исследования циркуляционных процессов в планетных атмосферах и их прогнозирование представляется весьма актуальным.

Обсуждавшийся выше вариант численной глобальной модели горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли, в котором температура атмосферного газа задается по эмпирической модели, был адаптирован к условиям атмосферы Титана и применен для исследования особенностей общей циркуляции атмосферы Титана [48, 49]. В указанных работах показано, что рассчитанная по математической модели циркуляция атмосферы Титана аналогична течению газа между двумя концентрическими сферами, вращающимися с различными угловыми скоростями вокруг общей оси. При этом вблизи экватора должны иметься области, в которых вертикальный профиль зональной компоненты ветра не является монотонным, что было подтверждено прямыми измерениями в ходе успешной посадки на поверхность Титана космического аппарата Huygens в 2005 г.

Обсуждавшиеся выше второй и третий варианты численной глобальной модели горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли, в которых температура атмосферного газа определяется из самосогласованного решения уравнения теплового баланса, а также учитывается рельеф планеты, были адаптированы к условиям атмосферы Венеры и применены для исследования особенностей общей циркуляции атмосферы Венеры [50–55]. В указанных работах показано, в частности, что суперротация в атмосфере Венеры должна иметь место в большом интервале высот, как минимум от 30 до 70 км. На ночной стороне должны быть приполюсные вихри, причем на разных высотах центры этих вихрей могут быть расположены при разной долготе. Горизонтальный ветер должен существенно зависеть как от широты, так и от долготы. Максимальная скорость суперротации должна достигаться на ночной стороне между приполюсными вихрями. Установлен физический механизм образования приполюсных вихрей, и показана связь суперротации с термическим приливом в атмосфере Венеры. Полученная в результате численного моделирования общая картина циркуляции атмосферы Венеры качественно и численно хорошо соответствует имеющимся данным, выявленным прямыми измерениями в ходе неоднократных посадок на поверхность Венеры различных космических аппаратов, а также в ходе других косвенных наблюдений. Полученная в результате численного моделирования общая картина циркуляции атмосферы Венеры может быть использована при планировании научных исследований в ходе предстоящих полетов к Венере автоматических космических аппаратов.

### **Заключение**

В ПГИ за последние примерно два десятилетия были разработаны несколько математических моделей крупномасштабной трехмерной циркуляции нижней и средней атмосферы, в том числе региональная модель земной атмосферы, а также несколько вариантов глобальной модели атмосферной циркуляции. Эти модели основаны на численном решении систем нестационарных трехмерных уравнений переноса, записанных в гидродинамическом приближении. Отличительной чертой всех этих математических моделей является то, что в них вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной компоненты скорости без пренебрежения какими-либо членами, т.е. модели являются негидростатическими. Авторам этой работы известна всего лишь одна негидростатическая модель циркуляции атмосферы (кроме разработанных в ПГИ и упоминавшихся выше в этой статье), а именно так называемая Whole Atmosphere Community Climate Model (WACCM), описанная в работе [56]. Остальные математические модели циркуляции атмосферы, упоминание о которых встречалось авторам в мировой литературе, являются гидростатическими. Благодаря именно негидростатичности разработанных в ПГИ математических моделей атмосферы удалось с их помощью воспроизвести в расчетах и объяснить физически многие важные наблюдаемые экспериментально особенности поведения крупномасштабной трехмерной циркуляции атмосферы Земли, а также атмосфер Титана (спутника Сатурна) и Венеры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мингалева В.С., Мингалева Г.И. Математические модели поведения D-, E- и F-слоев ионосферы, разработанные в Полярном геофизическом институте за 50 лет его существования // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 2. С. 25–35.
2. О механизме возникновения крупномасштабного вихря в тропосфере над неравномерно нагретой поверхностью / О.М. Белоцерковский [и др.] // Доклады РАН. 2006. Т. 410, № 6. С. 816–820.
3. Образование крупномасштабных вихрей в сдвиговых течениях в нижней атмосфере в области тропических широт / О.М. Белоцерковский [и др.] // Космические исследования. 2009. Т. 47, № 6. С. 501–514.
4. Мингалева И.В., Орлов К.Г., Мингалева В.С. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их прогноза // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, №1. С. 255–262.
5. Мингалева И.В., Орлов К.Г., Мингалева В.С. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их предсказания по данным спутниковых наблюдений // Космические исследования. 2012. Т. 50, № 2. С. 166–175.
6. Мингалева И.В., Орлов К.Г., Мингалева В.С. Моделирование циклонической деятельности в атмосфере северных регионов // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы IV Всеросс. научной конф. с междунар. участием (Апатиты, 2–5 октября 2012 г.). Апатиты: КНЦ РАН, 2012. Ч. 2. С. 46–50.
7. Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S. Simulation study of the mechanism of the formation of polar cyclones at high latitudes of the northern hemisphere // Proc. of the 36 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena (Apatity, 26 February – 1 March 2013). Apatity: KSC RAS, 2013. P. 193–196.
8. Мингалева И.В., Орлов К.Г., Мингалева В.С. Моделирование зарождения вихревых течений в арктической атмосфере // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: материалы XII Междунар. науч. конф. (Мурманск, 6–8 ноября 2014 г.). М.: ГЕОС, 2014. Вып. 12. С. 215–219.
9. Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S. A modeling study of the initial formation of polar lows in the vicinity of the arctic front // Advances in Meteorology. 2014. Vol. 2014. Article ID 970547. 10 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/970547>.
10. Механизм возникновения циклонических возмущений в области ВЗК и их раннее обнаружение / И.В. Мингалева [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 1. С. 112–125.
11. Возможность предсказания образования тропических циклонов и ураганов по данным спутниковых наблюдений / И.В. Мингалева [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 3. С. 290–296.
12. Mingalev I.V., Astafieva N.M., Orlov K.G., Mingalev V.S., Mingalev O.V. Time-dependent modeling of the initial stage of the formation of cyclones in the intertropical convergence zone of the northern hemisphere // Proc. of the 33 rd Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 02-05 March, 2010. Apatity: KSC RAS, PGI. 2011. P.182-185.
13. Mingalev I.V., Astafieva N.M., Orlov K.G., Mingalev V.S., Mingalev O.V. Simulation study of the initial stage of the origin of cyclonic and anticyclonic pairs in the intratropical convergence zone // Proc. of the 34 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 1–4 March 2011. Apatity: KSC RAS, 2011. P. 189–192.
14. Численное моделирование формирования циклонических вихревых течений в области внутритропической зоны конвергенции и их раннее обнаружение / И.В. Мингалева [и др.] // Космические исследования. 2012. Т. 50, № 3. С. 242–257.
15. Влияние геометрии течения воздушных масс в области внутритропической зоны конвергенции на процесс формирования циклонических вихрей / И.В. Мингалева [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 4. С. 154–161.
16. A simulation study of the formation of large-scale cyclonic and anticyclonic vortices in the vicinity of the intratropical convergence zone / I.V. Mingalev [et al.] // ISRN Geophysics. 2013. Article ID 215362. 12 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/215362>
17. Numerical simulation of the initial stage of the formation of large-scale cyclonic vortices in the vicinity of the intratropical convergence zone / I.V. Mingalev [et al.] // Proc. of the 36 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena (Apatity, 26 February – 1 March, 2013). Apatity: KSC RAS, 2013. P. 189–192.
18. Numerical modeling of the initial formation of cyclonic vortices at tropical latitudes / I.V. Mingalev [et al.] // Atmospheric and Climate Sciences. 2014. Vol. 4. P. 899–906. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.45079>.
19. Numerical modeling of the initial stage of the origin of cyclonic vortices in the vicinity of the intertropical convergence zone / I.V. Mingalev [et al.] // Proc. of the 37 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 25–28 February, 2014. Apatity: KSC RAS. 2014. P. 113–116.
20. Mingalev I.V., Mingalev V.S. A numerical global model of the horizontal and vertical wind in the lower and middle atmosphere // Proc. of the 24 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 27 February – 2 March, 2001). Apatity, 2001. P. 140–143.
21. Mingalev I.V., Mingalev V.S. Simulation of circumpolar vortex flows in the lower and middle atmosphere for July conditions // Proc. of the 26 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 25–28 February 2003). Apatity: KSC RAS, 2003. P. 239–242.
22. Мингалева И.В., Мингалева В.С. Численное моделирование трехмерной крупномасштабной циркуляции арктической атмосферы в летних условиях // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы междунар. конф. (Апатиты, 31 августа – 03 сентября 2004 г.) / ИППЭС КНЦ РАН. Апатиты, 2004. Ч. 2. С. 172–173.
23. Mingalev I.V., Mingalev V.S. On the influence of the Earth's rotation on the formation of the planetary circulation of the lower and middle atmosphere // Proc. of the 27 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 2–5 March, 2004). Apatity, 2004. P. 125–128.
24. Mingalev I.V., Mingalev V.S. Model simulation of global distributions of the horizontal and vertical wind in the middle atmosphere for July conditions // Problems of Geocosmos: proc. of the 5<sup>th</sup> International Conf. (St.-Petersburg, Russia, 24–28 May, 2004). SPb., 2004. P. 359–362.
25. Мингалева И.В., Мингалева В.С. Модель общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли при заданном распределении температуры // Математическое моделирование. 2005. Т. 17, № 5. С. 24–40.
26. Мингалева И.В., Мингалева В.С. Моделирование особенностей крупномасштабной циркуляции атмосферы Арктики в разные сезоны // Комплексные исследования природы Шпицбергена: сб. материалов VI Междунар. конф. (Мурманск, октябрь 2006). Апатиты: КНЦ РАН, 2006. Вып. 6. С. 76–80.
27. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Mingaleva G.I. Numerical simulation of the global distributions of the horizontal and vertical wind in the middle atmosphere using a given neutral

gas temperature field // *J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys.* 2007. Vol. 69, No 4/5. P. 552–568. **28. Hedin A.E.** Extension of the MSIS thermosphere model into the middle and lower atmosphere // *J. Geophys. Res.* 1991. Vol. 96, No A12. P. 1159–1172. **29. Picone J.M., Hedin A.E., Drob D.P., Aikin A.C.** NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues // *J. Geophys. Res.* 2002. Vol. 107A, (SIA15). P. 1–16. **30. Мингалев И.В., Мингалев О.В., Мингалев В.С.** Численное исследование влияния горизонтальной неоднородности температуры и несферичности земли на глобальную циркуляцию средней атмосферы // *Вычислительные технологии в естественных науках. Системы глобального масштаба: тр. семинара (Таруса, 9–11 июня 2010 г.)*. М.: ИКИ РАН, 2011. С. 65–78. **31. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Kulikov A.A.** Model simulation of circumpolar vortex flows in the Earth's atmosphere for different seasons // *Proc. of the 30 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 27 February – 2 March 2007)*. Apatity: KSC RAS, 2008. P. 222–225. **32. Mingalev I.V., Mingalev O.V., Mingalev V.S.** Model simulation of the global circulation in the middle atmosphere for January conditions // *Advances in Geosciences*. 2008. Vol. 15, No 4. P. 11–16. **33. Мингалев И.В., Мингалев В.С., Куликов А.А.** Численное моделирование сезонных изменений трехмерной крупномасштабной циркуляции арктической атмосферы // *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы всеросс. конференции с междунар участием (Апатиты, 14–16 октября 2008)*. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. Ч. 2. С. 155–158. **34. Мингалев И.В., Мингалев В.С., Орлов К.Г.** Моделирование изменений крупномасштабной циркуляции атмосферы Арктики при переходе от лета к зиме // *Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: материалы междунар. науч. конф. (Мурманск, 9–11 ноября 2008 г.)*. М.: ГЕОС, 2008. Вып. 8. С. 238–241. **35. Мингалев И.В., Мингалев В.С., Куликов А.А.** Численное исследование сезонных вариаций глобальной системы нейтрального ветра в средней атмосфере Земли // *Солнечно-земная физика: тр. междунар. симп. «Международный гелиофизический год-2007: новый взгляд на солнечно-земную физику» (Звенигород, ноябрь 2007 г.)*. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2008. Вып. 12. Т. 2. С. 284–286. **36. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Kulikov A.A.** A model study of the transformation of the global circulation of the lower and middle atmosphere during the period from June to December // *Proc. of the 31st Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 26–29 February, 2008)*. Apatity: KSC RAS, 2009. P. 192–195. **37. Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.** A simulation study of the transformation of circumpolar vortex flows of the lower and middle atmosphere during the period from January to June // *Proc. of the 32 nd Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 03–06 March, 2009)*. Apatity: KSC RAS, 2010. P. 203–206. **38. Мингалев И.В., Орлов К.Г., Мингалев В.С.** Моделирование изменений циркуляции атмосферы Северного полушария при переходе от зимы к лету // *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы 3-й Всеросс. науч. конф. с междунар. участием (Апатиты, 4–8 октября 2010 г.)*. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. Ч. 2. С. 80–83. **39. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Mingaleva G.I.** Numerical simulation of the global neutral wind system of the Earth's middle atmosphere for different seasons // *Atmosphere*. 2012. Vol. 3. P. 213–228. doi: 10.3390/atmos 3010213. **40. Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.** A computational study of the transformation of global gas flows in the Earth's atmosphere over the course of a year // *Open J. Fluid Dynamics*. 2014. Vol. 4. P. 379–402. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/ojfd.2014.44029>. **41. Mingalev I., Mingalev V.** Numerical modeling of the influence of solar activity on the global circulation in the Earth's mesosphere and lower thermosphere // *International J. Geophys.* 2012. Article ID 106035. 15 p. doi:10.1155/2012/106035. **42. Мингалев И.В., Мингалев Г.И., Мингалев В.С.** Влияние солнечной активности на крупномасштабную циркуляцию арктической средней атмосферы в летних условиях // *Комплексные исследования природы Шпицбергена: материалы междунар. науч. конф. (Мурманск, 1–3 ноября 2012 г.)*. М.: ГЕОС, 2012. Вып. 11. С. 190–195. **43. Mingalev I.V., Mingaleva G.I., Mingalev V.S.** A model study of how solar activity affects the global circulation of the middle atmosphere for January conditions // *Proc. of the 35 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena (Apatity, 28 February – 2 March, 2012)*. Apatity: KSC RAS. 2012. P. 133–136. **44. Mingalev I.V., Mingaleva G.I., Mingalev V.S.** Numerical modeling the influence of magnetic activity on the global circulation of the middle atmosphere for January conditions // *Proc. of the 36 th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena. (Apatity, 26 February – 1 March, 2013)*. Apatity: KSC RAS, 2013. P. 155–158. **45. Mingalev I., Mingaleva G., Mingalev V.** A simulation study of the effect of geomagnetic activity on the global circulation in the Earth's middle atmosphere // *Atmospheric and Climate Sciences*. 2013. Vol. 3, No 3A, P. 8–19. doi:10.4236/acs.2013.33A002. URL: <http://www.scirp.org/journal/acs>. **46. Орлов К.Г., Мингалев И.В., Мингалев В.С.** Модель общей циркуляции атмосферы Земли с учетом рельефа поверхности // *Высокоширотные геофизические исследования: тр. науч. конф. (Мурманск, 24–25 октября 2013 г.)*. Мурманск: КНЦ РАН, 2013. С. 108–113. **47. Обобщение монотонной гибридной схемы второго порядка для уравнений газовой динамики на случай нерегулярной пространственной сетки / В.С. Мингалев [и др.] // Журн. вычислительной математики и математической физики. 2010. Т. 50, № 5. С. 923–936. **48. First simulation results of Titan's atmosphere dynamics with a global 3-D non-hydrostatic circulation model / I.V. Mingalev [et al.] // Annales Geophysicae. 2006. Vol. 24, No 8. P. 2115–2129. **49. Численное моделирование циркуляции атмосферы Титана: интерпретация измерений зонда Huygens / И.В. Мингалев [и др.] // Космические исследования. 2009. Т. 47, № 2. С. 134–145. **50. Орлов К.Г., Мингалев И.В., Родин А.В.** Негадростатическая модель общей циркуляции атмосферы Венеры и результаты ее применения // *Вычислительные технологии в естественных науках. Системы глобального масштаба: тр. семинара (Таруса, 9–11 июня 2010 г.)*. М.: ИКИ РАН, 2011. С. 49–56. **51. Орлов К.Г., Мингалев И.В., Родин А.В.** Численное моделирование общей циркуляции атмосферы Венеры с использованием регулярной и нерегулярной пространственных сеток // *Труды VII Всеросс. (с международным участием) науч. школы «Математические исследования в естественных науках», посвященной 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова (Апатиты, 3–6 октября 2011 г.)*. Апатиты: К&М, 2011. С. 113–118. **52. Мингалев И.В., Родин А.В., Орлов К.Г.** Негадростатическая******

модель общей циркуляции атмосферы Венеры // *Астрономический вестник*. 2012. Т. 46, № 4. С. 282–296. **53.** Орлов К.Г., Мингалев И.В., Родин А.В. Влияние рельефа поверхности на общую циркуляцию атмосферы Венеры // *Высокоширотные геофизические исследования: тр. науч. конф. (Мурманск, 18–19 октября 2012 г.)*. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. С. 88–91. **54.** Орлов К.Г., Мингалев И.В., Родин А.В. Модель общей циркуляции атмосферы Венеры с учетом рельефа поверхности // *Математические исследования в естественных науках: тр. VIII Всеросс. науч. школы (Апатиты, 15–16 октября 2012 г.)*. Апатиты: К&М, 2012. С. 82–88. **55.** Мингалев И.В., Родин А.В., Орлов К.Г. Численное моделирование общей циркуляции атмосферы Венеры. Влияние рельефа поверхности и режима нагрева излучением // *Астрономический вестник*. 2015. Т. 49, № 1. С. 27–45. **56.** Smith A.K., Garcia R.R., Marsh D.R., Richter J.H. WACCM simulations of the mean circulation and trace species transport in the winter mesosphere // *J. Geophys. Res.* 2011. Vol. 116. D, JGRD. 11620115S. Doi:10.1029/2011JD016083.

#### **Сведения об авторах**

*Мингалёв Виктор Степанович* – д.ф.-м.н., профессор, заведующий сектором Полярного геофизического института КНЦ РАН;

e-mail: mingalev@pgia.ru

*Мингалёв Игорь Викторович* – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Полярного геофизического института КНЦ РАН;

e-mail: mingalev\_i@pgia.ru

*Орлов Константин Геннадьевич* – к.ф.-м.н., научный сотрудник Полярного геофизического института КНЦ РАН;

e-mail: orlov@pgia.ru

УДК 582.29 (470.21)

## НОВЫЕ ДЛЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕЕ БИОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ВИДЫ ЛИШАЙНИКОВ\*

**А.В. Мелехин**

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН

### Аннотация

Приводится 82 вида лишайников, новых для отдельных биогеографических провинций Мурманской обл., в том числе 1 вид, новый для региона (*Rhizocarpon intersitum*). Приводятся новые данные о распространении недавно найденных в регионе видов и подтверждения видов, известных ранее только по литературным данным.

### Ключевые слова:

*лишайники, Мурманская обл., новые находки.*



### Введение

Флора лишайников Мурманской обл. насчитывает в настоящее время 1105 видов (без лишенофильных и сапротрофных грибов), из которых более 70 видов до сих пор были известны только по литературным указаниям преимущественно финских лишенологов XIX – начала XX вв. [1]. Одной из важнейших задач исследований, проводящихся в ПАБСИ, является поиск исторических местонахождений лишайников, известных только по литературным данным, а также видов, образцы которых отсутствуют в гербарии ПАБСИ (КРАВГ). В результате целенаправленных поисков лишайников известных только по литературным данным, а также после обработки сборов, хранящихся в гербарии ПАБСИ, было выявлено 80 видов лишайников ранее не указывавшихся для отдельных биогеографических провинций региона. Большинство этих видов найдены в более чем одной провинции или в более чем одном местонахождении внутри провинций. Приводящиеся данные значительно расширяют представление о распространении и экологии видов не только в Мурманской обл., но и в России в целом.

### Материалы и методы

Материал был собран в экспедициях 2006–2014 гг. Образцы были обработаны в лаборатории флоры и растительности ПАБСИ КНЦ РАН и хранятся в гербарии лишайников института (КРАВГ). Названия видов и их авторы даны по работе [1]. Аннотация к виду содержит: буквенное обозначение района исследований, соответствующее обозначению на карте (рис. 1); координаты в системе WGS84 с точностью до 1000 м; высоту над уровнем моря (н.у.м.); местонахождение; тип растительного сообщества; местообитание; субстрат; дату сбора; гербарный номер (поскольку все образцы хранятся в КРАВГ, акроним не указывается). Если находка является новой для биогеографической провинции, то в скобках дается ее обозначение в соответствии с сокращениями, приводимыми Г. Урбанавичусом с соавторами [2]: Lps – Печенгская Лапландия, Lt – Туломская Лапландия, Lm – Мурманская Лапландия, Lim – Имандрская Лапландия, Lv – Варзугская Лапландия, Lp – Понойская Лапландия, Ks – Куусамо, Kk – Керетская Карелия. Для недавно найденных в регионе редких видов и видов, известных только по литературным данным, приводятся все новые неопубликованные находки. При необходимости после местонахождения дается примечание.

\* Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-29-02662.

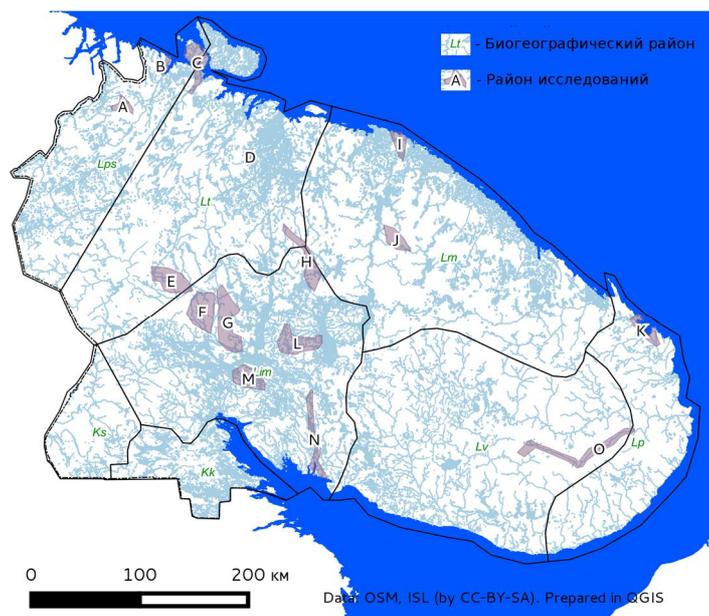


Рис. 1. Районы сбора материала:

А – горный массив Печенгские тундры; В – район поселка Лиинахамари; С – п-ов Средний; D – устьевая часть р. Лавна; Е – хр. Сальные тундры; F – хр. Нявка-тундра; G – хр. Волчьи тундры, Монче-тундра и Чуна-тундра; Н – хр. Кицкие тундры; I – устьевая часть р. Воронья; J – хр. Оленьи и Вороньм тундры; K – побережье Лумбовского залива; L – горный массив Хибины; M – район ст. Африканда; N – бассейн р. Умба; Q – бассейн р. Пурнач

### Результаты и их обсуждение

#### Новый вид для Мурманской обл.

*Rhizocarpon intersitum* Arnold – Н: 68°31'40.692" с.ш., 33°35'12.804" в.д., 330 м н.у.м. Морена. Тундра. Осыпь у снежника. Глыба. Камень. 09.06.2012. 12131 (рис. 2).

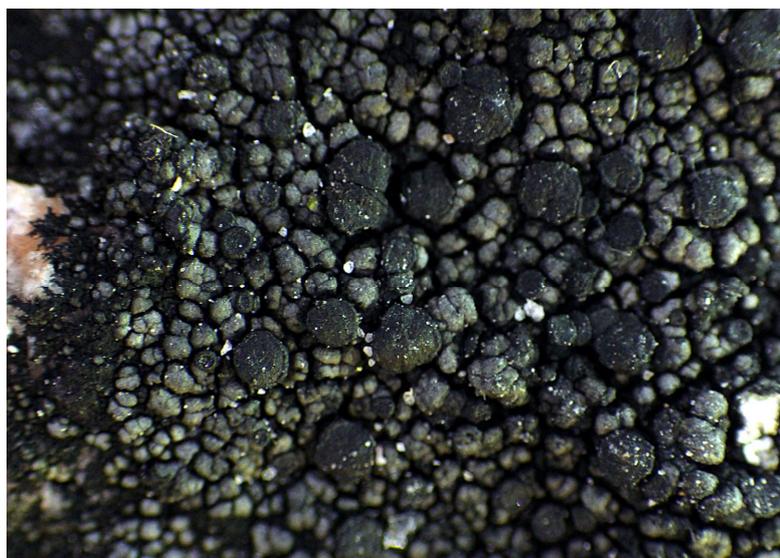


Рис. 2. *Rhizocarpon intersitum* Arnold

Вид широко распространен в мире и особенно в странах Фенноскандии [1, 3], но сведен в синонимы *Rhizocarpon eurettraeum* (Nyl.) Arnold в «Определителе...» [4], хотя отличается от последнего отсутствием реакции с раствором йода, а от близкого *Rhizocarpon leptolepis* Anzi – серым, одноцветным и непельтатным слоевищем [5]. Скандинавскими авторами рассматривается как вид [2].

**Новые для биогеографических провинций Мурманской обл. виды лишайников**

*Absconditella annexa* (Arnold) Vezda – **I**: 69°10'45.001" с.ш., 35°40'41.002" в.д., 50 м н.у.м. Долина оз. Федоровское. Тундра кустарничково-лишайниковая. Растительные остатки. 06.07.2010. 7503. (Lm). **H**: 68°29'20.76" с.ш., 33°39'18.72" в.д., 300 м н.у.м. Склон г. Куничья Шапка. Горная тундра. Скала с водотоком. Куртина моховая на почве на глыбе скалы. Мхи. 10.06.2012. 10472. 68°11'22.452" с.ш., 34°3'43.416" в.д., 350 м н.у.м. Склон горы. Березовое криволесье. Разлом. Куртина моховая на глыбе скалы. Мхи. 04.08.2012. 10739. **G**: 67°56'15" с.ш., 32°37'31.001" в.д., 730 м н.у.м. Горная тундра. Берег ручья. Куртина моховая на почве. Мхи. 24.07.2008. 2917. 67°44'17.002" с.ш., 32°23'31.999" в.д., 730 м н.у.м. Склон г. Пяткачорр. Горная тундра травяно-кустарничково-моховая. Куртина моховая на глыбе скалы. Мхи. 16.08.2011. 9839. Ранее приводился только для Лапландского заповедника [6]. По-видимому, нередкий вид в зональных и горных тундрах региона. В России известен пока только из Мурманской обл.

*Absconditella lignicola* Vezda & Pisut – **G**: 68°2'20.004" с.ш., 32°27'24.012" в.д., 240 м н.у.м. Южная оконечность хребта. Долина ручья. Ельник с ольхой на береговом валуннике. Ствол рябины. Кора. 23.08.2011. 10082. (Lim).

*Acarospora badiofusca* (Nyl.) Th. Fr. – **C**: 69°45'39.024" с.ш., 31°43'7.752" в.д., 107 м н.у.м. Тундра. Стена скалы. Отрицательная наклонная и вертикаль под навесом. Камень. 26.08.2014. 11757. (Lps). **J**: 68°25'31.181" с.ш., 35°46'16.108" в.д., 375 м н.у.м. Вершина г. Мудчечуайв. Тундра ерниково-воронично-лишайниковая. Останец. Камень. 05.07.2011. 10201. (Lm). **I**: 69°2'20" с.ш., 35°48'47.002" в.д., 80 м н.у.м. Тундра. Склон сопки. Глыба. Камень. 12.07.2010. 7482. (Lm).

*Acarospora sinopica* (Wahlenb.) Korb. – **H**: 68°27'54.504" с.ш., 33°43'0.84" в.д., 300 м н.у.м. Склон г. Куничья Шапка. Горная тундра. Площадка под сейдом (глыба размером в рост человека на 3–5 небольших «ножках»-валунах). Камень. 10.06.2012. 11438. (Lt).

*Acarospora veronensis* A. Massal. – **M**: 67°25'55.412" с.ш., 32°45'16.726" в.д. Скала. Камень кальцийсодержащий. 05.07.2010. 11482. (Lim). **E**: 68°5'46" с.ш., 31°41'44.999" в.д., 512 м н.у.м. Горная тундра. Стена разлома под навесом. Камень. 03.09.2010. 7552. (Lt).

*Ainoa mooreana* (Carroll) Lumbsch & J. A. Schmitt – **F**: 67°52'45.998" с.ш., 31°50'19" в.д., 350 м н.у.м. Березовое криволесье. Берег ручья, впадающего в оз. Пельявр. Галька на почве. Камень. 29.06.2008. 2903. (Lt) **H**: 68°1'27.998" с.ш., 32°12'34.999" в.д., 450 м н.у.м. Горная тундра кустарничково-лишайниковая. Перевал. Плоская площадка среди небольших озер. Галька на почве пятна выдувания. Камень. 08.09.2010. 7562. 68°25'40.296" с.ш., 33°51'26.928" в.д., 420 м н.у.м. Склон г. Сытронтеч. Тундра. Галька на почве. Камень. 11.06.2012. 12019. Приводился только для Лапландского заповедника [6]. По-видимому, нередкий вид в тундрах региона.

*Arctomia delicatula* Th. Fr. – **O**: 66°57'45" с.ш., 39°50'35.88" в.д., 160 м н.у.м. Подножие скалы на берегу р. Пурнач. Березняк. Глыба скалы под козырьком. Камень. 05.07.2009. 10374. (Lv).

*Aspicilia aquatica* Korb. – **J**: 68°24'57.996" с.ш., 35°39'57.996" в.д., 260 м н.у.м. Русло реки Лунь. Глыба. Камень. 13.07.2011. 10198. (Lm). **O**: 66°57'45" с.ш., 39°50'35.988" в.д., 160 м н.у.м. Скалы на берегу р. Пурнач в нижнем течении. Глыба скалы в ледобойной зоне. Вертикаль. Камень. 05.07.2009. 5566. (Lv).

*Aspicilia toenium* (Vain.) G. Thor & Timdal – **C**: 69°44'39.696" с.ш., 32°1'51.312" в.д., 40 м н.у.м. Бетонный блок моста над ручьем среди березняка. Бетон. 04.07.2014. 11788. (Lps).

*Bacidia friesiana* (Hepp) Korb. – **O**: 66°52'28.999" с.ш., 38°35'12.001" в.д., 212 м н.у.м. Берег р. Пурнач. Березняк. Ствол березы. Отрицательная наклонная. Кора. 28.06.2009. 5046. (Lv).

- Bacidina inundata* (Fr.) Vezda – С: 69°38'11.472" с.ш., 31°58'49.944" в.д., 27 м н.у.м. Берег ручья у водопада. Среди березняка. Глыба, заливаемая в паводок. Камень. 05.07.2014. 11708. (Lps).
- Brodoa intestiniformis* (Vill.) Goward – С: 69°44'25.656" с.ш., 31°57'14.616" в.д., 249 м н.у.м. Склон горы. Тундра. Камень. 03.07.2014. (Lps.).
- Bryonora septentrionalis* Holt.-Hartw. – Е: 68°8'48.001" с.ш., 31°32'21.001" в.д., 450 м н.у.м. Склон горы в долине реки Суабвой. Березовое криволесье на скалах. Куртина моховая на глыбе. Мхи. 31.8.2010. 12057. (Lt.).
- Buellia aethalea* (Ach.) Th. Fr. – Н: 68°29'20.76" с.ш., 33°39'18.72" в.д., 300 м н.у.м. Склон г. Куничья Шапка. Горная тундра. Скала с водотоком. Галька в куртине моховой. Камень. 10.06.2012. 12155. (Lt).
- Buellia ectolichenoides* (Vain.) Erichsen – J: 68°26'9.996" с.ш., 35°37'19.992" в.д., 390 м н.у.м. Вершина горы 397.5 м. Тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба. Камень. 16.07.2011. 10203. (Lm). К: 67°41'53.988" с.ш., 40°33'2.016" в.д., 130 м н.у.м. Плато к юго-востоку от п. Лумбовка. Кустарничковая тундра. Галька в пятне выдувания. Камень. 17.07.2007. 7441. (Lp).
- Buellia insignis* (Nageli ex Hepp) Korb. – J: 68°25'36.984" с.ш., 35°44'13.992" в.д., 313 м н.у.м. Склон горы 352.1 м. Тундра кустарничковая. Скала. Куртина моховая в щели скалы. Вертикаль. Мхи. 05.07.2011. 10180. (Lm).
- Caloplaca nivalis* (Korb.) Th. Fr. – Е: 68°7'59.999" с.ш., 31°33'34.999" в.д., 736 м н.у.м. Склон г. Элгорас. Стена разлома в скале. Куртина моховая на глыбе. Мхи. 03.09.2010. 12006. (Lt).
- Caloplaca tornoensis* H. Magn. – Е: 68°7'59.999" с.ш., 31°33'34.999" в.д., 736 м н.у.м. Склон г. Элгорас. Стена разлома в скале. Куртина моховая на глыбе. Мхи. 03.09.2010. 12164. (Lt).
- Calvitimela armeniaca* (D C.) Hafellner – J: 68°25'31.181" с.ш., 35°46'16.108" в.д., 375 м н.у.м. Вершина г. Мудчечуайв. Тундра ерниково-воронично-лишайниковая. Глыба курумника. Камень. 05.07.2011. 10190. (Lm).
- Calvitimela melaleuca* (Sommerf.) R. Sant. – I: 69°8'8.002" с.ш., 35°48'43.999" в.д., 50 м н.у.м. Выпояживание на вершине сопки. Тундра. Глыба. Камень. 09.07.2010. 7620. (Lm).
- Carbonea vorticosa* (Florke) Hertel – I: 69°8'8.002" с.ш., 35°48'43.999" в.д., 50 м н.у.м. Выпояживание на вершине сопки. Скала. Тундра. Глыба. Камень. 09.07.2010. 7620. (Lt).
- Catillaria chalybaea* (Borrer) A. Massal. – С: 69°40'38.316" с.ш., 31°51'25.128" в.д., 121 м н.у.м. Скала выше водопада в березняке. Глыба в русле ручья. Камень. 27.08.2014. 11742. (Lps).
- Catolechia wahlenbergii* (Ach.) Korb. – В: 69°38'48.228" с.ш., 31°12'56.664" в.д., 150 м н.у.м. Склон г. Тюрисунтури северной экспозиции. Березняк. Куртина моховая на глыбе скалы. Отрицательная наклонная. Растительные остатки. 29.06.2013. 10922. (подтверждение для Lps). Приводился для Lps как неподтвержденный образцами [1].
- Cryptothele granuliformis* (Nyl.) Henssen – F: 68°1'36.984" с.ш., 31°58'24.996" в.д., 463 м н.у.м. Северная оконечность г. Монтпахк. Горная тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба стены разлома. Временный водоток. Вертикаль. Камень. 06.09.2010. 12049. (Lim).
- Cryptothele permiscens* (Nyl.) Hellb. – F: 68°1'36.984" с.ш., 31°58'24.996" в.д., 463 м н.у.м. Северная оконечность г. Монтпахк. Горная тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба стены разлома. Временный водоток. Вертикаль. Камень. 06.09.2010. 12025. (Lim).
- Cupheliium karelicum* (Vain.) Rasanen – O: 66°54'13" с.ш., 38°17'4.999" в.д., 230 м н.у.м. Холм в долине оз. Пурнач в 1 км на север от северного берега. Елово-березовый лес. Ствол ели. Кора. 22.06.2009. 5055. (Lv).
- Dimerella pineti* (Ach.) Vezda – N: 67°6'47.7" с.ш., 34°4'30.18" в.д., 55 м н.у.м. Остров в дельте р. Умба на входе в оз. Канозеро. Ельник с осинкой. Пень березы. Отрицательная вертикаль. Древесина. 04.06.2014. 11857. (Lim).
- Euopsis granatina* (Sommerf.) Nyl. – J: 68°25'31.181" с.ш., 35°46'16.108" в.д., 375 м н.у.м. Вершина г. Мудчечуайв. Останец. Тундра ерниково-воронично-лишайниковая. Полочка глыбы останца. Камень. 05.07.2011. 10201. 68°25'32.016" с.ш., 35°38'15" в.д., 300 м н.у.м. Склон

г. Шлиховая северной эксп. Останец. Тундра кустарничково-лишайниковая с можжевельниками и березами. Глыба останца. Вертикаль. Камень. 13.07.2011. 10165. (Lm).

*Gyrophysa gyrocarpa* (Flot.) Ertz & Tehler – **Н**: 68°10'24.96" с.ш., 34°3'15.48" в.д., 370 м н.у.м. Березовое криволесье. Вертикальная стена ниши в скале. Низкая освещенность. Камень. 28.07.2012. 10767. (Lim). **Е**: 68°8'48.001" с.ш., 31°32'21.001" в.д., 450 м н.у.м. Склон горы. Долина реки Суабвой. Березовый лес на скалах. Отрицательная наклонная в нише скалы. Камень. 31.08.2010. 12007. (Lt).

*Henrica melaspora* (Taylor) S.Savić & Tibell – **К**: 67°40'27.012" с.ш., 40°39'42.984" в.д., 50 м н.у.м. Каньон р. Песчанка. Березовое криволесье. Разлом в стене каньона с ручейком и водопадом. Глыба, обрызгиваемая водопадом. Вертикаль. Камень. 18.07.2007. 1880. (Lp).

*Hymenelia arctica* (Lynge) Lutzoni – **Л**: 67°47'42.426" с.ш., 33°36'59.404" в.д. Русло ручья у водопада Красивый – верхняя часть (до водосброса). Глыба донная. Камень. 26.08.2006. 2123. (Kh). **С**: 69°38'11.472" с.ш., 31°58'49.944" в.д., 27 м н.у.м. Березовое криволесье на скалах. Глыба в русле ручья. Камень. 05.07.2014. 11985. (Lps).

*Immersaria athroocarpa* (Ach.) Rambold & Pietschm. – **С**: 69°44'34.462" с.ш., 32°1'20.6" в.д., Каменистая россыпь. Тундра. Валун. Камень. 03.07.2014. 11789. (Lps). **Д**: 69°1'24.614" с.ш., 32°56'52.793" в.д., 30 м н.у.м. Береговая скала среди березняка травяного. Камень. 05.09.2009. 9719. (Lt).

*Ionaspis ceracea* (Arnold) Hafellner & Turk – **Г**: 68°3'4.68" с.ш., 32°27'42.12" в.д., 450 м н.у.м. Склон горы. Кустарничково-лишайниковая горная тундра на скалах. Глыба скалы. Вертикаль. Камень. 20.08.2012. 10516. (Lim). **Ж**: 68°25'36.984" с.ш., 35°44'13.992" в.д., 313 м н.у.м. Склон г. 352.1. Скала. Тундра кустарничковая. Глыба отдельно лежащая. Кальцийсодержащий камень. 05.07.2011. 10213. (Lm). **Н**: 68°11'28.32" с.ш., 34°3'45" в.д., 360 м н.у.м. Склон горы. Пятно гравия в лишайниковой тундре. Галька на грунте. Камень. 04.08.2012. 12071. (Lim). **Е**: 68°5'46" с.ш., 31°41'44.999" в.д., 520 м н.у.м. Долина истоков р. Ватсуой. Уступ скалы. Горная тундра травяно-моховая. Скала. Вертикаль. Камень. 03.09.2010. 12050. (Lt). **М**: 67°23'34.001" с.ш., 33°4'19.999" в.д., 170 м н.у.м. Вершина г. Приозерная. Сосняк на скалах. Скала. Камень. 17.09.2011. 9984. (Lim). Приводился для области (для Хибин) как неподтвержденный образцами [1].

*Lecanactis dilleniana* (Ach.) Korb. – **Е**: 68°8'48.001" с.ш., 31°32'21.001" в.д., 450 м н.у.м. Долина р. Суабвой. Березовый лес на скалах. Отрицательная наклонная в нише скалы. Камень. 31.08.2010. 12002. (Lt).

*Lecanographa abscondita* (Th. Fr.) Egea & Torrente – **Е**: 68°9'32.004" с.ш., 31°34'15.996" в.д., 360 м н.у.м. Склон г. Застейд-2. Долина ручья – притока р. Печа. Ельник травяно-кустарничковый на скалах. Глыба скалы под навесом. Вертикаль. Камень. 30.08.2010. 7529. (Lt).

*Lecanora sulphurea* (Hoffm над ур. м.) Ach. – **И**: 69°10'41.002" с.ш., 35°43'30" в.д., 50 м н.у.м. Устье р. Воронья. Вершина скалы у озера. Тундра. Галька на почве на глыбе. Камень. 07.07.2010. 7626. (Lm).

*Lecidea confluens* (Weber) Ach. – **О**: 66°57'50" с.ш., 39°51'11.999" в.д., 166 м н.у.м. Берег р. Пурнач. Валунная коса. Нижнее течение. Луг. Верх глыбы. Камень. 05.07.2009. 5509. (Lv). **И**: 69°2'20" с.ш., 35°48'43.999" в.д., 80 м н.у.м. Склон сопки. Березовое криволесье на крупноглыбистой осыпи. Глыба. Камень. 12.07.2010. 7602. (Lm).

*Lecidea inops* Th. Fr. non (Korb.) Stizenb. – **Г**: 67°56'44.002" с.ш., 32°26'48.001" в.д., 500 м н.у.м. Склон каньона. Около водотока. Горная тундра скальная. Скала. Отрицательная наклонная. Камень. 21.08.2011. 10124. (Lim). **Н**: 68°11'1.68" с.ш., 34°4'31.44" в.д., 250 м н.у.м. Дно долинки ручья между скалами. Ельник. Стена скалы. Камень. 03.08.2012. 11808. (Lim).

*Lecidea leucothallina* Arnold – **Г**: 67°44'43.008" с.ш., 32°23'58.992" в.д., 710 м н.у.м. Склон отрога г. Керкчорр. Стена разлома (W-E направления). Горная тундра травяно-моховая на скалах. Скала. Вертикаль. Камень. 16.08.2011. 10057. (Lim). **Ф**: 68°1'36.998" с.ш., 31°58'25" в.д., 400 м н.у.м. г. Монтпахк. Скала в березовом криволесье. Камень. 06.09.2010. 12020. (Lim). 68°4'39.36" с.ш., 32°24'5.76" в.д., 720 м н.у.м. Склон горы северо-западной экспозиции. Горная тундра.

Валунник около снежника. Глыба скалы выше снежника. Камень. 19.08.2012. 10603. (Lim). E: 68°8'17.988" с.ш., 31°18'0" в.д., 650 м н.у.м. г. Вуим. Склон цирка у оз. Релтярш. Горная тундра. Скала. Отрицательная наклонная. Камень. 17.08.2010. 7504. (Lt).

*Lecidea pullata* (Norman) Th. Fr. – O: 66°52'28.999" с.ш., 38°35'12.001" в.д., 212 м н.у.м. Берег р. Пурнач. Березняк. Ствол березы. Кора. 27.06.2009. 5113. (Lv).

*Lecidea silacea* Ach. – E: 68°5'46" с.ш., 31°41'44.999" в.д., 512 м н.у.м. Стена разлома, из которого вытекает р. Ватсуой. Горная тундра. Скала. Вертикаль. Камень. 03.09.2010. 12001. (Lt). *Lecidella scabra* (Taylor) Hertel & Leuckert – G: 68°2'53.16" с.ш., 32°23'56.76" в.д., 860 м н.у.м. Вершина г. Волчья тундра. Горная тундра. Куртина моховая на глыбе останца. Вертикаль. Мхи. 16.08.2012. 10572. (подтверждение для Lim). Приводился для Lim как неподтвержденный образцами [1].

*Lecidella carpathica* Korb. – J: 68°25'36.984" с.ш., 35°44'13.992" в.д., 313 м н.у.м. Склон г. 352 м. Тундра кустарничковая. Скала. Стенка щели. Отрицательная наклонная. Камень кальцийсодержащий. 05.07.2011. 10171. 68°26'9.996" с.ш., 35°37'19.992" в.д., 390 м н.у.м. Вершина г. 397.5 м. Тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба. Камень. 16.07.2011. 10203. 68°29'48.984" с.ш., 35°36'6.984" в.д., 300 м н.у.м. Подножие г. Лешая. Склон долины ручья. Тундра кустарничковая. Глыба вершины скалы. Камень кальцийсодержащий. 10.07.2011. 10191. (Lm).

*Lecidella subcongrua* sensu Vain. – G: 68°4'39.36" с.ш., 32°24'5.76" в.д., 720 м н.у.м. Склон горы северо-западной экспозиции. Горная тундра. Глыба скалы около снежника. Камень. 19.08.2012. 10579. (Lim).

*Lobothallia recedens* (Taylor) A.Nordin et al. – L: 67°40'5.412" с.ш., 33°35'55.896" в.д., 370 м н.у.м. Русло ручья, впадающего с севера в оз. Малый Вудъявр. Среди высокотравного березняка с елью и ивой. Глыба. Камень. 04.08.2013. 10900. (Kh).

*Micarea incrassata* Hedl. – O: 66°52'28.999" с.ш., 38°35'12.001" в.д., 212 м н.у.м. Плакор холма в долине р. Пурнач в среднем течении. Непостроенный аэродром. Луг. Пятно выдувания. Почва. 27.06.2009. 5551. (Lv).

*Micarea lignaria* (Ach.) Hedl. – C: 69°40'37.488" с.ш., 31°51'16.524" в.д., 100 м н.у.м. Березняк на склоне горы у ручья. Сухая ветвь рябины. Вертикаль. Древесина. 27.08.2014. 11766. (Lps).

*Micarea lutulata* (Nyl.) Coppins – H: 68°11'28.32" с.ш., 34°3'45.072" в.д., 360 м н.у.м. Склон горы. Пятно гравия в лишайниковой тундре. Галька на грунте. Камень. 04.08.2012. 11420. (Lim). F: 68°1'27.998" с.ш., 32°12'34.999" в.д., 450 м н.у.м. Перевал. Горная тундра кустарничково-лишайниковая. Галька на почве пятна выдувания. Камень. 08.09.2010. 7563. (Lim). G: 68°2'53.16" с.ш., 32°23'56.76" в.д., 860 м н.у.м. Вершина г. Волчья тундра. Останцы. Горная тундра. Галька на гравийной площадке. Камень. 16.08.2012. 10539. (Lim).

*Micarea tuberculata* (Sommerf.) R.A. Anderson – H: 68°31'40.692" с.ш., 33°35'12.804" в.д., 330 м н.у.м. Морена. Тундра с березами. Галька на почве. Камень. 09.06.2012. 12143. (Lt).

*Orphniospora mosigii* (Korb.) Hertel & Rambold – C: 69°44'34.462" с.ш., 32°1'20.6" в.д. Осыпь на склоне горы. Тундра. Валун. Камень. 03.07.2014. 11973. (Lps). I: 69°10'45.001" с.ш., 35°40'41.002" в.д., 50 м н.у.м. Недалеко от оз. Федоровское. Склон сопки. Вершина скалы со снежником. Тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба. Камень. 06.07.2010. 7663. (Lm).

*Peltigera neckeri* Nepp ex Mull. Arg. – K: 67°51'25.992" с.ш., 40°23'4.992" в.д., 20 м н.у.м. Побережье бухты. Березняк среди приморского луга. Куртина моховая на почве. Мхи. 09.07.2007. 7436. (Lp). H: 68°11'6" с.ш., 34°5'15.36" в.д., 250 м н.у.м. Дно долины ручья. Ельник травяной. Куртина моховая на бревне еловом. Мхи. 01.08.2012. 10837. (Lim).

*Pertusaria sommerfeltii* (Florke ex Sommerf.) Fr. – O: 66°52'28.999" с.ш., 38°35'12.001" в.д., 212 м н.у.м. Берег р. Пурнач. Ивняк. Ствол можжевельника. Кора. 28.06.2009. 5050. (Lv).

*Physcia adscendens* H. Olivier – N: 66°40'36.48" с.ш., 34°18'39.276" в.д., 20 м н.у.м. Берег эстуария р. Умба. Южный склон. Осинник. Ствол осины. Вертикаль. Кора. 29.06.2012. 11286. (Lim).

*Pilophorus cereolus* (Ach.) Hellb. – E: 68°9'18.752" с.ш., 31°32'34.411" в.д., 450 м н.у.м. Склон долины р. Суабвой. Березовое криволесье на скалах. Скала. Камень. 31.08.2010. 7475. (Lt).

*Placynthium asperellum* (Ach.) Trevis. – **E**: 68°5'46" с.ш., 31°41'44.999" в.д., 550 м н.у.м. Склон долины истоков р. Ватсуой. Горная тундра кустарничково-лишайниковая. Скала. Камень. 03.09.2010. 12028. (Lt). **J**: 68°26'18.996" с.ш., 35°42'29.016" в.д., 306 м н.у.м. Вершина горы 352 м. Тундра кустарничковая. Глыба скалы под навесом. Вертикаль. Кальцийсодержащий камень. 14.07.2011. 10195. (Lm).

*Placynthium pannariellum* (Nyl.) H. Magn. – **J**: 68°24'57.996" с.ш., 35°39'57.996" в.д., 260 м н.у.м. Русло р. Лунь. Глыба. Камень. 13.07.2011. 10198. (Lm).

*Pleopsidium chlorophanum* (Wahlenb.) Zopf – **J**: 68°26'43.008" с.ш., 35°41'57.984" в.д., 320 м н.у.м. Склон горы 352.1 м. Тундра кустарничковая. Глыба. Отрицательная наклонная. Камень. 14.07.2011. 10215. (Lm).

*Polyblastia terrestris* Th. Fr. – **C**: 69°40'37.776" с.ш., 31°51'24.408" в.д., 116 м н.у.м. Скала у водопада в березняке. Уступ. Наклонная и вертикаль. Камень. 27.08.2014. 11786. (Lps).

*Polysporina lapponica* (Ach. ex Schaer.) Degel. – **J**: 68°26'9.996" с.ш., 35°37'19.992" в.д., 390 м н.у.м. Вершина горы 397.5 м. Тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба. Камень. 16.07.2011. 10203. (Lm).

*Polysporina simplex* (Davies) Vezda – **O**: 66°51'56.988" с.ш., 39°25'24.996" в.д., 200 м н.у.м. Долина р. Пурнач около устьев р. З. и В. Тундра. Галька на валуне осыпи. Камень. 02.07.2009. 5565. (Lv).

*Porpidia ochrolemma* (Vain.) Brodo & R. Sant. – **K**: 69°8'8.002" с.ш., 35°48'43.999" в.д., 66 м н.у.м. Тундра. Русло ручья. Глыба. Камень. 09.07.2010. 7616. (Lm).

*Protoblastenia rupestris* (Scop.) J. Steiner – **H**: 68°11'6" с.ш., 34°5'15.36" в.д., 250 м н.у.м. Долина ручья. Ельник травяной. Скала. Камень кальцийсодержащий. 01.08.2012. 10757. (Lim).

*Psora globifera* (Ach.) A. Massal. – **G**: 68°1'20.28" с.ш., 32°22'8.04" в.д., 280 м н.у.м. Стена разлома в склоне г. Волчья тундра. Осинник с рябиной и березой. Щель в глыбе скалы. Отрицательная наклонная. Камень кальцийсодержащий. 14.08.2012. 10608. (Lim).

*Rhizocarpon copelandii* (Korb.) Th. Fr. – **I**: 69°2'20" с.ш., 35°48'47.002" в.д., 80 м н.у.м. Склон сопки. Березовое криволесье на крупноглыбистой осыпи. Глыба. Камень. 12.07.2010. 7601. (подтверждение для Lm). Приводился для Lm как неподтвержденный образцами [2].

*Rhizocarpon eupetraeoides* (Nyl.) Blomb. & Forssell – **E**: 68°12'27" с.ш., 31°10'3" в.д., 453 м н.у.м. Вершина г. Пусозеро. Горная тундра. Бок глыбы осыпи. Камень. 08.08.2006. 1187. (подтверждение для Lt). Приводился для Lt как неподтвержденный образцами [2].

*Rhizocarpon eupetraeum* (Nyl.) Arnold – **J**: 68°26'9.996" с.ш., 35°37'19.992" в.д., 390 м н.у.м. Вершина горы 397.5 м. Тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба. Камень. 16.07.2011. 10203. (Lm).

*Rhizocarpon expallescens* Th. Fr. – **E**: 68°12'47.318" с.ш., 31°9'27.554" в.д., 400 м н.у.м. Склон г. Пус. Горная тундра. Галька на пятне выдувания. Камень. 08.08.2006. 2649. (Lt). **G**: 68°2'5.64" с.ш., 32°21'52.56" в.д., 580 м н.у.м. Вершина отрога г. Волчья тундра. Горная тундра. Галька. Камень. 16.08.2012. 10573. (Lim). **I**: 69°8'8.002" с.ш., 35°48'43.999" в.д., 33 м н.у.м. Морена, подпирающая озеро. Тундра. Галька на почве. Камень. 09.07.2010. 7629. (Lm).

*Rhizocarpon ferax* H. Magn. – **J**: 68°26'9.996" с.ш., 35°37'19.992" в.д., 390 м н.у.м. Вершина горы 397.5 м. Тундра кустарничково-лишайниковая. Глыба. Камень. 16.07.2011. 10203. (Lm).

*Rhizocarpon frigidum* Rasanen – **J**: 68°26'9.802" с.ш., 35°42'22.511" в.д., 370 м н.у.м. Склон г. Тундра кустарничково-травяно-лишайниковая. Глыба останца. Камень. 14.07.2011. 10206. (Lm).

*Rhizocarpon lavatum* (Fr.) Hazsl. – **I**: 69°8'8.002" с.ш., 35°48'43.999" в.д., 33 м н.у.м. Русло ручья. Галька. Камень. 09.07.2010. 7642. (Lm). **K**: 67°42'42.012" с.ш., 40°34'6.996" в.д., 30 м н.у.м. Берег р. Каменка. Ивняк береговой. Глыба. Камень. 16.07.2007. 7444. (Lp).

*Rhizocarpon oederi* (Weber) Korb. – **O**: 66°57'47.761" с.ш., 39°52'1.135" в.д., 166 м н.у.м. Русло ручья – притока р. Пурнач. Нижнее течение. Березняк. Верх валуна. Камень. 04.07.2009. 5494. (Lv). **H**: 68°27'54.504" с.ш., 33°43'0.84" в.д., 300 м н.у.м. Склон г. Куничья Шапка. Горная тундра. Площадка под сейдом. Камень. 10.06.2012. 11438. (Lt).

*Rhizocarpon petraeum* (Wulfen) A. Massal. – **G**: 68°2'53.16" с.ш., 32°23'56.76" в.д., 860 м н.у.м. Вершина г. Волчья тундра. Горная тундра. Галька на гравийной площадке. Камень. 16.08.2012. 10531. (Lim).

*Rhizocarpon rittokense* (Hellb.) Th. Fr. – **H**: 68°11'28.284" с.ш., 34°3'7.092" в.д., 380 м н.у.м. Склон г. Тундра с березой. Глыба скалы под козырьком. Вертикаль. Камень. 29.07.2012. 10706. (Lim).

*Rinodina confragosa* (Ach.) Korb. - **E**: 68°5'46" с.ш., 31°41'44.999" в.д., 512 м н.у.м. Склон долины реки. Тундра. Отрицательная наклонная в нише скалы. Камень. 03.09.2010. 12042. (Lt).

*Rinodina interpolata* (Stirt.) Sheard – **I**: 69°10'30.194" с.ш., 35°40'17.677" в.д., 20 м н.у.м. Долина оз. Федоровское. Тундра кустарничково-лишайниковая. Ниша в скале. Камень. 06.07.2010. 7587. (Lm). **K**: 67°41'53.988" с.ш., 40°33'2.016" в.д., 130 м н.у.м. Плато к юго-востоку от п. Лумбовка. Кустарничковая тундра. Глыба в пятне выдувания. Камень. 17.07.2007. 7433. (Lp).

*Ropalospora atroumbrina* (H. Magn.) S.Ekman – **H**: 68°11'41.28" с.ш., 34°4'7.68" в.д., 320 м н.у.м. Склон горы. Березовое криволесье с елью. Скала. Камень. 29.07.2012. 11432. (Lim). **G**: 68°4'31.692" с.ш., 32°24'7.848" в.д., 790 м н.у.м. Вершина горы. Горная тундра. Галька на глыбе скалы. Камень. 19.08.2012. 10571. (Lim).

*Silobia rhagadiza* (Nyl.) M. Westb. – **I**: 69°8'8.002" с.ш., 35°48'43.999" в.д., 33 м н.у.м. Морена подпирающая озеро. Тундра. Галька на почве. Камень. 09.07.2010. 7481. (Lm). **H**: 68°11'27.276" с.ш., 34°8'3.12" в.д., 258 м н.у.м. Вершина скалы в сосновом лесу. Отрицательная наклонная. Камень. 14.06.2014. 11798. (Lim).

*Solorina spongiosa* (Ach.) Anzi – **K**: 67°51'35.327" с.ш., 40°22'48.896" в.д., 12 м н.у.м. Луг. Куртина моховая на глыбе. Почва. 05.07.2007. 1882. (Lp).

*Sporastatia polyspora* (Nyl.) Grummann – **J**: 68°26'9.802" с.ш., 35°42'22.511" в.д., 370 м н.у.м. Склон горы. Тундра кустарничково-травяно-лишайниковая. Глыба останца. Камень. 14.07.2011. 10206. (Lm).

*Stereocaulon depressum* (Frey) I. м н.у.м. Lamb – **H**: 68°25'59.52" с.ш., 33°51'16.92" в.д., 340 м н.у.м. Склон перевала между горами Сытронтеч и Волшепахк. Березовое криволесье. Скала. Камень. 10.06.2012. 12165. (Lt).

*Stereocaulon leucophaeopsis* (Nyl.) P. James & Purvis – **A**: 69°22'35.364" с.ш., 30°27'45.396" в.д., 550 м н.у.м. Склон г. Куорпукас. Горная тундра. Галька на мхах. Камень. 22.06.2013. 10963. (Lps). **G**: 68°4'40.08" с.ш., 32°23'15.36" в.д., 640 м н.у.м. Склон горы. Нивальная лужайка мохово-травяная среди скал и осыпи. Галька в моховой куртине. Камень. 18.08.2012. 10565. 67°53'27.996" с.ш., 32°28'14.016" в.д., 900 м н.у.м. Склон каньона между г. Намлагчорр и г. 1072.9. Горная тундра. Куртина моховая на глыбе скалы. Мхи. 19.08.2011. 10299. 67°58'26.004" с.ш., 32°28'39" в.д., 930 м н.у.м. Вершина г. Котитчорр. Горная тундра. Галька на глыбе. Камень. 11.09.2010. 9726. (Lim).

*Stereocaulon nanodes* Tuck. – **H**: 68°31'40.692" с.ш., 33°35'12.804" в.д., 330 м н.у.м. Долина ручья на моренной возвышенности в 2 км на запад от оз. Красивое. Тундра с участками березовых криволесий. Валунник с лужей. Валун. Камень. 09.06.2012. 10785. (Lt). **E**: 68°8'48.012" с.ш., 31°32'21.012" в.д., 450 м н.у.м. Склон долины истоков р. Суабвой. Горная травяно-моховая тундра. Глыба. Вертикаль. Камень. 31.08.2010. 7549. (Lt). **O**: 66°51'56.999" с.ш., 39°25'25" в.д., 200 м н.у.м. Берег р. Пурнач. Березовое криволесье. Бок валуна. Камень. 02.07.2009. 5138. (Lv).

*Stereocaulon tornense* (H. Magn.) P. James & Purvis – **L**: 67°46'10.452" с.ш., 33°38'16.044" в.д., 696 м н.у.м. Перевал между горами Пик Марченко и Куэльпорр. Тундра каменисто-лишайниковая. Галька на почве. Камень. 03.08.2013. 10933. (Kh). **A**: 69°25'27.66" с.ш., 30°31'6.24" в.д., 270 м н.у.м. Берег р. Суокерйоки. Куртина моховая на глыбе на почве. Мхи. 21.06.2013. Семичаевская М. 10886. (Lps).

*Tephromela grumosa* (Pers.) Hafellner & Cl. Roux – **C**: 69°40'37.776" с.ш., 31°51'24.408" в.д., 116 м н.у.м. Скала у водопада в березняке. Стенка ниши. Вертикаль под навесом. Камень. 27.08.2014. 11819. (Lps). **K**: 67°51'10.008" с.ш., 40°11'48.012" в.д., 100 м н.у.м. Останец в верхней части склона берега р. Западная на выходе из каньона. Тундра. Глыба в основании стены

останца. Вертикаль. Камень. 10.07.2007. 7443. (Lp). О: 66°55'55.999" с.ш., 39°46'31.001" в.д., 170 м н.у.м. Стена скалы на берегу р. Пурнач. Березняк. Скала. Камень. 04.07.2009. 5114. (Lv).

*Verrucaria margacea* (Wahlenb.) Wahlenb. – I: 69°10'35.314" с.ш., 35°40'1.61" в.д., 20 м н.у.м. Русло руч. Федоровский. Валун. Под водой. Камень. 05.07.2010. 7593. (Lm). О: 66°57'34.999" с.ш., 39°51'32" в.д., 160 м н.у.м. Пороги на р. Пурнач в нижнем течении. Глыба скалы в русле. Камень. 05.07.2009. 5575. (Lv).

Большая часть приведенных выше видов не были представлены в гербарии лишайников ПАБСИ (КРАВГ). Среди 5 видов, отмеченных как виды неподтвержденные образцами в Списке лишайников... [2], указывавшийся ранее только для Хибин *Ionaspis ceracea* оказался широко распространенным в регионе видом. Так же широко распространенными или локально-массовыми оказались несколько недавно найденных в регионе видов: *Absconditella annexa*, *Acarospora badiofusca*, *Ainoa mooreana*, *Stereocaulon tornense*.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Santesson's checklist of Fennoscandian lichen-forming and lichenicolous fungi / A. Nordin [et al.] // Museum of Evolution / Uppsala University URL: [http://130.238.83.220/santesson/Santesson\\_manual.pdf](http://130.238.83.220/santesson/Santesson_manual.pdf).
2. *Urbanavichus* G., *Ahti T.*, *Urbanavichene* I. Catalogue of lichens and allied fungi of Murmansk Region, Russia // Norrlinia. 2008. 17. P. 1–80.
3. GBIF. URL: <http://gbif.org>.
4. Определитель лишайников России. № 8: Бацидиевые, Катилляриевые, Леканоровые, Мегалариевые, Микобилимбиевые, Ризокарповые, Трапелиевые. СПб.: Наука, 2003. 277 с.
5. *Timdal E.* & *Holtan-Hartwig J.* A preliminary key to Rhizocarpon in Scandinavia // *Graphis Scripta*. 1988. 2. P. 41–54.
6. Мелехин А.В. Новые для России и Мурманской области лишайники из Лапландского заповедника // Ботан. журн. 2009. 94(2). С. 289–292.

#### Сведения об авторе

Мелехин Алексей Валерьевич – к.б.н., научный сотрудник Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН;  
e-mail: melihen@yandex.ru

УДК 332.2

## ГОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В АРКТИКЕ В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МЕСТНЫХ СООБЩЕСТВ

В.А. Маслобоев<sup>1</sup>, С.Н. Виноградова<sup>2</sup>, **В.В. Дидык**<sup>3</sup>, Е.М. Ключникова<sup>1</sup>,  
Е.А. Корчак<sup>3</sup>, Т.А. Мингалёва<sup>1</sup>, В.Н. Петров<sup>4</sup>, Л.А. Рябова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

<sup>2</sup>Центр гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН

<sup>3</sup>Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН

<sup>4</sup>Кольский центр охраны дикой природы

### Аннотация

Анализируются практики регулирования и саморегулирования деятельности горнодобывающих предприятий в Мурманской обл. и влияние этих практик на социальное благополучие местных сообществ. Методология основывается на использовании метода глубокого изучения конкретных случаев (casestudy). Авторы приходят к выводу, что использование концепции «социальная лицензия на деятельность» (SLO) позволяет горнодобывающим предприятиям избегать издержек, вызванных конфликтами с местными сообществами. Приводится описание концепции SLO, и даются рекомендации по ее получению.

### Ключевые слова:

*устойчивое развитие, горная промышленность, Север, Баренц-регион, социальная лицензия на деятельность, социальная устойчивость, недропользование, саморегулирование, коренные народы.*

В статье представлен российский вклад в международный исследовательский проект Программы Коларктик ПС ИЕСП (Инструмент Европейского Соседства и Партнерства, Приграничное Сотрудничество в регионе Коларктик) «Устойчивая горная промышленность, местные сообщества и экологическое регулирование» (Sustainable mining local communities and environmental regulation, сокращенно – SUMILCERE). Проект был реализован международной командой исследователей из России, Финляндии, Швеции и Норвегии в 2013–2014 гг.

Обеспечение социального благополучия при осуществлении горных проектов в Арктике основывается на принципах взаимодействия предприятий горнодобывающей отрасли с территориальными органами власти и населением в решении задач местного социально-экономического развития с учетом этнической составляющей населения, местных потребностей и традиций; социализации экономического территориального развития, согласованной с ресурсными возможностями ее обеспечения [1], ориентации экономики на инновационное развитие.

В рамках научной дискуссии о социальной устойчивости горнодобывающей деятельности в Арктике международной командой проекта SUMILCERE были проведены сравнительные эмпирические исследования существующих практик взаимодействия горнодобывающих предприятий и местных сообществ. Согласно методологии case-study, суть которой состоит в изучении общих закономерностей на примере углубленного анализа конкретных случаев [2], авторами настоящей статьи были выбраны наиболее типичные случаи (горные компании) – по два в каждой стране. Зарубежными коллегами были исследованы государственная шведская национальная компания LKAB, которая ведет свою деятельность в городах Кируна и Еливаре с 1898 г., проекты частной мультинациональной компании «Северные ресурсы» (Northland Resources) в шведском городе Паяла (2012 г.) и в финском городе Колари (2014 г.), а также проект частной канадской компании «Агнико Игл» (Agnico Eagle) в финском городе Киттиля

(2009 г.). В России авторами настоящей статьи была проанализирована деятельность частных национальных компаний: АО «Апатит», ведущего свою деятельность в городах Кировск и Апатиты с 1929 г., ЗАО «СЗФК», работающего в тех же городах с 2012 г., Ловозерского ГОКа (деятельность на территории Ловозерского района). Информация для исследования была собрана путем анализа национального законодательства, интервьюирования, изучалось содержание официальных сайтов компаний, включая их пиар-позиционирование в местной прессе.

Национальное законодательство и регулирование создают «правила игры» и, следовательно, выполняют важнейшую роль в стимулировании эффективного диалога между горнопромышленными предприятиями и местными сообществами. Деятельность в сфере недропользования на территории и континентальном шельфе Российской Федерации регулируется законом «О недрах» № 2395-1 от 21 июля 1992 г., и на текущий момент мы имеем закрепленную законодательством систему согласования и утверждения проектов любой намечаемой деятельности, касающейся недропользования. Нельзя сказать, что процесс развивается строго поступательно. В частности, внесение поправок (ФЗ от 18.12.2006 г. № 232-ФЗ) в статьи 11 и 12 Федерального закона «Об экологической экспертизе» № 174-ФЗ от 23 ноября 1995 г. с уточнением (а именно, значительным сокращением) списка объектов государственной экологической экспертизы привело к созданию прецедентов обхода процедуры проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при подготовке и согласовании проектной документации намечаемой деятельности.

С 1 января 2015 г. вступили в силу поправки, внесенные в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 219-ФЗ от 21 июля 2014 г. Они направлены на большее разграничение контрольных и экспертных полномочий между ведомствами, на создание Государственного реестра и системы учета объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, на формирование прозрачной информационной базы, доступной в том числе и для общественности. Предполагается, что эти поправки будут способствовать выработке и обеспечению экологических приоритетов в реализации экономических проектов. Ожидается, что предприятия, применяя экологические приоритеты, получат внешний фактор воздействия и контроля на пути модернизации производств. Сокращение затрат на оплату превышения допустимых объемов загрязнений, появление дополнительной продукции в результате извлечения попутных компонентов из комплексных руд, применение энерго- и ресурсосберегающих технологий повысит рентабельность, наукоемкость производства, обеспечит устойчивость на внутреннем и внешнем рынках. В конечном итоге модернизация добывающих предприятий должна обеспечить базу инновационного развития региональных промышленных кластеров.

Важный этап осуществления горнодобывающего проекта – получение лицензии. Лицензия – это документ, удостоверяющий право ее владельца на пользование участком недр в определенных границах в соответствии с указанной в ней целью в течение установленного срока при соблюдении владельцем заранее оговоренных условий. Между уполномоченными на то органами государственной власти и пользователем недр может быть заключен договор, определяющий условия пользования таким участком, а также обязательства сторон по выполнению договора.

Принятие решений о проведении аукционов на право пользования участками недр федерального значения осуществляется Правительством Российской Федерации, относительно участков недр местного значения решение о проведении конкурсов или аукционов принимает орган государственной власти соответствующего субъекта Российской Федерации. В состав конкурсных или аукционных комиссий, создаваемых федеральным органом управления государственным фондом недр или его территориальными органами, включаются также представители органа исполнительной власти соответствующего субъекта РФ. И только через этих представителей имеется возможность внести в договор с недропользователем

обязательства по соблюдению интересов местного населения, в том числе коренных малочисленных народов.

Однако для принятия решения о предоставлении в пользование участков недр федерального значения предусмотрена только процедура аукциона, при которой победителя определяет размер разового платежа за право пользования участком недр. Таким образом, основная и наиболее значимая часть государственного фонда недр распределяется без участия не только местных органов самоуправления, но и региональных органов власти. В процедуре аукциона отсутствует процедура учета интересов местных сообществ, что потенциально может вести к возникновению конфликтов с местным населением.

Способность обеспечить сохранность окружающей среды является важным условием предотвращения конфликтов с местным населением. В идеальной ситуации природоохранное регулирование должно быть построено таким образом, чтобы обуславливать определенное снижение конкурентоспособности компаний, допускающих в своей деятельности негативное воздействие на окружающую среду. Степень снижения конкурентоспособности не должна являться причиной прекращения деятельности таких компаний, а должна только стимулировать устранение такого негативного воздействия.

Исследование, проведенное в рамках проекта SUMILCERE [3], выявило, что природоохранное регулирование оказывает на конкурентоспособность горных компаний в Финляндии, Швеции и России среднее или ниже среднего воздействие. Однако это воздействие связано преимущественно не со стимулированием более экологически ответственной деятельности компаний, а с преодолением сложных и длительных административных процедур, в которых природоохранное регулирование практически выражено.

Для горнодобывающих компаний сложность и затянутость административных процедур увеличивает риск потерь на рынке: рынок полезных ископаемых достаточно динамичный, а деятельность по освоению каждого конкретного месторождения сама по себе является рискованной. Увеличение риска из-за неопределенности и затянутости определения природоохранных требований порождает интерес у горного бизнеса к лоббированию снижения таких требований.

В качестве рекомендации по повышению экологической ответственности компаний может быть предложено увеличение финансирования подготовительных процедур к выдвиганию природоохранных требований для намечаемых горных проектов. При этом финансирование должно направляться на максимально широкое прогнозирование природоохранных конфликтов, которые могут возникнуть при реализации горного проекта, и на разработку эффективных сценариев преодоления данных конфликтов. Именно на это было нацелено развитие институтов экологической экспертизы и ОВОС в России в последнее десятилетие прошлого века, однако по ряду причин это развитие было свернуто.

В качестве перспективной цели следует ставить реальную оценку экологических издержек горной промышленности и включение их в стоимость конечной продукции горной компании.

Сегодня горная промышленность во всем мире подвергается критике по поводу негативного воздействия на окружающую среду и разрушения гражданского общества. Горнодобывающие проекты часто вступают в конфликты с другими пользователями земельных участков и природных ресурсов. Встречая эти вызовы, бизнес пытается самостоятельно улучшить свой экологический и социальный образ [4]. Для этого компании разрабатывают собственные «кодексы поведения» или «политику социальной ответственности». Обязательства, закрепленные в этих документах, разработаны на основе требований финансовых организаций, заинтересованных в устойчивости компаний, международных бизнес-организаций (например, таких как ICMM\*), собственных потребностей компаний и обоснованных требований местных сообществ.

---

\* ICMM – International Council on Mining and Metals.

В рамках проекта SUMILCERE были изучены типы саморегулирования, практикуемые горнодобывающими компаниями Швеции, Финляндии и России, и их связь с национальными законодательствами, чтобы выяснить, как на местном уровне понимается роль саморегулирования горных компаний и как оно способствует (или не способствует) получению неформального «разрешения» местного сообщества на деятельность компании [5].

На основе проведенного анализа авторы статьи подразделили компании на три класса. К классу «отцов-основателей» мы отнесли ЛКАВ и ОАО «Апатит». Эти компании исторически взаимосвязаны и тесно взаимодействуют с местными сообществами, а также имеют глубокие знания местных условий, поскольку являются градообразующими и в значительной степени сформировали местные сообщества. Они используют такие методы саморегулирования, как диалог с местными сообществами (с национальными особенностями), информирование, участие в образовательных и исследовательских проектах, спонсирование проектов местного развития. Такому поведению способствуют не только требования национального законодательства, но в большей степени многолетние традиции компаний. Согласно опросам местного населения, эти две компании скорее имеют социальную лицензию на деятельность от местного сообщества.

К классу «ответственный гражданин» мы отнесли проекты компании «Северные ресурсы» (Northland Resources) в Швеции и Финляндии, а также проект компании «Агнико Игл» (Agnico Eagle) в Финляндии. Эти компании демонстрируют стремление оказывать положительное экономическое влияние на жизнь местных сообществ, минимизировать ущербы и открыты для диалога. Этому способствуют требования международных инвесторов (банков) и национального законодательства. Авторы данной статьи полагают, что эти горнодобывающие компании находятся на пути к получению социальной лицензии на деятельность.

В отдельный класс выделено ЗАО «СЗФК». Несмотря на то, что компания за счет использования в производственном процессе наилучших доступных технологий, вложения значительных средств в научные разработки, направленные на сохранение природы, является в регионе одной из наиболее дружественных к окружающей среде, опросы местного населения показывают низкий уровень доверия к предприятию. Поэтому создается впечатление, что компания пока не имеет социальной лицензии. Обращает на себя внимание тот факт, что объективно ЗАО «СЗФК» так же, как и другие компании, вкладывает средства в социальные (заключила договор о сотрудничестве с администрацией г. Кировск), экологические и научные проекты, но, демонстрируя низкую открытость к диалогу с местным сообществом, проигрывает им по уровню одобрения местного сообщества.

Таким образом, наше исследование показывает, что национальные компании, работающие в Арктике длительное время, инкорпорированы в жизнь местных сообществ, их практики саморегулирования основываются на исторически сложившихся взаимоотношениях между компанией и местным сообществом, они делают больше, чем того требует национальное законодательство. Компании, начинающие новые горнодобывающие проекты в Арктике, используют заемные средства крупных финансовых организаций, имеющих собственные стандарты и «политику устойчивого развития»; согласно их требованиям и требованиям национального законодательства, эти компании вынуждены устанавливать хорошие взаимоотношения с местными сообществами. Пример ЗАО «СЗФК» показывает слабость российского законодательства в части понуждения горнодобывающих компаний к диалогу с местными сообществами и, как следствие, существование пробелов в коммуникации компании с местными жителями, что замедляет получение ею социальной лицензии на деятельность.

Специфика горнодобывающей промышленности в Российской Арктике, помимо ее повышенного воздействия на окружающую среду и исконную среду обитания коренных народов Севера, заключается и в ее градообразующем значении. В Мурманской обл., например, большинство поселений возникло на месте освоения минеральных ресурсов, а горнодобывающие предприятия для местных сообществ стали основным источником благосостояния. Это

обуславливает актуальность изучения роли горных предприятий в обеспечении устойчивого развития местных сообществ.

Исследование авторов статьи показало, что социальные последствия реализации горных проектов разнообразны и зависят как от фазы жизненного цикла проекта, так и от истории горного дела в стране в целом. Однако основные вопросы, которые волнуют все обследованные и в России, и за рубежом местные сообщества, – это безработица и опасение негативных воздействий горных предприятий на окружающую среду и другие сферы жизнеобеспечения (туризм, оленеводство, охота, рыбалка, сбор грибов и ягод), вклад предприятий в развитие инфраструктуры.

Авторы пришли к выводу, что социальная устойчивость горных проектов в Арктике – это качественная характеристика, которая определяется степенью эффективности взаимодействия предприятий горнопромышленной отрасли с местным сообществом. Важнейшими показателями социальной устойчивости являются уровень благосостояния местного сообщества, измеряемый показателями уровня жизни (заработная плата и ее соотношение с величиной прожиточного минимума трудоспособного населения, уровень безработицы, уровень производственного травматизма) и условия проживания населения (состояние окружающей среды, уровень развития транспортной и инженерной инфраструктуры и коммуникаций).

Таким образом, объективно встает вопрос о разработке эффективной методологии выстраивания отношений между компаниями и местными сообществами, находящимися в зоне действия горнодобывающих производств.

Одна из задач проекта SUMILCERE состояла в исследовании возможных форм проявления и целесообразности применения концепции социальной лицензии на территории регионов, в которых действует программа Коларктик, в частности, в Мурманской обл. Концепция социальной лицензии на деятельность (social license to operate\* – SLO) в последнее время получила широкую научную известность и практическое применение в целом ряде стран, особенно в Австралии, Канаде, Финляндии. Возникновение ее приходится на конец 1990-х гг. в связи с участвовавшими случаями острых конфликтов местных сообществ с горнодобывающими компаниями, реализующими свои проекты на территориях муниципалитетов.

Социальная лицензия на деятельность подразумевает неформальное «разрешение» различного уровня (от просто принятия до полного одобрения) местного сообщества на деятельность компании [5–7]. Ключевым для концепции социальной лицензии является понятие доверия к компании со стороны местного сообщества. Наличие такой лицензии, с одной стороны, позволяет снизить социально-политические и финансовые риски осуществления проектов горнодобывающей компании, улучшить имидж, что в настоящее время все более учитывается финансирующими их банками и, как правило, приносит финансовые выгоды и повышает конкурентоспособность компании. С другой стороны, заинтересованность компаний в получении социальной лицензии выгодна местному сообществу, поскольку позволяет защитить права и интересы местного населения. В этом случае компания предпочитает уважать и учитывать интересы местного сообщества при осуществлении своей деятельности. В итоге социальную лицензию на деятельность можно рассматривать как действенный инструмент, способствующий устойчивому развитию местного сообщества.

Исследование показало, что в России концепция социальной лицензии на деятельность пока мало известна в теоретическом плане, почти не обсуждается в специальной литературе и не упоминается в государственных и муниципальных документах, а потому не используется и

---

\* Сам термин был предложен канадским экспертом по горной промышленности Джеймсом Куни (James Cooney) на встрече с сотрудниками Всемирного банка в 1997 г. для обозначения качества отношений между горнопромышленной компанией и местным сообществом, которое подвергается влиянию (экологическому, экономическому, социальному) в результате деятельности компании.

в практике управления компаниями и муниципалитетами. В то же время для российских компаний близкую по содержанию к концепции социальной лицензии роль во взаимоотношениях с местным сообществом играет концепция корпоративной социальной ответственности (КСО). Реализуя КСО, компании достигают определенных уровней социальной лицензии со стороны местных сообществ.

В исследованных муниципалитетах Кировск и Апатиты есть множество примеров социально ответственного поведения горнодобывающих компаний АО «Апатит» и ЗАО «СЗФК», особенно со стороны первой, что позволяет им налаживать конструктивные отношения с органами местного самоуправления и избегать конфликтов. Исследование показало, что более высокий уровень доверия со стороны населения обоих городов наблюдается к АО «Апатит». Такое отношение к компании со стороны населения обусловлено многолетней традицией высокой корпоративной социальной ответственности данного предприятия. Так, например, в 2011 г., согласно отчетным данным АО «Апатит», его расходы на социальные цели, т.е. «содержание социальной сферы, культурно-массовые мероприятия, выплаты по коллективному договору, благотворительность и другие аналогичные непроизводственные нужды» составили 1 млрд 252 млн руб. [8]. Эта сумма сопоставима с годовым бюджетом города Кировска, что говорит о значительном масштабе такой деятельности. При этом интервью показали, что жители городов Кировска и Апатиты слабо осведомлены о социальных проектах предприятия, направленных на развитие городов. Такое положение можно расценить как недостаток информационной политики со стороны компании. Повышение ее информационной открытости способствовало бы росту доверия со стороны местного сообщества и достижению более высокого уровня социальной лицензии, а значит, и снижало бы риски развития для предприятия. Следует заметить, что за рубежом многие добывающие компании, при сопоставимых, а то и значительно меньших объемах социальной деятельности ведут более активный диалог с местными сообществами и гораздо шире освещают свою социальную деятельность.

Имеются сферы, по которым существуют разнонаправленные интересы населения и горнодобывающих компаний, что может привести к нарастанию противоречий и социальной напряженности в будущем. Это касается как экологических аспектов в связи с обеспокоенностью населения по поводу добычи и переработки руды ЗАО «СЗФК» в непосредственной близости к планируемому национальному парку «Хибины», так и вопросов занятости в связи с сокращением численности персонала на АО «Апатит».

Приобретению и повышению уровня социальной лицензии могут служить такие инструменты, как расширение практики проведения общественных слушаний и социологических опросов населения для выявления проблем, связанных с деятельностью ресурсодобывающей компании, создание согласительных комиссий при широком участии различных общественных групп, регулярное заключение соглашений между ресурсодобывающими компаниями и местными органами власти при активном вовлечении населения в обсуждение их содержания.

Нами сделан вывод, что применение на практике концепции социальной лицензии на деятельность в российских условиях целесообразно и необходимо, поскольку может послужить улучшению качества взаимодействия горнодобывающих компаний с местными сообществами, что принесет выгоды компаниям и будет способствовать устойчивому развитию местных сообществ.

В рамках процесса получения социальной лицензии на деятельность компаниям, работающим в Арктике, необходимо уделять пристальное внимание выстраиванию отношений с придерживающимися традиционных форм природопользования коренными народами, для которых уникальная и крайне чувствительная к антропогенным воздействиям северная природа является источником жизни. В связи с этим в рамках проекта SUMILCERE особое внимание было уделено вопросам соблюдения прав коренного народа региона саами в процессе развития горных проектов.

Согласно Конституции РФ, коренным малочисленным народам гарантируются права и возможности в соответствии с международными принципами и нормами (ст. 69). Наиболее полно данные положения сформулированы в Декларации ООН «О правах коренных народов» и Конвенции 169 МОТ «О коренных народах и народах ведущих племенной образ жизни в независимых странах». В частности, на международном уровне признается необходимость особой государственной ответственности при осуществлении хозяйственной деятельности на территориях проживания данных народов, в том числе через обеспечение непосредственного участия самих народов в управлении использованием всех видов природных ресурсов, осваиваемых на их территориях [9]. Российская Федерация находится в процессе разработки собственных подходов к вопросам реализации прав коренных народов в условиях активного освоения их традиционных территорий, с учетом необходимости соблюдения как международных принципов и норм, так и российского исторического опыта и социально-экономических реалий [10].

Современное российское законодательство, регулирующее добычу природных ресурсов, в том числе и в горном секторе, не содержит положений, определяющих отношения хозяйствующих субъектов и коренных народов. Кроме того, действующие на территории Мурманской обл. предприятия не оказывают непосредственного влияния на образ жизни саами, так как расположены достаточно далеко от территорий, где осуществляется традиционная хозяйственная деятельность (оленоводство, рыболовство). Данные факторы обеспечивают отсутствие в регионе открытых конфликтов между горным сектором и коренными народами, а также способствуют формированию стереотипа о неактуальности рассматриваемого вопроса. Однако проведенное исследование позволяет утверждать, что в регионе наличествуют скрытые проблемы и предпосылки для развития конфликтов.

Существующая в настоящее время система расселения и хозяйствования коренных народов на территории Мурманской обл. сложилась в конце 1960-х гг. в результате интенсивного промышленного освоения региона и коллективизации, сопровождавшихся сокращением территорий хозяйствования саами, их принудительным переводом на оседлый образ жизни и неоднократными переселениями. В отличие от зарубежных стран вопрос о возмещении ущерба, причиненного коренным народам в результате промышленного освоения их территорий, в России не обсуждается. Однако он может быть использован как инструмент воздействия и на отдельные предприятия и на социально-экономическую ситуацию в регионе в целом из-за рубежа. В этой связи действующим в Мурманской обл. горным компаниям может быть рекомендовано формирование специальных программ взаимодействия с коренным населением в рамках собственной социальной политики по примеру нефтегазового сектора (например, Shtokman Development или Сахалин-Энерджи) либо подготовка региональной целевой программы, направленной на развитие коренных народов и предполагающей участие предприятий горного сектора.

Кроме того, среди саами существуют серьезные опасения, что будущие разработки новых месторождений полезных ископаемых, прежде всего в Ловозёрском районе, могут оказать на них серьезное влияние, так как нанесут экологический урон саамским территориям, приведут к сокращению пастбищных угодий. При этом существует общее убеждение, что в случае потенциальных угроз коренное население будет активно отстаивать свои интересы. Не исключены возможности публичных протестов и обращений в международные организации. Поэтому мнение и интересы коренных народов при реализации новых горнорудных проектов должны быть учтены, причем на самых ранних стадиях.

Добыча и переработка минеральных ресурсов продолжит оставаться драйвером развития арктических территорий в обозримом будущем, поэтому разработка рекомендаций по созданию институциональной среды для устойчивого функционирования горнодобывающей промышленности в Арктике, в том числе в российской ее части, является экономически и социально целесообразной. Особенно полезным для российских горнодобывающих компаний

и местных сообществ, на территориях которых ведется промышленная деятельность, на наш взгляд, может стать использование концепции социальной лицензии на деятельность компании. Ее применение на практике может стать эффективным управленческим инструментом устойчивого развития российских арктических муниципалитетов, работающим на основе тесного взаимодействия местных сообществ и ресурсодобывающих компаний, инструментом согласования их интересов, построения между ними доверительных взаимовыгодных отношений сотрудничества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Поподько Г.И. Социальная устойчивость экономической системы // *European Social Science Journal*. 2011. № 10. С. 392–398.
2. *Gerring J.* Case study research: principles and practices. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. P. 265.
3. Environmental regulation and competitiveness in the mining industry: Permitting processes with special focus on Finland, Sweden and Russia / K. Söderholm [et al.] // *Resources Policy*. 2015. Vol. 43. P. 130–142.
4. Riabova L., Didyk V. Social license to operate for mining companies in the Russian Arctic: two cases in the Murmansk region. *ArcticYearbook-2015*. URL: <http://www.arcticyearbook.com/index.php/briefing-notes2014/120-social-license-to-operate-for-mining-companies-in-the-russian-arctic-two-cases-in-the-murmansk-region> (access data: 10.09.2015).
5. Nysten-Haarala S., Klyuchnikova E., Helenius H. Law and self-regulation—Substitutes or complements in gaining social acceptance? // *Resources Policy*. 2015. Vol. 45. P. 52–64.
6. *Prno J., Slocumbe D.S.* Exploring the origins of ‘social license to operate’ in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories // *Resource Policy*. 2012. Vol. 37. P. 346–357.
7. *Thomson I., Boutilier, R.G.* The social license to operate // *SME Mining Engineering Handbook* / P. Darling (Ed.). Littleton, Co. 2011. P. 1779–1790.
8. Снегов В.В., Дядик В.В. Оценка потенциала участия крупного бизнеса в социально-экономическом развитии Арктического региона // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2013. № 2(26). С. 29–39.
9. Legal Protection of Sami Traditional Livelihoods from the Adverse Impacts of Mining: A Comparison of the Level of Protection Enjoyed by Sami in Their Four Home States / T. Koivurova [et al.] // *Arctic Review on Law and Politics*. 2015. Vol. 1. P. 11–51.
10. Виноградова С.Н., Маслобоев В.А. Добыча полезных ископаемых на традиционных территориях коренных малочисленных народов Севера: особенности, проблемы, механизмы регулирования // *Арктика: экономика и экология*. 2015. № 2(18). С. 96–103.

#### Сведения об авторах

*Маслобоев Владимир Алексеевич* – д.т.н., заместитель председателя КНЦ РАН, директор Института промышленной экологии Севера КНЦ РАН;

e-mail: masloboev@ksc.ru

*Виноградова Светлана Николаевна* – к.э.н., ведущий научный сотрудник Центра гуманитарных проблем КНЦ РАН;

e-mail: svetikvin@mail.ru

Дидык Владимир Всеволодович – к.э.н., зам. директора по научной работе Института экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН

*Ключникова Елена Михайловна* – к.э.н., заведующий сектором Института промышленной экологии Севера КНЦ РАН;

e-mail: kem@inep.ksc.ru

*Корчак Елена Анатольевна* – к.э.н., старший научный сотрудник Института экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН;

e-mail: korchak@iep.kolasc.net.ru

*Мингалёва Татьяна Анатольевна* – ведущий инженер Института промышленной экологии Севера КНЦ РАН;

e-mail: mingalevat@mail.ru

*Петров Виктор Николаевич* – председатель Совета Мурманской областной общественной организации «Кольский центр охраны дикой природы»;

e-mail: victor.n.petrov@gmail.com

*Рябова Лариса Александровна* – к.э.н., заведующий отделом Института экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН;

e-mail: larissar@iep.kolasc.net.ru

УДК 332.14: 001.895

## ЭКОНОМИКА АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ И КОРПОРАЦИЙ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ\*

**В.С. Селин, Ю.В. Вышинская**

Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН

### Аннотация

В статье рассматриваются специфические особенности экономической динамики в арктических регионах страны. Показана их противоречивость: если в терминах роста валового внутреннего продукта на душу населения эти регионы значительно опережают среднероссийские показатели, то по реальному денежному доходу, наоборот, столь же существенно отстают. Такое положение объективно не соответствует стратегическим интересам освоения Арктики. Основу экономики арктических регионов составляют ресурсно-сырьевые корпорации, которые в условиях монополистического рынка труда сдерживают рост заработной платы. С другой стороны, эти корпорации выступают важным элементом устойчивости хозяйственной системы не только на региональном, но и на национальном уровнях. Обосновано, что ресурсные компании вполне устойчивы даже в условиях санкций и могут служить «локомотивом» инновационных процессов.

### Ключевые слова:

*экономика, Арктика, регионы, продукция, доходы, ресурсы, корпорации, устойчивость, санкции, развитие.*



В современных условиях Арктика позиционируется как источник ресурсов для социально-экономического развития страны. Так, разведанные запасы газа промышленных категорий там составляют 80 % от общероссийских. В Арктике сосредоточено 90 % извлекаемых ресурсов углеводородов всего континентального шельфа РФ, в том числе 70 % – на шельфе Баренцева и Карского морей. Прогнозируется наличие углеводородов и в глубоководной части

Северного Ледовитого океана. В арктических районах сконцентрирована добыча природного газа, апатитового концентрата, многих стратегически важных цветных и драгоценных металлов (никель, медь, кобальт и др.). Сейчас в Арктике производится примерно 5 % ВВП России и 22 % общероссийского экспорта, добывается 75 % природного газа, около 90 % никеля и кобальта, 60 % меди, 96 % платиноидов, 100 % барита и апатитового концентрата. Таким образом, Арктика способна обеспечить решение задач социально-экономического развития страны в XXI веке и в значительной степени удовлетворить потребности России в углеводородных, водных, биологических ресурсах и других видах стратегического сырья [1, с. 20].

В конце апреля – начале мая 2014 г. Президентом РФ и Правительством РФ были приняты значимые документы по социально-экономическому развитию АЗРФ:

- 21 апреля 2014 г. Правительство РФ своим постановлением № 366 утвердило государственную программу Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года» [2];

\* Статья подготовлена при поддержке грантов РГНФ № 15–02–00540 «Теоретические основы и механизм согласования государственной, региональной и корпоративной инновационной политики в Арктике» и № 15–02–00009а «Модернизация системы транспортировки арктического природного газа в условиях геоэкономической и политической нестабильности стран-транзитеров».

• 22 апреля 2014 г. под председательством Президента РФ состоялось заседание Совета безопасности РФ по Арктике;

• 2 мая 2014 г. Президент РФ В.В. Путин подписал указ № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».

Указом Президента РФ № 296 от 2 мая 2014 г. «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» в состав АЗРФ включены территории 8 субъектов РФ: 1) Мурманской обл.; 2) семи муниципальных образований Архангельской обл.; 3) Ненецкого автономного округа; 4) городского округа «Воркута» Республики Коми; 5) Ямало-Ненецкого автономного округа; 6) городского округа Норильска, Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района и Туруханского района Красноярского края; 7) пяти улусов (районов) Республики Саха (Якутия); 8) Чукотского автономного округа; 9) земли и острова, расположенные в Северном Ледовитом океане, указанные в постановлении Президиума ЦИК СССР от 15 апреля 1926 г. и других актах СССР [3].

Учитывая, что данная конфигурация Российской Арктики еще только вводится, ниже анализируются экономические процессы в рамках субъектов РФ, полностью входящих в зону.

Экономическое пространство Арктики имеет достаточно специфическую структуру: промышленное производство достигает здесь 60 % валового регионального продукта, что почти в два раза превосходит аналогичные национальные показатели. Очевидно, что эта особенность будет сохраняться и в перспективе: переход на модель сетевой хозяйственной системы здесь не нужен, да и невозможен. Однако переход к инновационной экономике крайне необходим, учитывая высокую стоимость труда в особых природно-климатических условиях.

Традиционным подходом к сравнительному анализу и уровню развития арктических регионов является исследование основных экономических показателей: производство ВВП на душу населения, уровня дохода на душу населения, промышленного производства и т.д. Что касается показателей ВВП, то они практически по всем арктическим субъектам, как видно из табл. 1, в несколько раз превышают национальный уровень, за исключением Мурманской обл.

Таблица 1

Валовый внутренний продукт на душу населения, тыс. руб. [4]

Регионы	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
Мурманская обл.	252	260	294	301	357
Ненецкий АО	2178	3099	3389	3084	3841
Чукотский АО	612	919	827	786	960
Ямало-Ненецкий АО	1322	1190	1476	1505	2211
Российская Федерация	239	226	262	273	348

За период 2008–2013 гг. наибольший вклад в общее производство валового регионального продукта арктических регионов внесли Ненецкий и Ямало-Ненецкий автономные округа. Во многом этот контраст объясняется малым объемом экспортной продукции добывающих и обрабатывающих видов деятельности этих регионов, локальностью экономики, в основном обслуживающей внутренний рынок, и малочисленностью населения.

Важнейший фактор различия между регионами – отраслевая специализация экономики, прежде всего промышленности, динамика которой в Российской Арктике отличается разнонаправленными тенденциями. Например, в Чукотском автономном округе объемы производства увеличились почти на 90 %. Такие показатели обусловлены, прежде всего, разработкой новых месторождений. За последние полгода на Чукотке активно ведется изучение новых проектов, из предложенных почти 350 проектов в разработку взяли 18. В 2013 г.

в эксплуатацию ввели еще два золоторудных объекта, поэтому по итогам 2014 г. местные власти ожидают существенного роста показателей.

Негативные тенденции наблюдаются и в сфере реальных денежных доходов (табл. 2), где во всех четырех рассматриваемых субъектах РФ за последние годы рост реальной заработной платы имеет значительно более низкие темпы, чем в среднем по стране, или его вообще не происходит (Ненецкий АО). Основная причина – опережающий рост цен на предметы первой необходимости в рамках перечня потребительской корзины.

Таблица 2

Реальные денежные доходы населения, % к предшествующему году [4]

Регионы	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	За 5 лет
Мурманская обл.	99.9	98.5	96.7	107.6	104.7	107.0
Ненецкий АО	89.4	101.4	98.4	110.9	101.5	100.0
Чукотский АО	91.9	106.0	109.5	105.9	95.2	108.0
Ямало-Ненецкий АО	91.5	100.4	103.8	110.6	102.7	108.0
Российская Федерация	101.8	105.4	101.2	105.8	103.7	119.0

Огромную роль в развитии любого региона играет природно-ресурсный потенциал, который определяется количеством, качеством и сочетанием природных ресурсов. Наличие природных ресурсов, во-первых, воздействует на формирование территориальной структуры хозяйства. Во-вторых, природно-ресурсный потенциал существенно влияет на отраслевую специализацию региона. В-третьих, количество, качество и эффективность использования природных ресурсов сказываются на темпах регионального социально-экономического развития. В-четвертых, обладание природными ресурсами способствуют повышению роли региона на общероссийском товарном рынке.

В настоящее время является очевидным важность и необходимость расширения присутствия России в Арктике, что обусловлено стратегическим характером Арктической зоны для перспектив социально-экономического и политического развития страны и ее территорий. Арктика, как подчеркивают исследователи, является «стратегической ресурсной базой РФ, обеспечивающей решение задач социально-экономического развития страны». Арктическая зона должна обеспечить устойчивое развитие страны в долгосрочной перспективе. Именно за счет ресурсов Арктики и предарктической зоны в перспективе будет возможно поддерживать экономику страны.

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2020 г. приоритетами энергетической политики будут развитие нефтегазовой промышленности на побережье Северного Ледовитого океана и шельфе арктических морей. Стратегическим приоритетным регионом добычи станет п-ов Ямал, а также акватории северных морей России, таких как Баренцево и Карское. Несмотря на увеличение доли альтернативных и возобновляемых источников энергии в мировом энергобалансе, в перспективе углеводороды по-прежнему будут оставаться основными источниками энергии. Можно напомнить, что углеводороды Арктического шельфа оцениваются в 40 млрд т топлива (условного), что сопоставимо с общими разведанными запасами нефти и газа в стране. Они же определяют инвестиционную привлекательность Российской Арктики, динамика которой приведена в табл. 3.

Можно отметить, что по инвестиционной привлекательности и активности Ненецкий, Чукотский и Ямало-Ненецкий автономные округа постоянно находятся в первой десятке российских регионов. Конечно, это связано с минерально-сырьевыми запасами. Наибольшая величина инвестиций в основной капитал на душу населения в 2013 г. приходилась на Ненецкий автономный округ (1401.7 тыс. руб.), наименьшая – на Мурманскую обл. (79.5 тыс. руб.).

Инвестиции в основной капитал на душу населения, тыс. руб. [4]

Регионы	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Мурманская обл.	51.9	48.4	70.7	68.3	79.5
Ненецкий АО	866.1	1010.8	1046.7	882.3	1401.7
Чукотский АО	290.3	106.7	183.5	279.2	205.6
Ямало-Ненецкий АО	657.6	739.1	899.0	1048.2	932.9
Российская Федерация	55.8	64.0	77.1	87.7	92.3

В целом величина инвестиций в основной капитал на душу населения по Российской Федерации в 2013 г. (по сравнению с 2009 г.) выросла в 1.7 раза, а в арктических регионах – в 1.5 раза, за исключением Чукотского автономного округа, в котором величина инвестиций на душу населения в 2013 г. снизилась на 29 %. Отрицательная динамика в течение 2012–2013 гг. в Чукотском автономном округе связана не с низкой инвестиционной активностью в данном регионе, а с плановыми объемами финансирования крупных проектов, существенная часть которых была освоена до начала прогнозного периода. В Чукотском автономном округе такими проектами являются разработка месторождения «Майское» и строительство транспортной инфраструктуры в рамках Федеральной адресной инвестиционной программы.

Серьезной проблемой арктических инвестиций остается то, что они направляются в основном в добывающие комплексы, значительно отстает производственная и социальная инфраструктура. Здесь имеются большие возможности для развития государственно-частного партнерства. Что касается самых ресурсных корпораций, то их роль здесь значительно выше, чем в более диверсифицированных центральных регионах страны. При этом именно они обеспечивают основные доходы бюджетов, занятость и вообще являются градообразующими для многих городов и поселений. С другой стороны, в условиях преимущественно природоэксплуатирующей экономики они и в национальных масштабах имеют очень важное значение.

Объективные предпосылки новой, «третьей», индустриализации заложены в самой структуре реального сектора отечественной экономики, в которой сочетаются относительно высокоразвитые комплексы (ресурсно-сырьевой, топливно-энергетический и военно-промышленный) и исторически отсталые производства (машиностроение, горной техники, средств управления, транспортные системы, инфраструктура и т.п.), требующие стратегической модернизации. Взаимодействие этих комплексов, в том числе финансовое, может дать синергический эффект.

Очевидно, что определенное влияние на тенденции развития экономики может оказать изменение политической ситуации в связи с украинским кризисом. «Война санкций» будет сдерживать приток инвестиций и возможности заимствования техники и технологий российскими корпорациями, однако только в краткосрочном периоде, потому что это невыгодно всем. Конечно, самую жесткую позицию занимали и будут занимать Соединенные Штаты Америки, для которых очаг напряженности в Европе крайне выгоден. Однако падение цен на энергоносители наносит существенный ущерб их сланцевой отрасли, при снижении цен ниже 50 долл. за баррель окажутся нерентабельными более половины действующих газовых скважин и практически прекратится строительство новых [5]. О том, что эксперты видят необходимость преодоления разногласий в вопросах безопасности, показывает протокол совместного заседания Российского совета по международным делам и Атлантического совета в марте текущего года [6].

Для отечественной промышленности санкции могут и должны послужить мощным толчком к импортозамещению. При этом необходимо отметить, что включиться в современное мировое разделение труда и занять высокие конкурентные позиции, будучи технологически отсталым, невозможно. В связи с этим, как уже отмечалось, чуть ли не самым главным считается вопрос перехода от ресурсно-сырьевой экономики к инновационной. Можно ли считать эти

экономические системы антиподами? Видимо, нет. К какому типу следует отнести Норвегию, Катар, Мексику или тот же Китай, который неоднократно демонстрировал миру великолепные возможности сырьевого комплекса, когда он поддерживается эффективной государственной политикой: сначала на мировых рынках магния, потом титана, наконец, в 2001–2012 гг. на рынках редкоземельных металлов. А ведь без последних сейчас не обходится ни один самый инновационный сектор любой экономики.

Спецификой промышленного комплекса российского Севера и Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) является его высокая корпоратизация, что свойственно сырьевым отраслям и в глобальном плане. До 80 % промышленного производства сконцентрировано в крупнейших компаниях, в первую очередь нефтегазового сектора (ОАО «Газпром» и др.), в металлургической (ОАО «Северсталь», ОАО «ГМК Норильский никель») и химической (ОАО «ФосАгро», ОАО «МХК ЕвроХим») отраслях. В ближайшей перспективе освоение новой сырьевой базы, в том числе на Арктическом шельфе, потребует крупных капитальных вложений, обусловленных более сложными условиями разработки и необходимостью новых технологических подходов.

Промышленное производство на российском Севере АЗРФ представлено, таким образом, крупными вертикально-интегрированными компаниями, занимающими высокие места в списке основных российских корпораций. Всего таких компаний, являющихся операторами (актерами) уникальных месторождений Севера, более 20, и мы далеки от возможности рассмотреть все ВИНК в рамках данной статьи. Поэтому ниже мы попытаемся на примере типичных представителей показать некоторые тенденции «корпоративной» экономики. При этом одним из главных группировочных признаков явилось наличие сырьевой базы в регионах Севера в арктических регионах, в том числе в Мурманской обл. В табл. 4 приведены рейтинги крупных ресурсных компаний, предприятия и филиалы которых работают в АЗРФ.

Таблица 4

Рейтинг промышленных корпораций Российского Севера Арктики [7]

Акционерные общества	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	Объем реализации в 2013 г., млрд руб.	Темпы прироста, %
«Газпром»	1	1	1	1	1	5145	10.2
«Северсталь»	10	13	13	17	16	455	-3.1
«ГМК Норильский никель»	14	15	16	20	17	366	-4.8
«ФосАгро»	75	76	74	79	82	105	-0.7

Первое место среди 400 ведущих акционерных обществ России уверенно занимает ОАО «Газпром». Можно отметить, что для остальных компаний 2013 г. был не очень удачным, они окончили его с убытками вследствие падения мировых цен. Однако уже в 2014 г. на их продукцию отмечался повышенный спрос, что отразилось на всех показателях, в том числе, как будет показано в конце статьи, на уровне капитализации. Оценочная стоимость корпорации ОАО «Газпром» приближается к 130 млрд долл. при уровне рентабельности свыше 25 % годовых. Основная ресурсная база компании находится в Ямало-Ненецком автономном округе. ОАО «Газпром» является крупнейшей газовой корпорацией в мире как по объемам добычи, так и по запасам газа, его «болевым» точкой считаются высокие издержки, что, впрочем, обусловлено и объективными условиями добычи и транспортировки продукции.

На Кольском п-ове интересы ОАО «Газпром» связаны со Штокмановским месторождением, освоение которого по масштабам является крупнейшим в мире арктическим проектом (табл. 5).

Его разведанные запасы составляют 3.7 трлн м<sup>3</sup>, что способно обеспечить добычу газа практически в том же объеме, как все норвежские месторождения вместе взятые. Однако сложности его освоения, обусловленные большими глубинами (около 500 м) и удаленностью от берега (более 600 км), привели к тому, что в 2012 г. подписание инвестиционного соглашения опять было отложено на неопределенный срок. Определенную роль сыграл и проведенный в конце 2011 г. раздел спорной «серой зоны», вследствие чего Норвегия получила дополнительные потенциальные источники добычи природного газа.

Таблица 5

## Основные варианты подачи газа со Штокмановского месторождения

Показатели	Варианты	
	1-й	2-й
Добыча газа, млрд м <sup>3</sup>	71.0	71.0
Производство сжиженного природного газа, млн т	45.0	30.0
Подача газа для потребления в Мурманской обл., млрд м <sup>3</sup>	4.7	4.7
Подача в трубопровод Териберка – Волхов, млрд м <sup>3</sup>	–	22.1

Необходимо отметить, что оценочные инвестиции в освоение этого гиганта на последнем этапе превысили 70 млрд долл. (с учетом завода СПГ), что практически соответствовало вложенным во все 9 сахалинских проектов. Последние осуществлялись на основании Закона «О соглашениях о разделе продукции», по которому не менее 50 % оборудования должно было приобретаться на отечественных предприятиях. Однако как по объективным (уровень деиндустриализации отечественной промышленности), так и по субъективным (системы лоббирования) причинам ни по одному из 7 реализуемых в настоящее время проектов этот показатель не превысил 30 % [8]. Можно надеяться, что в связи с переходом к жесткой схеме импортозамещения новые арктические мегапроекты окажут более сильное влияние на развитие нашего машиностроения, следовательно, и на все смежные отрасли: металлургию, химию, электронику и т.п.

Выше уже напоминалось о влиянии санкций, не будем повторяться. Отметим только, что в связи с истощением норвежских шельфовых месторождений газа к 2030 г. Европе потребуется не менее 50 млрд м<sup>3</sup> газа дополнительно. Это может послужить катализатором к освоению дополнительных газовых ресурсов в России. Во всяком случае, по прогнозам ВР, к этому периоду экспорт газа нашими компаниями должен увеличиться более чем в полтора раза и достичь 300 млрд м<sup>3</sup> [9].

Корпорация ОАО «Северсталь», входящая в число 20 крупнейших акционерных обществ России, включает одноименное базовое металлургическое производство, расположенное в г.Череповце. Основная рудная база этого производства расположена на Кольском п-ове в виде двух горнорудных предприятий – ОАО «Оленегорский ГОК» и ОАО «Ковдорский ГОК», причем первый входит в состав корпорации. Коксующийся уголь поступает из Республики Коми. ОАО «Северсталь» располагает активами и в других сырьевых отраслях, в частности, в золотодобывающей [10].

В качестве одного из своих приоритетов ОАО «Северсталь» выдвигает развитие организационной структуры. Одним из важнейших элементов в этом процессе является аутсорсинг, в последние годы основным его объектом стало золотодобывающее подразделение Nord Gold. Доля третьего по величине золотодобытчика страны в общей выручке ОАО «Северсталь» составляла 20 % и поэтому служила своего рода хеджевым подразделением для направления черной металлургии. В 2012 г. ОАО «Северсталь» объявило о запуске процесса spin-off (отделение дочерней компании от материнской), решение было принято после того, как подразделение Nord Gold не смогло провести IPO весной 2011 г. Тогда компания оценивала себя

в 4–5 млрд долл. В марте 2012 г. ОАО «Северсталь» завершило выделение золотодобывающей компании Nord Gold, и теперь все ресурсные предприятия в составе ОАО «Северсталь» сконцентрированы исключительно на добыче угля и железной руды [11].

Региональная политика корпорации ОАО «Северсталь» обусловлена в первую очередь крупными инвестициями, имеющими и социально-экологическую направленность. Среднегодовые капитальные вложения достигают 50 млрд руб., в том числе до 20 млрд руб. расходуется на модернизацию производства и техническое перевооружение. Создан крупный исследовательский и проектно-испытательный центр в г. Череповце, в котором большое внимание уделяется повышению эффективности металлургического производства, в частности получению новых высококачественных сортов сталей и изделий из них.

ОАО «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» – крупнейшая компания страны в отрасли цветной металлургии, ее капитализация составляет более 40 млрд долл. Основная ресурсная база компании сосредоточена на п-ове Таймыр и Кольском п-ове. Она является крупнейшим в мире производителем никеля и палладия, ведущим – платины, меди и кобальта, выпускается также золото, серебро, радий и некоторые другие металлы. Региональная промышленная политика компании основана на необходимости тесной производственной кооперации, поскольку основные добывающие мощности расположены в Красноярском крае, а более половины конечной продукции производится в Мурманской обл. В 1980-е гг. это обуславливало перевозку более 1 млн т руды Северным морским путем. Совершенствование технологической цепи привело к тому, что морские грузопотоки сократились более чем в 10 раз.

В 2013 г. «ГМК Норильский никель» произвела 285 тыс. т никеля, выпуск меди увеличился с 364 до 371 тыс. т, или почти на 1.9 % [9]. В 2014 г. корпорация планировала произвести 230–235 тыс. т никеля на своих российских предприятиях и 45–50 тыс. т на зарубежных площадках. Выпуск меди ожидается на уровне 360 тыс. т [12].

Наконец, промышленность фосфоросодержащих удобрений, минерально-сырьевая база которой расположена на Кольском п-ове, представлена горно-химической корпорацией ОАО «ФосАгро», которая в 2013 г. реализовала продукции на 6.0 млрд руб. Оценочная стоимость компании достигла 4 млрд долл. при уровне рентабельности около 23 % годовых. Сырьевую основу «ФосАгро» составляют крупнейшие в мире хибинские залежи апатитовых руд, которые разрабатывает входящее в корпорацию ОАО «Апатит». Объем добычи руды на предприятии достигает почти 30 млн т при выпуске более 8 млн т апатитового концентрата. «Болевой» точкой предприятия выступают высокие производственные издержки, в том числе обусловленные постоянным ухудшением условий добычи и повышенными требованиями к технике безопасности.

В связи с этим региональная промышленная политика ОАО «Апатит» направлена на повышение технической вооруженности и гибкости производственных линий, на рост энергоэффективности производства, комплексность использования апатит-нефелиновых руд с получением продукции с высокой добавленной стоимостью. Планируется разработать технологию извлечения из апатитового концентрата редкоземельных металлов в сотрудничестве с бельгийской компанией Prayon. На создание технологии, предположительно, уйдет 4–5 лет, после чего апатитовый концентрат станет еще более востребованным и дорогим, при этом необходимо иметь в виду, что хибинская руда содержит около 40 % всех российских запасов редкоземельных элементов (более 10 % мировых) [13]. Вместе с тем, такая промышленная политика позволяет улучшать экологическую ситуацию за счет снижения вредных выбросов. 29 января 2013 г. губернатор Мурманской обл. М. Ковтун подписала Экологическую декларацию Мурманской обл.

Инвестиционные проекты ОАО «ФосАгро» во многом связаны с деятельностью ОАО «Газпром», поэтому оно обратилось с заявкой о выделении с 2015 г. дополнительных объемов газа 1.5–2.0 млрд м<sup>3</sup>. В случае положительного решения ОАО «ФосАгро» уже в 2013 г. готово приступить к производству диаммонийфосфата и других удобрений. Эта установка может стать самой эффективной в России с производительностью порядка 2.2 тыс. т в сутки [13, 14].

В 2011 г. в составе ОАО «ФосАгро» создан проектно-конструкторский центр «Горно-химический инжиниринг», совместно с научно-исследовательским институтом по удобрениям им. Я.В. Самойлова составивший мощную научно-проектную базу компании. Одна из первоочередных задач центра – модернизация Пикалевского производственного комплекса, которая направлена на увеличение мощностей по выпуску глинозема более чем в 1.5 раза – с 250 до 600 тыс. т [15].

Ресурсные корпорации в среднесрочной перспективе демонстрируют высокую устойчивость капитализации с некоторыми ее колебаниями в зависимости от стоимости продукции на мировых рынках (табл. 6). Снижение стоимости после кризиса 2009-2010 гг. наблюдалось только у ОАО «Газпром», что обусловлено неустойчивостью «украинского транзита» и огромными инвестициями в строительство «Северного» и «Южного потоков». Для справки отметим, что акции основной «голубой фишки» по торгам ММВБ – ОАО «Сбербанк» – за этот же период подешевели в полтора раза, то есть значительно больше, чем акции газового гиганта. Очень сильную положительную динамику, несмотря на все санкции, демонстрируют по отношению к 2011 г. ценные бумаги ОАО «ГМК Норильский никель» и ОАО «ФосАгро».

Таблица 6

Динамика стоимости акций ресурсных корпораций Севера Арктики, руб.

Рейтинг 2014 г.	Акционерное общество	31.12.11	30.06.12	30.01.13	31.10.13	31.10.14	01.04.15
1	«Газпром»	181	160	115	150	135	144
2	«Северсталь»	400	390	260	285	485	629
3	«ГМК Норильский никель»	5130	5400	4620	4820	9830	10092
4	«ФосАгро»	930	880	1290	990	1510	1923

Источник: официальный сайт (finam).

Можно констатировать, что применение санкций в текущем периоде (2014 г. – I квартал 2015 г.) не привело к снижению капитализации (интегрирующего показателя) рассматриваемых компаний. Что касается среднесрочной перспективы, то по импорту металлов Евразия остается крупнейшим торговым партнером РФ, а США занимает третье место (второе – Китай). Поставки в ЕС в 2014 г. обеспечили 55 % выручки «Норильского никеля» и 15 % – «Северстали». Эти компании в определенной мере зависят и от американского спроса, то есть санкции могут сказаться на объемах отечественного экспорта и на отдельных направлениях технического перевооружения. Однако, по мнению аналитиков Morgan Stanley, цены на никель вследствие таких ограничений могут вырасти на 60 %, на платину – на 16 % и на сталь – до 15 %, то есть возможное снижение производства будет в значительной мере компенсировано ростом цен [16].

Определенные проблемы, особенно первые два-три года, могут возникнуть с поставками техники и технологий. Однако они в доминирующей степени будут возмещаться производителями Китая, Южной Кореи, Сингапура и других азиатских «тигров», которые уже сейчас на равных конкурируют со «старым светом». К тому же и европейские компании в большинстве своем продолжают в той или иной мере сотрудничать с российским бизнесом, боясь окончательно потерять привлекательный рынок. Что касается средне- и долгосрочной перспективы (за пределами 2020 г.), то там уже более отчетливо проявятся технико-технологические последствия отечественной программы импортозамещения. Что касается снижения издержек производственной деятельности, то в промышленной политике корпораций оно обеспечивается принятием и реализацией многоэтапных программ, которые в современном стратегическом менеджменте рассматриваются как реальные опционы [17]. Использование такого подхода обеспечивает гибкость, преемственность и непротиворечивость технико-

технологических и организационно-экономических мероприятий, быстрое переключение на более эффективные программы с учетом изменения внешних или внутренних условий. В ресурсном секторе доминируют, как уже отмечалось, крупные вертикально-интегрированные компании, имеющие реальные возможности осуществлять долговременные инновации (в том числе управленческие), направленные на эффективный рост объемов добычи горной массы, комплексное использование минерального сырья, оптимизацию обогатительных, химических и металлургических процессов и, в конечном счете, – на снижение производственных затрат. В табл. 7 приведены некоторые из таких программ.

Таблица 7

Направления внедрения программ модернизации в ресурсных корпорациях

Факторы управления	Стратегические программные мероприятия	Ресурсные компании (ОАО)
<b>1. Увеличение добычи минерального сырья</b>		
1.1. Освоение новых участков недр	Ввод в эксплуатацию новых производственных мощностей	«ГМК Норильский никель»; «Северсталь»; «АК Алроса»
1.2. Снижение потерь при добыче	Изменение технологических режимов	«ФосАгро»; «МХК ЕвроХим»
<b>2. Увеличение объемов товарной продукции</b>		
2.1. Рост коэффициента извлечения полезных компонентов	Строительство, модернизация и реконструкция обогатительных, химических металлургических цехов	«ФосАгро»; «ГМК Норильский никель»; «Газпром»
2.2. Рост коэффициента извлечения и числа видов товарной продукции за счет создаваемых активов	Приобретение новых компаний и активов	«Северсталь»; «ГМК Норильский никель»
2.3. Рост товарной продукции и коэффициента извлечения за счет КИМС	Освоение техногенных месторождений	ОАО «ФосАгро»; ОАО «МХК ЕвроХим»
<b>3. Снижение затрат на производство и объем</b>		
3.1. Интеграция компаний	Связанная диверсификация путем слияний и поглощений	«Северсталь»
3.2. Совершенствование организационной и производственной структуры	Применение новых видов организации, аутсорсий	«ФосАгро»; «Северсталь»; «ГМК Норильский никель»; «НОВАТЭК»
3.3. Внедрение технических и технологических инноваций	Новые технические средства и технологические режимы на всех стадиях передела	«ФосАгро»; «Северсталь»; «ГМК Норильский никель»
3.4. Формирование корпоративной информационной системы	Разработка и реализация проектов корпоративной информационной системы во всех структурных звеньях	«ФосАгро»
<b>4. Управление ценами</b>		
4.1. Внедрение управленческих (включая маркетинговые) инноваций, совершенствование ценовой политики на всех уровнях	Применение долгосрочных контрактов, скидок и премий, методик трансфертного ценообразования. Создание центров ответственности	«Северсталь»; «ГМК Норильский никель»; «ФосАгро»

Проведенный краткий анализ экономики арктических регионов и ресурсных корпораций позволяет выделить следующие ее основные особенности, в т.ч. региональной направленности:

- расположенные в Арктической зоне субъекты Российской Федерации показывают устойчивые темпы экономического развития, обеспечивая около 5 % ВВП страны при удельном весе населения менее 2 %;
- в последние годы наблюдается негативная тенденция отставания темпов роста реальных доходов населения от среднероссийских, что противоречит роли этого макрорегиона в национальной экономике и стратегическим интересам России в Арктике;
- примененные Западом санкции в отношении российской промышленности даже в текущем и среднесрочном периодах с высокой степенью вероятности не будут иметь серьезных, а тем более катастрофических последствий для промышленного комплекса Севера;
- сырьевые ресурсы являются одним из важнейших конкурентных преимуществ нашей экономики, поэтому их освоение должно не противопоставляться инновационному типу развития, а активно с ним сочетаться в рамках государственной промышленной политики;
- «ресурсные» звенья корпораций расположены преимущественно в районах Севера и Арктике, что обуславливает повышенные производственные издержки, снижение которых является одной из основных задач региональной промышленной политики;
- в среднесрочной перспективе ресурсные компании имеют значительно различающиеся приоритеты в структурно-организационном, имущественном и других аспектах, что влияет на территориальное размещение активов, капитальные вложения и на экономический потенциал соответствующих регионов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.В. Арктика: новый вектор развития // Арктика. Экология и экономика. 2011. № 1. С. 20–25.
2. Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года»: постановление Правительства РФ № 366 от 21 апр. 2014 г. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_162195/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162195/).
3. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: указ Президента РФ № 296 от 2 мая 2014 г. URL: <http://президент.рф/документы/20895>.
4. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2014: стат. сб. / Росстат. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/dbinet.cgi?pl=2340036>.
5. Симония Н. Сланцевый газ лучше добывать в стране, которую не жалко. URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx> (дата обращения: 25.12.2014).
6. Преодоление разногласий в вопросах безопасности в 2015 году. Позиции экспертов России, США и ЕС. URL: [http://www.russianconcil.ru/inner/?id\\_4=5539](http://www.russianconcil.ru/inner/?id_4=5539) (дата обращения: 30.03.2015).
7. 400 крупнейших компаний России // Эксперт. 2011. № 39(772); 2012. № 39(821); 2013. № 40(870); 2014. № 43(861).
8. Девять сахалинских проектов // ТЭК России. 2014. № 8. С. 16–27.
9. Рюль Х. ВР: прогноз развития мировой энергетики до 2030 года // Вопросы экономики. 2014. № 5. С. 109–127.
10. Селин В.С., Цукерман В.А. Инновационное развитие России и ресурсно-сырьевой комплекс Севера // Модернизация, инновации, развитие. 2013. № 4. С. 61–67.
11. ПАО «Северсталь». URL: [http://www.severstal.com/rus/about/company\\_profile/index.phtml](http://www.severstal.com/rus/about/company_profile/index.phtml) (дата обращения: 19.01.2015).
12. Годовой отчет ОАО «ГМК Норильский никель» за 2013 г. URL: <http://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=564&type=2> (дата обращения: 19.01.2015).
13. Ларичкин Ф.Д., Воробьев А.Г., Новосельцева В.Д. Конъюнктура производства и потребления фосфатного сырья и удобрений // Горн. журн. 2013. № 7. С. 41–44.
14. Павлов К.В., Селин И.В. Товарная и инновационная политика в сфере производства минеральных удобрений // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. № 6(147). С. 13–19.
15. Презентация перспектив // Кировский рабочий. 2014. № 48. С. 4.
16. Последствия санкций против России для горно-металлургических компаний и ценообразования на глобальных сырьевых рынках. URL: <http://www.minexrussia.com/2014/ru/opinion-effect-of-sanctions/> (дата обращения: 25.03.2015).
17. Цукерман В.А. Концептуальные основы инновационного промышленного развития Севера и Арктики // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2012. № 3. С. 139–143.

#### Сведения об авторах

*Селин Владимир Степанович* – д.э.н., профессор, главный научный сотрудник Института экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН;

e-mail: [selin@iep.kolasc.net.ru](mailto:selin@iep.kolasc.net.ru)

*Вышинская Юлия Владимировна* – младший научный сотрудник Института экономических проблем им. Г.П. Лузина НЦ РАН; e-mail: [yulya@iep.kolasc.net.ru](mailto:yulya@iep.kolasc.net.ru)

УДК 519.673: 004.9

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В КЛАССЕ ФОРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ\*

**А.Я. Фридман**

Институт информатики и математического моделирования КНЦ РАН

### Аннотация

Рассматриваются вопросы моделирования сложных динамических объектов (СДО) в слабо формализованных предметных областях. Для предложенной ранее ситуационной концептуальной модели подобных объектов разработана интерпретация в классе семиотических формальных систем, что позволяет интегрировать различные средства исследования СДО, обеспечив совместную логико-аналитическую обработку данных и ситуационный анализ состояния изучаемого объекта с применением экспертных знаний и учетом пространственно-временных зависимостей в характеристиках СДО, выполняемые с использованием картографической информации.

### Ключевые слова:

*концептуальная модель, пространственный динамический объект, семиотическая формальная система.*



### Введение

В настоящей работе рассмотрены вопросы моделирования СДО в слабо формализованных предметных областях. Помимо структурной сложности, особенность СДО состоит в том, что результаты их функционирования существенно зависят от пространственных характеристик составных частей и от времени.

При моделировании СДО необходимо учитывать разнообразные информационные, финансовые, материальные, энергетические потоки, предусматривать анализ последствий изменения структуры объекта, возможных критических ситуаций и т.п. Принципиальная неполнота знаний о подобных объектах ограничивает применимость классических аналитических моделей и определяет ориентацию на использование опыта экспертов, что, в свою очередь, связано с созданием соответствующих средств формализации экспертных знаний и их встраиванием в систему моделирования. Поэтому в современном моделировании значительно возросла роль такого понятия, как концептуальная модель предметной области (КМПО) [1, 2]. Основа КМПО – не алгоритмическая модель передачи и преобразования данных, как в аналитических моделях, а декларативное описание структуры объекта и взаимодействия его составных частей. Таким образом, КМПО изначально ориентирована на формализацию знаний экспертов. В КМПО определяются элементы исследуемой предметной области и описываются отношения между ними, которые задают структуру и причинно-следственные связи, существенные в рамках определенного исследования [3, 4].

Представленная в данной работе ситуационная система моделирования (ССМ) [5] на основе древовидной ситуационной концептуальной модели (СКМ) есть один из вариантов

---

\* Работа частично поддержана грантами РФФИ (проекты № 13-07-00318-а, № 14-07-00256-а, № 14-07-00257-а, № 14-07-00205-а, № 15-07-04760-а, № 15-07-02757-а).

реализации технологий типа CASE (Computer Aided Software Engineering) и RAD (Rapid Application Development).

### Семиотические формальные системы

Основное достоинство логических исчислений в качестве модели представления и обработки знаний заключается в наличии единообразной формальной процедуры доказательства теорем. Однако оно влечет за собой и основной недостаток данного подхода – сложность использования при доказательстве эвристик, отражающих специфику конкретной проблемной среды [6]. Это особенно важно при построении экспертных систем, вычислительная мощность которых в основном определяется знаниями, характеризующими специфику предметной области. К другим недостаткам формальных систем следует отнести их *монотонность* (невозможность отказаться от заключений, если становится истинным дополнительный факт, и в этом смысле они отличаются от рассуждений на основе здравого смысла), отсутствие средств для структурирования используемых элементов и недопустимость противоречий.

Стремление устранить недостатки формальных систем при их использовании в искусственном интеллекте привело к появлению *семиотических систем*, формализуемых восьмеркой [6]:

$$S ::= \langle B, F, A, R, Q(B), Q(F), Q(A), Q(R) \rangle. \quad (1)$$

Символом ::= здесь и далее обозначается равенство по определению. При необходимости используются также другие символы языка БНФ (металингвистических формул Бэкуса-Наура).

В (1) первые четыре компонента те же, что и в определении формальной системы [6], а остальные компоненты – правила изменения первых четырех компонентов под влиянием накапливаемого в базе знаний опыта о строении и функционировании сущностей в данной проблемной среде. Теория подобных систем находится на начальной стадии развития, но существует много примеров решения конкретных задач в рамках этой парадигмы. Ниже описывается один из таких примеров.

### Основы ситуационного моделирования

При постановке задачи и подготовке процесса моделирования КМПО предназначена для представления знаний о структуре исследуемой предметной области. Для элементов КМПО существует соответствие между собственно объектом реального мира и его модельным представлением. В обеспечение возможности автоматизации последующих этапов моделирования осуществляется отображение модели предметной области на адекватную ей формальную систему. Этот переход реализуется в ходе построения КМПО путем задания каждому ее элементу некоторого формального описания. В результате, завершение построения КМПО будет соответствовать переходу от неформальных знаний об исследуемой предметной области к их формальному представлению, допускающему только однозначную процедурную трактовку. Полученная формальная модель носит декларативный характер, так как в ней описывается в первую очередь состав, структура и отношения между объектами и процессами, независимо от конкретного способа их реализации в компьютере.

Декларативный язык описания СКМ [5] состоит из двух частей: части, соответствующей объектам описываемого мира, и части, соответствующей отношениям и атрибутам представленных в модели объектов. В качестве математической основы декларативного языка использована аксиоматическая теория множеств.

В СКМ описываются три вида элементов (сущностей) реального мира – объекты, процессы и данные (или ресурсы). Объекты отображают организационную и пространственную структуру объекта исследования, с каждым из них может быть связан набор процессов. Под процессом понимается некоторое действие (процедура), преобразующее подмножество данных, называемых входными по отношению к рассматриваемому процессу, в другое их подмножество,

именуемое выходным. Данные характеризуют состояние системы. Они используются при реализации процессов, служат результатами их выполнения. Выполнение любого процесса изменяет данные и соответствует переходу системы из одного состояния в другое. Взаимосвязи и взаимодействие объектов реального мира описывается в модели с помощью отношений, задаваемых на множествах объектов, процессов и данных. Каждое отношение связывает элемент модели с некоторым множеством других элементов.

Имена элементов СКМ даются в терминах предметной области. Каждому элементу модели назначается исполнитель, обеспечивающий его реализацию в ходе моделирования. Тип исполнителя определяет характеристики реализации, например, язык программирования, на котором пишется исполнитель соответствующего процесса, и тип исполнителя в алгоритмическом языке.

Атрибуты, описывающие тип отношения иерархии [4], конкретизируют представление объектов модели на следующем, нижнем уровне иерархии. Тип отношения «композиция» (&) определяет, что объект строится агрегацией его подобъектов. Тип «классификация» (v) указывает, что объект верхнего уровня есть обобщение группы объектов нижнего уровня. Отношение типа «классификация» в СКМ используется для представления различных вариантов элемента верхнего уровня. Тип «итерация» (\*) позволяет определять в СКМ итеративные процессы и описывать регулярные структуры данных.

В зависимости от типа отношения иерархии объекту назначается управляющее данное. Управляющие данные используются для доопределения структуры процессов, имеющих тип отношений иерархии «классификация» или «итерация», и данных, имеющих иерархическое отношение типа «итерация».

Формальное представление СКМ дает возможность существенно автоматизировать анализ корректности структуры и разрешимости СКМ [3–5].

Важный аспект эффективности СКМ состоит в удобстве представления результатов моделирования. В настоящее время наиболее перспективной средой для компьютеризованного исследования объектов класса СДО считается географическая информационная система (ГИС) [7]. Кроме продвинутых способов визуализации и графической обработки данных, инструментальные средства ГИС в принципе позволяют ставить задачи для пространственно координированных расчетов в дружественной к пользователю графической среде, хотя это требует дополнительных разработок программного обеспечения. Кроме того, ГИС-пакеты не рассчитаны на анализ динамики объекта и серьезную математическую обработку данных.

Еще одно достоинство ГИС в рамках рассматриваемой задачи заключается в том, что с каждым графическим элементом можно связать дополнительные поля БД, доступные для модификации внешними вычислительными модулями, в отличие от графических атрибутов. В частности, в этих полях можно хранить атрибуты концептуальной модели, относящихся к заданному элементу, и другие параметры, необходимые для организации и проведения моделирования.

Таким образом, каждый цикл расчетов в ходе моделирования включает три стадии: задание условий расчета, собственно расчет и вывод результатов. Неформальная цель разработки СКМ заключается в автоматизации всех этих стадий с обеспечением максимального сервиса непрограммирующему пользователю, то есть с использованием терминологии предметной области и дружественного интерфейса пользователя с компьютером. По тем же соображениям ССМ должна быть функционально полной, то есть предоставлять пользователю все нужные ему средства без явного выхода в другие программные среды. Создание специализированных графических библиотек и средств генерации отчетов потребовало бы неоправданных затрат на программирование и значительно удлинило сроки разработки. Поэтому представляется целесообразным компромиссное решение: возложить задачи вывода данных на стандартные пакеты или специализированные программные модули, но в максимальной степени автоматизировать их работу, исключив диалог с пользователем в их среде.

### Формальное описание СКМ

СКМ базируется на представлении объекта моделирования в виде древовидного И-ИЛИ графа, отображающего иерархическую декомпозицию структурных элементов СДО в соответствии с их организационными связями.

Чтобы избежать вычислительных проблем, связанных с малыми изменениями данных, и обеспечить поддержку совместной расчетно-логической обработки данных, в СКМ выходными данными процедур обработки (исключение составляют данные, вычисляемые ГИС) могут быть только данные с дискретным конечным множеством значений (типа списков). Если значения некоторого данного есть строковые константы, то такое данное называется параметром (категория PAR), а имеющее числовые значения именуется переменной (категория VAR), и над ним можно выполнять определенные математические операции. Если результат вычислений представляет собой значение переменной, он округляется до ближайшего значения из списка допустимых значений. В дальнейшем, если сказанное относится к данным любого разрешенного в СКМ типа, употребляется термин «данное». Таким образом, множество имен *данных* делится на множества имен *переменных и параметров*:

$$\begin{aligned} D &::= \langle Var, Par \rangle, \quad Var ::= \{var_i\}, \quad i = \overline{1, N_v}; \\ Par & ::= \{par_j\}, \quad j = \overline{1, N_p}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $N_v$  и  $N_p$  – мощности этих множеств.

Данные моделируют ресурсы (количественные характеристики) объектов или процессов (категория RES), переменные могут также использоваться как настроечные параметры функций (критериев) качества функционирования элементов СКМ (категория ADJ). Соответственно, множество имен переменных делится на подмножество имен *ресурсов* элементов СКМ и подмножество имен *настроечных параметров* критериев качества этих элементов:

$$Var ::= \langle Res, Adj \rangle \quad (3)$$

Отдельную категорию (категию GIS) составляют графические характеристики объектов СКМ, непосредственно вычисляемые в ГИС. Все они относятся к переменным, но не рассматриваются как списки, так как используются только как входные ресурсы элементов модели и не меняются в ходе имитации.

Объекты СКМ имеют три основные характеристики: имя, функциональный тип, который определяет структуру и функции объекта и используется в процессе анализа корректности СКМ, и имя суперобъекта, доминирующего данный объект в СКМ (отсутствует для объекта верхнего уровня). По положению в дереве объектов и на карте выделяются три категории объектов СКМ: примитивы (категория LEAF), структурно неделимые с точки зрения глобальной цели моделирования, элементарные объекты (категория GISC), географически связанные с одним ГИС-элементом (полигоном, дугой или точкой какого-либо покрытия), и составные объекты (категория COMP), состоящие из элементарных и/или составных объектов. Структура объектов категории GISC в СКМ может быть достаточно сложной, но все их подобъекты имеют одну и ту же географическую привязку. Множество объектов образует иерархию:

$$O = \{o_{\beta\alpha}^\gamma\} ::= \sum_{\alpha=1}^{N_L} O_\alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha = \overline{1, N_L}$  – номер уровня дерева объектов, к которому относится данный объект ( $L$  – общее количество уровней декомпозиции);

$v_\alpha = \overline{1, N_{v_\alpha}}$  – порядковый номер объекта на его уровне декомпозиции;

$\gamma = \overline{1, N_{\gamma-1}}$  – порядковый номер суперобъекта, доминирующего заданный элемент на вышележащем уровне;

$O_\alpha$  – множество объектов, принадлежащих уровню с номером  $\alpha$ .

Для обеспечения связности СКМ принимается, что существует единственный суперобъект, доминирующий все объекты первого уровня декомпозиции, то есть справедливо соотношение:

$$O_1 ::= \{o_{\beta_1}^0\} \quad \beta_1 = \overline{1, N_1}. \quad (5)$$

Процессы в СКМ отображают преобразования данных и реализуются различными способами в зависимости от присвоенной процессу одной из трех следующих категорий: внутренние процессы (категория INNER), все их входные и выходные данные относятся к одному объекту; внутриуровневые процессы (категория INTRA), связывающие объекты СКМ, не подчиняющиеся друг другу; межуровневые процессы (категория INTER), описывающие передачу данных между объектом и подобъектами или между объектом и суперобъектом. Введенное категорирование процессов несколько усложняет процесс создания СКМ (в некоторых случаях может потребоваться создавать фиктивные процессы, обеспечивающие такую типизацию), но позволяет сделать процедуры формального контроля СКМ значительно более полными и детальными.

Основные характеристики процессов: уникальное имя, характеристика исполнителя процесса и функциональный тип процесса, который определяет тип преобразований, им осуществляемых, и используется в процессе анализа корректности СКМ; дополнительно используются список входных и выходных данных и их допустимых граничных значений. Исполнитель процесса специфицирует его динамические свойства и способ реализации в компьютере. Исполнитель можно задать либо непосредственно (в виде разностного уравнения), либо косвенно – ссылкой на имя реализующего этот процесс программного модуля.

Схема концептуальной модели образуется кортежем:

$$S_{\text{СКМ}} ::= \langle O, P, D^{\text{CM}}, H, OP, PO, U \rangle, \quad (6)$$

где  $O$  – множество объектов КМПО (9);

$$P ::= \{p_n\}, \quad n = \overline{1, N_p} \text{ – множество процессов КМПО;}$$

$D^{\text{CM}} \subseteq D$  – множество данных концептуальной модели, где  $D$  определено в (4), (5);

$H$  – отношение иерархии объектов, которое с учетом (4) и (5) примет вид:

$$H = \sum_{\alpha=1}^{N_{L-1}} H_{\alpha},$$

где  $H_{\alpha} \subseteq O_{\alpha-1} \times B'(O_{\alpha})$  – отношения иерархии для каждого из уровней дерева объектов, причем  $B'(O_{\alpha})$  есть разбиение множества  $O_{\alpha}$ ;

$OP \subseteq O \times B(P)$  – отношение «объект – порождающие его выходные данные процессы», причем  $B(P)$  есть разбиение множества  $P$ ;

$PO \subseteq P \times B(O)$  – отношение «процесс – создающие его входные данные объекты»;

$U ::= U_p \cup U_o$  – отношение, формализующее управление процессом вычислений на основе СКМ, имеет составляющие следующего вида:

$U_p \subseteq P \times B(\text{Res})$  – отношение «процесс – управляющее данное»;

$U_o \subseteq O \times B(\text{Res})$  – отношение «объект – управляющее данное».

Отношение «объект (процесс) – управляющее данное» ставит в соответствие некоторому объекту (процессу) модели данное, которое доопределяет этот объект при переходе к алгоритмической интерпретации. Передача данных между объектами осуществляется только через списки входных и выходных данных этих объектов, что согласуется с принципами инкапсуляции данных, принятыми в современном объектно-ориентированном программировании. Все процессы, приписанные к одному объекту, описываются отношением  $OA \subseteq O \times B(P)$  «объект – приписанные к нему процессы». Это отношение не входит в схему

СКМ, поскольку, в отличие от отношений  $H$ ,  $OP$  и  $PO$ , не задается пользователем при конструировании модели, а формируется автоматически.

Отношения, определенные в модели, удобно представлять в форме функций (7), частично определенных на множествах  $O$  и  $P$ , с областями значений  $B(P)$ ,  $B(O)$  или  $B'(O_\alpha)$ . Названия функций обозначены строчными символами, соответствующими прописным символам в названиях отношений:

$$\begin{aligned}
 h_\alpha &: O_{\alpha-1} \rightarrow B'(O_\alpha), (\forall o_j \in O_\alpha, \forall o_i \in O_{\alpha-1}) ((o_j = h_\alpha(o_i)) \Leftrightarrow o_j H_\alpha o_i); \\
 op &: O \rightarrow B(P), (\forall o_i \in O, \forall p_j \in P) ((p_j = op(o_i)) \Leftrightarrow o_i OP p_j); \\
 po &: P \rightarrow B(O), (\forall o_i \in O, \forall p_j \in P) ((o_i = po(p_j)) \Leftrightarrow p_j PO o_i); \\
 oa &: O \rightarrow B(P), (\forall o_i \in O, \forall p_j \in P) ((p_j = oa(o_i)) \Leftrightarrow o_i OA p_j); \\
 u_p &: P \rightarrow B(Res), (\forall p_i \in P, \forall res_j \in Res) ((res_j = u_p(p_i)) \Leftrightarrow p_i U_p res_j); \\
 u_o &: O \rightarrow B(Res), (\forall o_i \in O, \forall res_j \in Res) ((res_j = u_o(o_i)) \Leftrightarrow o_i U_o res_j).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Множества значений функций (7), формирующие сечения областей значений введенных отношений по некоторому элементу областей их определения, обозначаются жирным шрифтом:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{h}_\alpha(o_i) &::= \{p_j : o_j = h_\alpha(o_i)\}; \quad \mathbf{op}(o_i) ::= \{p_j : p_j = op(o_i)\}; \\
 \mathbf{po}(p_j) &::= \{o_i : o_i = po(p_j)\}; \quad \mathbf{oa}(o_i) ::= \{p_j : p_j = oa(o_i)\}; \\
 \mathbf{u}_p(p_i) &::= \{res_j : res_j = u_p(p_i)\}; \quad \mathbf{u}_o(o_i) ::= \{res_j : res_j = u_o(o_i)\}.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Аналогично (8) записываются сечения введенных отношений по подмножествам их областей определения, строящихся как объединения всех сечений по элементам этих подмножеств. Например,  $\mathbf{h}_\alpha(O_i)$ , где  $O_i \subseteq O_{\alpha-1}$ , есть множество объектов уровня  $\alpha$ , доминируемых данным подмножеством объектов  $o_i \in O_i$ , которые находятся на уровне  $\alpha - 1$ .

Ниже также используется множество подчиненности объекта  $o_i$   $\mathbf{h}^\alpha(o_i) ::= \bigcup_{\alpha \leq k \leq L} \mathbf{h}_k^\alpha(o_i)$ .

Разработанные алгоритмы присвоения категорий элементам СКМ используют вышеописанные отношения и выявляют все возможные ошибки категоризирования элементов модели [5]. Процедуры контроля правильности назначений исполнителей элементов СКМ используют следующие ограничения (доказательства даны в [5]).

*Теорема 1.* В конечной СКМ не может иметь места рекурсивная декомпозиция типов исполнителей объектов, то есть ни один объект, входящий во множество подчиненности некоторого объекта, не может иметь исполнителя того же типа, что и исходный объект.

*Теорема 2.* В конечной СКМ не может иметь места инверсия подчиненности исполнителей объектов, то есть ни один объект, входящий во множество подчиненности некоторого объекта с исполнителем типа  $e_1$ , не может иметь исполнителя того же типа, что и любой другой объект, во множестве подчиненности которого содержится какой-либо объект с исполнителем типа  $e_1$ .

### Принципы контроля разрешимости СКМ

Выполненное согласно принятым в ССМ правилам построение корректной модели еще не гарантирует, что эта модель разрешима, то есть можно решить все задачи, в ней декларированные. Под разрешимостью в общем случае понимается достижимость некоторого подмножества объектов модели, которые определяются как целевые, из другого подмножества объектов, которые определяются как исходные. Разрешимость может рассматриваться в двух основных аспектах: при анализе всей модели в целом (до начала расчетов) она подразумевает согласованность и однозначность описания всех допустимых вариантов достижения глобальной цели на различных уровнях иерархии, а в процессе

реализации моделирования разрешимость состоит в обеспечении выбора корректного фрагмента модели, описывающего изучаемую ситуацию. Функциональное различие между перечисленными аспектами состоит в том, что при анализе всей модели оценивается только потенциальная возможность моделирования всех описанных в модели объектов, а при анализе конкретной ситуации дополнительно ставятся задачи выбора минимального фрагмента, описывающего эту ситуацию, и количественного сопоставления возможных альтернатив, в ней содержащихся. Второй аспект разрешимости исследуется в [5], здесь же представлены особенности анализа разрешимости СКМ в целом, который автоматически проводится после завершения контроля ее корректности, а по требованию пользователя может быть выполнен в любое время. В общем случае, задачу анализа разрешимости можно сформулировать в следующем виде: указывается два множества элементов модели – исходное и целевое, при этом модель разрешима, если существует последовательность шагов, позволяющая получить целевое множество из исходного. Для этого пригодны простые волновые алгоритмы [4].

При анализе обоих аспектов разрешимости концептуальная модель рассматривается как формальная система. В ее алфавит входят:

символы, обозначающие элементы модели ( $p_i, o_n, res_j, \dots$ );

функциональные символы, описывающие отношения и связи между элементами модели ( $h_\alpha, op, \dots$ );

специальные и синтаксические символы ( $=, (, \Rightarrow, \dots$ ).

Множество формул в рассматриваемой формальной системе образуют:

собственно символы, обозначающие элементы КМПО:

$$\{p_i \in P\} \cup \{o_j \in O\} \cup \{res_k \in D^{CM}\}; \quad (9)$$

выражения (7), (8) и другие формулы для вычисления функций и множеств, определяемых с помощью отношений, которые введены над множествами (5);

выражения вычислимости для каждого процесса концептуальной модели:

$$list\_in(p_i) \setminus list\_out(p_i), \mathbf{u}_p(p_i) [, s(p_i)] \Rightarrow p_i, list\_out(p_i), \quad (10)$$

где в силу принятого в ССМ предположения об автономности структуры каждого объекта во множество  $s(p_i)$  процессов, предшествующих  $p_i$ , могут входить только процессы, приписанные к тому же объекту:

$$s(p_i) \subset \mathbf{oa}(\mathbf{oa}^{-1}(p_i)); \quad (11)$$

выражения вычислимости для каждого объекта концептуальной модели:

$$list\_in(o_i), \mathbf{u}_p(o_i), \mathbf{oa}(o_i), \mathbf{h}(o_i) \Rightarrow o_i, list\_out(o_i); \quad (12)$$

выражения вычислимости входных данных каждого объекта концептуальной модели, получающего материальные ресурсы от других объектов ( $o_i: \mathbf{oo}(o_i) \neq \emptyset$ ):

$$\mathbf{oo}(o_i) \Rightarrow list\_in(o_i). \quad (13)$$

В выражения (9)–(13) входят только материальные ресурсы, то есть в них не анализируются выходные данные процессов настройки и обратной связи, относящиеся к информационным ресурсам СКМ. Кроме того, вычислимость определенных в предпосылках этих выражений множеств констатируется при условии вычислимости всех элементов указанных множеств.

Дополнительного обоснования требует первая предпосылка предложения (10). Как известно, при наличии циклов по ресурсам в предметной области могут появляться данные, которые при построении концептуальной модели должны декларироваться как входные и выходные для некоторого процесса КМПО одновременно. По принятому в ССМ предположению такие циклы вносятся внутрь объектов КМПО, то есть должны учитываться при анализе разрешимости на уровне процессов.

Если при анализе разрешимости СКМ использовать выражение вычислимости, предложенное в [4] и принимающее для СКМ вид:

$$list\_in(p_i) \& \mathbf{u}_p(p_i) [\& s(p_i)] \Rightarrow p_i \& list\_out(p_i), \quad (14)$$

то в модель нельзя будет включать ресурсы, служащие одновременно входными и выходными данными одного и того же процесса, то есть описывать часто встречающиеся на практике рекуррентные процессы вычислений. Выход из положения дает приведенная ниже теорема, доказанная в работе [5].

*Теорема 3.* Ресурс, одновременно входной и выходной для одного и того же процесса СКМ и не являющийся выходным ни для одного из предшествующих ему процессов, связанных с указанным процессом отношением порождения процессов (13), можно исключить из левой части предложения вычислимости без нарушения корректности анализа разрешимости модели.

Во множество аксиом рассматриваемой формальной системы входят:

аксиомы вычислимости всех ресурсов, относящихся к внешним данным (имеющим исполнителей типа DB, GISE или GEN)

$$\vdash \text{res}_j : (t_{er}(\text{res}_j) = \text{DB}) \vee (t_{er}(\text{res}_j) = \text{GISE}) \vee (t_{er}(\text{res}_j) = \text{GEN}); \quad (15)$$

аксиомы вычислимости всех ГИС-элементов СКМ (типы которых начинаются символами dot, pol или arc)

$$\vdash o_j : (t_o(o_j) \in \text{dot}) \vee (t_o(o_j) \in \text{pol}) \vee (t_o(o_j) \in \text{arc}), \quad (16)$$

где символом  $\in$  условно обозначено вхождение стандартных ГИС-типов в функциональный тип объекта.

В рассматриваемой формальной системе заданы два правила вывода:

правило непосредственного следования –

$$F_1, F_1 \Rightarrow F_2 \vdash F_2; \quad (17)$$

правило следования с равенством –

$$F_1, F_1 = F_2, F_2 \Rightarrow F_3 \vdash F_3, \quad (18)$$

где  $F_i$  – некоторые формулы из (9)–(13).

Структура описанной формальной системы аналогична структуре системы, предложенной в [8]. Существенное отличие – вид выражений вычислимости (10), (12), (13) и состав аксиом, на основе которых проводится анализ разрешимости концептуальной модели.

Совершенство представленных в СКМ знаний о предметной области может быть признана корректной, если на различных уровнях иерархии в концептуальной модели действительно представлены взаимосогласованные спецификации объектов и процессов, обеспечивающих корректное порождение ресурсов для функционирования объектов вышележащих уровней. Соответствие спецификаций на всех уровнях ведет к тому, что концептуальная модель полностью характеризует корневой объект, соответствующий глобальной задаче, которую решает система в целом. Концептуальная модель разрешима [8], если в соответствующей ей формальной системе существует вывод каждой теоремы вычислимости из множества аксиом и других теорем.

*Определение 1.* СКМ разрешима тогда и только тогда, когда для каждого элемента модели, не входящего во множество аксиом, применение выражений вычислимости вида (10), (12), (13) к аксиомам и уже доказанным формулам (множеству теорем  $T$ ) позволяет построить вывод с применением правил (17), (18) из множества аксиом ( $A$ ) формальной системы (9)–(13).

При анализе разрешимости, который, согласно определению 1, представляет собой разновидность методов автоматического доказательства теорем, используется понятие «механизм вывода», в данном случае оно понимается как способ, алгоритм применения правил вывода (17), (18), обеспечивающий эффективное доказательство всей требуемой совокупности формул из множества  $T$  теорем (то есть синтаксически правильно построенных формул) рассматриваемой формальной системы. Наиболее простой способ организации вывода – «поточковый» механизм, при котором множество считающихся доказанными формул  $A'$ , вначале равное множеству аксиом ( $A' = A$ ), расширяется в результате применения правил вывода [4, 8]. Если по истечении некоторого времени  $T \subseteq A'$ , то модель разрешима, если это неверно и не удастся применить ни одно из правил, то СКМ неразрешима.

В качестве стратегии доказательства, используемой при анализе концептуальной модели общего вида, предложена стратегия снизу-вверх [5], состоящая в циклическом выполнении следующих этапов.

Этап I. Применяется правило (17) для получения всех возможных следствий из формул и аксиом.

Этап II. Применяются правила (17), (18) для получения всех возможных следствий из аксиом и полученных на предыдущем этапе доказательства формул.

Этап III. Применяется правило (13) для расширения списка считающихся вычислимыми объектов.

Доказано, что для построенных по описанным выше правилам корректных концептуальных моделей анализ разрешимости модели в целом сводится к анализу разрешимости отдельных входящих в ее состав шаблонов процессов категории INTRA и процессов агрегирования [5].

### **Обработка ситуаций**

В теории ситуационного управления [6] отмечается принципиальная важность разработки процедур обобщения описаний ситуации на основе их классификации с использованием множества прагматически важных признаков, которое само подлежит синтезу. К фундаментальным особенностям формирования понятий и классификации в ситуационном управлении отнесены:

- наличие процедур обобщения, основанных на структуре отношений между элементами ситуаций;
- возможность работы с именами отдельных понятий и ситуаций;
- необходимость согласования классификации ситуаций по некоторому основанию с классификацией на множестве воздействий (управлений).

Для реализации перечисленных принципов классификации и обобщения ситуаций в ССМ предусмотрен ряд программных средств:

- аппарат синтеза и анализа типов ситуаций, в частности, оптимальных достаточных ситуаций, ориентированный на решение вопросов координации и согласования управляющих воздействий на различных уровнях СКМ;
- инструментальные средства порождения и проверки гипотез о сравнительных характеристиках достаточных ситуаций в рамках вероятностной интерпретации этих гипотез с учетом влияния инструментальных погрешностей исходных данных на результаты моделирования;
- процедуры обобщения описаний ситуаций с учетом пространственно-временных отношений между элементами ситуаций, использующие библиотеку пространственно-временных функций (ПВФ).

*Синтез и анализ типов ситуаций.* В результате классификации ситуаций по разработанным для ССМ алгоритмам [5] генерируется большое количество классов ситуаций, полученных для различных объектов принятия решений (ОПР) и различных листовых объектов фрагментов. С целью аккумуляции знаний о результатах классификации в ССМ предлагается использовать средства обобщения описаний ситуаций по синтезированным типам этих ситуаций. Этот способ конкретизирует общие рекомендации по построению иерархического описания ситуаций в системах ситуационного управления [6]. Аналогично описанию полной ситуации обобщенное описание каждой достаточной ситуации строится на основе перечисления входящих в нее листовых объектов и ОПР, что однозначно ее определяет ввиду древовидности декомпозиции объектов СКМ. Для синтеза обобщенного описания ситуации на первом уровне иерархии описаний применяется та же процедура, которая обеспечивает генерирование типов исполнителей объектов по типам приписанных к ним процессов [5]. Исходные данные в ней – типы листовых объектов и ОПР исследованных достаточных ситуаций, а результат работы –

уникальный тип достаточной ситуации, дополненный порядковым номером ее класса и ее номером в этом классе. В отличие от лексикографического порядка, который используется при генерации типов исполнителей объектов, здесь типы объектов, входящих в ситуацию, упорядочиваются по их положению в дереве объектов (4). Порядковый номер класса определяется номером ресурса, доминирующего в этом классе, согласно списку выходных ресурсов ОПР, а порядковый номер ситуации в пределах класса задается ее предпочтительностью [5]. Оптимальная достаточная ситуация данного класса получает номер 1. Абсолютной шкалой классификации ситуаций естественно считать их классификацию по глобальному критерию качества, то есть по принадлежности к тому или иному классу ситуаций, обеспечивающих доминирование одного из выходных параметров глобального объекта СКМ по обобщенным затратам [5], которые рассчитаны по критерию качества ОПР этой достаточной ситуации. Первым ключом при построении типа ситуации выбран ее порядковый номер в пределах класса, затем идет номер ОПР, затем – индексы типов списка листовых объектов, а в конце – номер класса. Описанный порядок индексации использован для удобства формирования запросов типа: «Найти среди оптимальных достаточных ситуаций некоторого заданного уровня ситуацию, составляющую подграф такой-то глобальной оптимальной ситуации», которые типичны при решении задач координации управлений на различных уровнях принятия решений.

Задача обобщения описаний ситуаций в ССМ на основе типов ситуаций включает два основных этапа: поиск общих признаков ситуаций, попавших в один класс для каждого исследованного фрагмента КМПО, и поиск вхождений ситуаций в ситуации более высоких уровней (высота уровня здесь задается уровнем нахождения ОПР). Общая схема рассуждений при обобщении вполне вписывается в идеологию ДСМ-метода [9]. Однако программная реализация ДСМ-метода в ССМ потребовала бы весьма значительных объемов программирования, поэтому был применен вероятностный механизм вывода, реализованный в оболочке ОЭС ССМ [5], то есть вместо оценок обоснованности тех или иных гипотез, вычисляемых согласно ДСМ-методу, использованы специальные функции пересчета условных вероятностей причинно-следственных связей между конфигурациями достаточных ситуаций и результатами их классификации.

Как следует из изложенного способа типизации ситуаций в ССМ, описания достаточных ситуаций, классифицированных по одному фрагменту КМПО, качественно различаются списками своих листовых объектов, которые все вместе образуют разбиение множества листовых объектов использованной при построении фрагмента полной ситуации. Поэтому при обобщении их описаний в основном применяются метод сходства и метод различия, причем в качестве предпосылок используются подстроки конкатенации типов листовых объектов. Результаты обобщения формируются в виде двух наборов правил, в первый включаются положительные примеры, во второй – отрицательные. По формулам, аналогичным пересчету априорных вероятностей в апостериорные [10], наличие положительных примеров приводит к повышению условной вероятности соответствующего правила, причем степень увеличения пропорциональна порядковым номерам ситуаций, использованных в данном примере, а наличие отрицательных примеров в той же степени уменьшает условную вероятность правила. После окончания первого этапа обобщения отбраковываются правила с вероятностью меньше 0.5.

На втором этапе обобщения отыскивается сходство между ситуациями различных уровней. Применяется тот же механизм обобщения, но синтезируемые правила отражают условные вероятности появления достаточных ситуаций нижних уровней декомпозиции в составе достаточных ситуаций более высоких уровней и, в частности, глобальных достаточных ситуаций путем оценки частоты вхождения типов нижележащих ситуаций в типы вышележащих. Таким образом делается попытка сопоставить между собой классы ситуаций, составленные для ОПР различных уровней, что при достаточном количестве обучающих примеров позволяет составить

иерархическую классификацию достаточных ситуаций с указанием ситуаций, оптимальных для перевода объекта в некоторое состояние из заданного класса.

Еще одна группа правил ориентирована на оценку эффективности заложенных в КМПО альтернатив. Идея поиска заключается в следующем: степень эффективности той или иной альтернативы (как для процессов, так и для объектов) тем выше, чем шире набор классов ситуаций, в которые попадают достаточные ситуации с различными вариантами данной альтернативы. И обратно: если ни один из имеющихся вариантов выбора не меняет класс достаточной ситуации, то данная альтернатива не предлагается пользователю при расширении минимальных полных ситуаций, по крайней мере, для того же самого ОНР, что позволяет ускорить процесс классификации ситуаций. С другой стороны, желательно уметь заранее определять тот набор свойств, которыми обладают самые «радикально действующие» альтернативы, а точнее, несколько наборов – для каждого потенциально желательного варианта изменения областей доминирования.

Все полученные в ходе обобщения правила (по терминологии ситуационного управления они относятся к логико-трансформационным правилам) хранятся в ЭС ССМ и используются как управляющие формулы в процессе классификации ситуаций. Следует отметить еще одну особенность разработанного вероятностного механизма вывода – возможность снизить влияние погрешностей исходных данных на результаты обобщения ситуаций путем учета вероятности ошибочного отнесения ситуации к тому или иному классу. Рассмотрим основную идею его применения для повышения достоверности обобщения ситуаций.

При классификации достаточных ситуаций некоторого фрагмента СКМ могут возникать ошибки из-за структурной неустойчивости процесса вычисления затрат при их передаче между элементами модели. Например, если в КМПО допускаются циклы по ресурсам, то при изменении текущего значения какого-либо участвующего в цикле ресурса класс достаточной ситуации, где рассчитываются затраты по этому ресурсу, может значительно измениться, что, по мнению автора, нарушает устойчивость процедур классификации и обобщения. Такие ситуации предлагается отбраковывать из процедур обобщения, для чего в ССМ рекомендуется применять процедуры проверки зависимости результатов от возможных погрешностей моделирования. Если при анализе влияния погрешностей моделирования для некоторого ресурса СКМ выявлено превышение доли изменения затрат на выходе ОНР по сравнению с долей тестового изменения текущего значения ресурса, такой ресурс рассматривается как недостоверный, вероятность сбоя при его использовании для классификации принимается пропорциональной степени упомянутого превышения. Если вероятность сбоя превышает заданное пороговое значение (по умолчанию используется пороговая вероятность 0.3), то данный ресурс исключается из процедур классификации. В противном случае классификация ситуаций все же проводится, но с учетом вероятности сбоев, что в принципе приводит к снижению контрастности процедур классификации и, как следствие, к снижению вероятности включения ситуаций с участием недостоверного ресурса в категорию оптимальных или весьма предпочтительных.

*Анализ пространственно-временных зависимостей.* Работа с пространственно-временными зависимостями осуществляется с помощью библиотеки пространственно-временных функций (ПВФ) – программных модулей, обеспечивающих выборку из соответствующих баз исходных данных (БИД) релевантной информации для текущего запроса, занесение этой информации в основную БД и ее обработку для принятия решения об истинности или ложности условия, формирующего запрос. Поэтому в общем случае программа каждой ПВФ включает три части: драйвер БИД, организующий интерфейс основной БД и БИД, программу записи результатов запроса в основную БД и программу интерпретации результатов запроса. При этом изменение предметной области приводит к необходимости модифицировать только драйверы БИД.

Все ПВФ имеют выход логического типа, то есть возвращают ответ «да» или «нет» в результате анализа входящего в них логического условия. Разработаны два вида временных и три вида пространственных функций.

Временная функция ИНТЕРВАЛ поддерживает выборку ретроспективных данных за некоторый промежуток времени, ее синтаксис таков:

в\_течение (<условие>,<начало>,<конец>,<доля>), (19)

где <условие> может иметь вид:

<имя> <знак> <подпись значений ( $n$ )>, (20)

оно определяет контролируемую характеристику элемента массива;

<начало> и <конец> задают соответственно начальный и конечный моменты интервала проверки (их отстояние в прошлое от текущего момента времени);

<доля> определяет минимальный допустимый процент (количество) элементов среди всех анализируемых, которые должны удовлетворять <условию>, чтобы функция (19) дала утвердительный ответ на запрос.

Если введено нулевое значение параметра <начало>, проводится анализ всей имеющейся информации до момента времени <конец>. Аналогично, при нулевом значении параметра <конец>, анализируются данные от момента <начало> до текущего момента времени. При совпадении величин <начало> и <конец> рассматривается только один момент времени в прошлом.

Следующая функция позволяет провести временную привязку хранимых данных к заданному в запросе моменту времени:

момент (<условие>,<время>,<доля>), (21)

где <условие> и <доля> формируются аналогично функции (19), а <время> – фиксированный момент времени, для которого производится операция.

Пространственные функции записываются в форме:

соседние (<условие>,<доля>) (22)

и

сходные (<условие>,<доля>,<параметры сходства>). (23)

Параметры <условие> и <доля> задаются как в функциях (19), (21); различие между видами пространственных функций заключается в критерии отбора элементов для совместного анализа: в функции (22) анализируются элементы, примыкающие к текущему геометрически, в функции (23) отбираются элементы, имеющие одинаковые с текущим элементом значения <параметров сходства>, выбираемых из списка имен существующих параметров и переменных. Например, в приложении ССМ к задаче прогнозирования горных ударов <параметр сходства> имел имя «разлом» и использовался для совместного анализа характеристик элементов объекта, принадлежащих к тектоническому разлому.

Функция БЛИЖАЙШИЙ предназначена для определения объекта, имеющего наиболее близкие пространственные координаты к заданным. Функция возвращает утвердительный ответ, если координаты объекта попадают в заданную окрестность. Функция имеет следующий вид:

ближайший (<условие>,<координаты>,<допуск>), (24)

где параметр <условие> имеет уже описанный смысл, параметр <координаты> описывает пространственные характеристики точки привязки, параметр <допуск> задает допустимое удаление по пространственным координатам от указанной точки.

ПВФ можно использовать только в частях ЕСЛИ правил и управляющих формул ЭС. Так как все ПВФ имеют выход логического типа, допускается однократная вложенность различных ПВФ друг в друга, то есть запросы вида

соседние (сходные (<условие>,<доля1>,<параметры сходства>),<доля2>). (25)

При этом драйвер БИД генерирует запрос, по которому вначале отбираются элементы, удовлетворяющие самой внутренней ПВФ, затем из них отбираются удовлетворяющие более внешней, и т.д. Характеристики отобранных элементов переписываются в БД (эта информация используется в режиме объяснения), интерпретатор вычисляет выходное значение ПВФ, которое заносится в базу правил. Вложенные запросы представляют наибольший интерес, так как

позволяют путем комбинирования ПВФ оценивать совместно пространственные и временные характеристики исследуемого объекта.

Описанные выше ПВФ обеспечивают анализ достаточно широкого класса пространственно-временных соотношений между характеристиками элементов объекта экспертизы, однако в зависимости от специфики предметной области возможна разработка и других ПВФ.

В отличие от правил, генерируемых при обобщении ситуаций по их типам, правила обобщения рассматриваемой здесь группы относятся не к ситуации в целом, а к отдельным объектам, процессам или даже ресурсам СКМ. В слоты ПВФ <условие> и <параметры сходства> можно включать логические условия и различные характеристики элементов СКМ, в том числе типы и категории этих элементов. В ССМ не предусмотрено автоматических процедур генерации подобных правил, они конструируются пользователем, и вероятности в них пересчитываются в ходе классификации аналогично изложенному выше.

### Заключение

На основе введенных формальных определений различных видов ситуаций, возникающих при моделировании СДО, разработана его иерархическая модель, включающая: формальную систему – СКМ и интегрированную с ней ЭС – со множеством базовых элементов (7)–(10), набором синтаксических правил порождения одних элементов СКМ другими в виде отношений типа (7), (8), системой аксиом (15), (16) и правилами вывода (17), (18), а также правила изменения компонентов этой формальной системы в зависимости от целей моделирования и сложившейся на объекте исследования ситуации, задаваемые посредством выбора соответствующих фрагментов СКМ и управления выводом в ЭС ССМ. СКМ относится к семиотическим (знаковым) моделям, поскольку в ней разработаны три группы логико-трансформационных правил – пополнения, классификации и обобщения ситуаций.

Отличия предложенной модели состоят в интеграции средств, ориентированных на исследование СДО, что обеспечивает совместную логико-аналитическую обработку данных и ситуационный анализ состояния изучаемого объекта с применением экспертных знаний и учетом пространственно-временных зависимостей в характеристиках СДО, выполняемых с использованием картографической информации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин И.А., Путилов В.А., Фильчаков В.В. Распределенная обработка информации в научных исследованиях. Л.: Наука, 1991. 304 с.
2. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных. М.: Финансы и статистика, 1985. 420 с.
3. Самарский А.А. Введение в численные методы. М.: Наука, 1987. 288 с.
4. Бржезовский А.В., Фильчаков В.В. Концептуальный анализ вычислительных систем. СПб.: ЛИАП, 1991. 78 с.
5. Фридман А.Я. Ситуационное управление структурой промышленно-природных систем. Методы и модели. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 530 с.
6. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
7. Митчел Э. Руководство ESRI по ГИС-анализу. 1999. Т. 1. 190 с.
8. Концептуальное моделирование информационных систем / под ред. В.В. Фильчакова. СПб.: СПВУРЭ ПВО, 1998. 356 с.
9. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах / сост. Е.С. Панкратова, В.К. Финн. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 528 с.
10. Darwiche A. Modeling and Reasoning with Bayesian Networks. Cambridge University Press, 2009. 526 p.

### Сведения об авторе

Фридман Александр Яковлевич – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института информатики и математического моделирования КНЦ РАН;  
e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru

УДК 621.311.1:658.26

**РАЗРАБОТКА НОВОЙ СТРУКТУРЫ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 6, 10 кВ**

**А.Е. Веселов, А.С. Карпов, В.В. Ярошевич, Г.П. Фастий, Е.А. Токарева**  
Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН

**Аннотация**

Предложены и всесторонне проанализированы принципиально новые схемы распределительных сетей 6 (10) кВ с параллельной работой секций сборных шин. Рассмотрены варианты включения токоограничивающих устройств в цепи связи секций, позволяющие улучшить качество электроэнергии и ограничить токи короткого замыкания в промышленных электрических сетях.

**Ключевые слова:**

*система электроснабжения, распределительная электрическая сеть, сборные шины, трансформаторные подстанции, токоограничивающие устройства, качество электроэнергии.*

Параллельная работа трансформаторов или секций сборных шин на главных понизительных подстанциях (ГПП) напряжением 6-10 кВ через шиносоединительные токоограничивающие устройства (ТОУ) является одним из главных направлений совершенствования режимов и технико-экономических характеристик систем электроснабжения (СЭ) в нормальном режиме при сохранении на приемлемом уровне токов короткого замыкания (КЗ).

Параллельная работа секций шин оптимизирует работу высоковольтной сети в целом:

1) снижается в нормальном режиме сопротивление цепей питания и, следовательно, уменьшаются отклонения и колебания напряжения, уровни напряжения высших гармоник и обратной последовательности;

2) появляются возможности значительного снижения мощности устройств, предназначенных для улучшения качества электроэнергии при наличии резкопеременной, нелинейной и несимметричной нагрузок;

3) происходит улучшение условий пуска и самозапуска электродвигателей, что повышает надежность электроснабжения;

4) загрузка трансформаторов более равномерна, что снижает в них активные потери;

5) снижаются отношения максимальной нагрузки трансформаторов к их средней (эффективной) нагрузке;

6) сохраняется бесперебойное электроснабжение при потере питания или кратковременном понижении напряжения на вводе к отдельной секции.

Реализация указанных преимуществ связана с затратами на ТОУ, поэтому в каждом конкретном случае необходимо технико-экономическое обоснование такого мероприятия. В случаях, когда за счет применения ТОУ достигается более высокий уровень ограничения токов КЗ, следует учитывать возможность снижения затрат на коммутационную аппаратуру.

На ГПП могут быть установлены один или два трансформатора, причем в последнем случае для повышения надежности электроснабжения они обычно подключаются к шинам высокого напряжения (ВН), получающим питание от различных частей энергосистемы. Допустимость параллельной работы секций сборных шин различных трансформаторов должна рассматриваться и согласовываться с энергосистемой в каждом конкретном случае, поскольку при этом могут возникнуть нежелательные уравнивающие токи через трансформаторы, нарушения функционирования устройств релейной защиты и автоматики. При параллельной работе двух

секций сборных шин, подключенных к обмоткам отдельного трансформатора непосредственно или через сдвоенный реактор, таких проблем не возникает.

На рис. 1 приведена схема понизительной двухтрансформаторной подстанции с четырьмя секциями сборных шин и двумя ТОУ, установленными для соединения на параллельную работу расщепленных обмоток отдельных трансформаторов. Показаны связи между секциями шин различных трансформаторов с нормально разомкнутыми выключателями, которые включаются при потере питания одного из трансформаторов. Подключение ТОУ непосредственно на шины обмоток низкого напряжения трансформатора до вводных выключателей секций обеспечивает нормальное функционирование схемы после отключения одной из секций сборных шин.

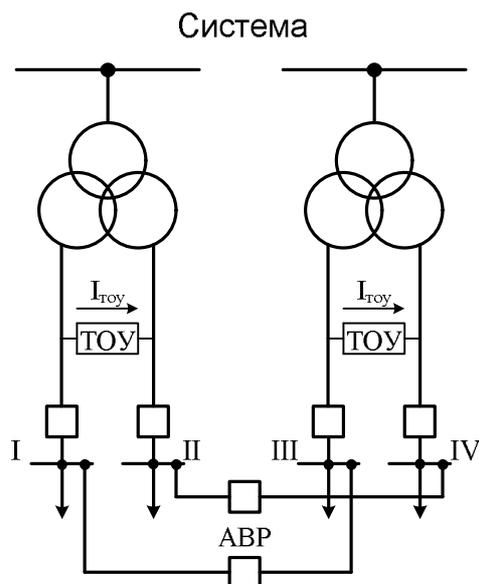


Рис. 1. Двухтрансформаторная подстанция с параллельной работой через ТОУ расщепленных обмоток трансформатора

Требуемая проходная мощность ТОУ может быть оценена по максимально возможному перетоку, протекающему через цепь с ТОУ при небалансе нагрузок секций. При одинаковых нагрузках переток равен  $I_{\text{ТОУ}} = 0$ , при отличающихся нагрузках  $I_{\text{ТОУ}} = 0.5 \cdot (I_1 - I_2)$ , и он максимален при наибольшей возможной нагрузке одной секции и нулевой на другой:  $I_{\text{ТОУ расч}} = 0.5 \cdot I_{\text{секц макс}}$ .

В послеаварийном режиме при отказе одного из трансформаторов и срабатывании автоматического включения резерва (АВР) возможна достаточно длительная 40 %-я перегрузка трансформатора ( $I_T = 1.4 \cdot I_{\text{ном}}$ ), поэтому можно принять  $I_{\text{секц макс}} = 0.7 \cdot I_{\text{T ном}}$  и  $S_{\text{ТОУ ном}} = 0.35 \cdot S_{\text{T ном}}$ . Без учета перегрузки ТОУ, в послеаварийном режиме, достаточно иметь  $S_{\text{ТОУ ном}} = 0.25 \cdot S_{\text{T ном}}$ .

В схеме рис. 1 уровни токов КЗ зависят от токоограничивающих характеристик ТОУ, обеспечивающих быстрый разрыв цепи после возникновения аварии. Например, если применяется тиристорный выключатель с блоком искусственной коммутации (ТВ с ИК), реакторно-тиристорные устройства (РТУ), то токи, отключаемые выключателями аварийной секции, соответствуют раздельной работе секций. Ударные значения токов КЗ могут превышать их значения при раздельной работе. Это зависит от того, как суммируются токи, текущие от трансформатора, от двигательной нагрузки (если она имеется) и ТОУ. При применении в качестве ТОУ тиристорных выключателей с искусственной коммутацией или жидкометаллических предохранителей-токоограничителей (ЖМТ) токоограничение и разрыв цепи обычно оканчивается к моменту формирования ударного тока секции ( $\Delta t = 0.01$  с), увеличение ударного тока отсутствует.

Токоограничивающие устройства типа РТУ, хотя и имеют несколько затянутый процесс токоограничения, не более чем на 10 % увеличивают ударное значение аварийного тока секции.

При раздельной работе секций для коммутирующей аппаратуры в схеме СЭ (рис. 1) могут быть рассчитаны аварийные токи КЗ. При этом пересмотр традиционных решений в области релейной защиты и автоматики СЭ не требуется. Для более глубокого ограничения тока КЗ с сохранением того же качества напряжения в нормальном режиме можно применить предложенные в [1] схемы СЭ, содержащие в цепях связи обмоток трансформаторов и секций сборных шин сдвоенные реакторы (СР) (рис.2а и б) или двухобмоточные реакторы-трансформаторы с большим коэффициентом электромагнитной связи между обмотками (рис. 2в).

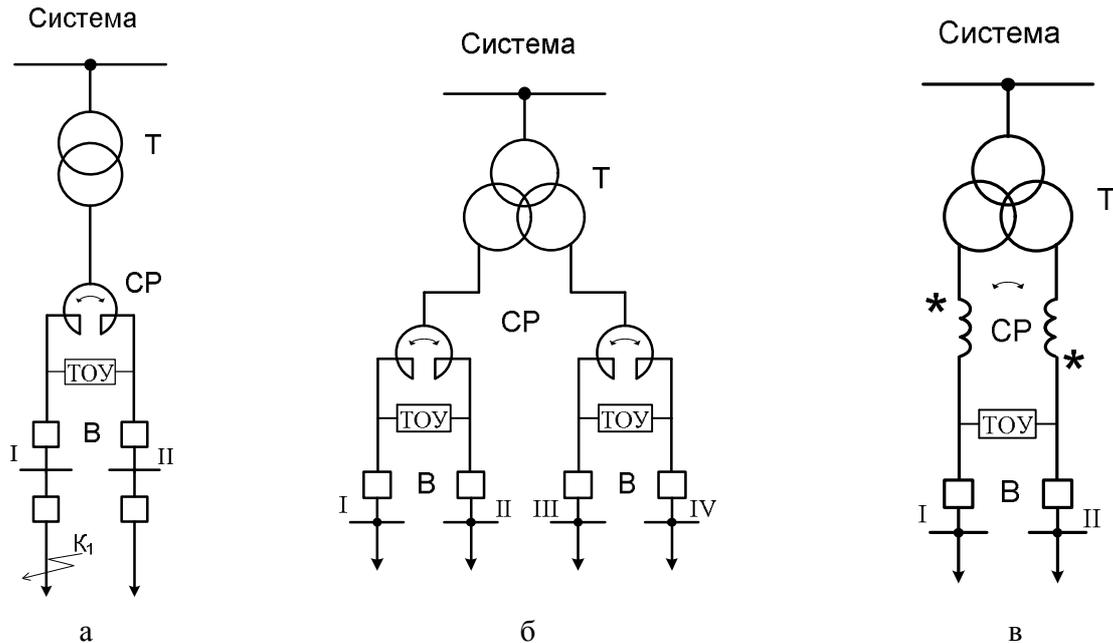


Рис. 2. Системы электроснабжения со специальными реакторами в цепи питания и ТОУ

Соединение плечей сдвоенного реактора через ТОУ делает токи в них одинаковыми, что позволяет сопротивление цепи питания в нормальном режиме, например, для схемы рис. 2а, записать:

$$X_{\text{норм. п}} = X_c + X_T + 0.5 \cdot (1 - k_{\text{св}}) \cdot X_{\text{СР}},$$

где  $X_c$ ,  $X_T$ ,  $X_{\text{СР}}$  – индуктивное сопротивление системы питания (обычно  $X_c \ll X_T$ ), трансформатора и одного плеча СР соответственно. Благодаря встречной намотке витков в сдвоенном реакторе при реально достижимых коэффициентах электромагнитной связи  $k_{\text{св}} = 0.95$  вносимое СР в цепь сопротивление становится весьма малым. На реакторе не будет падения напряжения и потерь реактивной мощности.

При КЗ разрыв цепи с ТОУ увеличивает сопротивление цепи питания  $X_{\text{КЗ}}$  до значения  $X_{\text{ав}} = X_c + X_T + X_{\text{СР}}$ , что при реальных значениях  $X_{\text{СР}} = (1.0 \dots 1.5) \cdot X_T$  позволяет более чем в два раза уменьшить токи КЗ.

В случае применения трансформатора с расщепленными обмотками схему рис. 2б целесообразно заменить на схему рис. 2в, в которой вместо СР включается двухобмоточный трансформатор с идентичными и встречно включенными обмотками (реактор-трансформатор РТ). В нормальном режиме здесь также нет дополнительного реактирования цепи питания при тесной электромагнитной связи обмотки РТ, а в режиме КЗ имеем сопротивление  $X_{\text{РТ ав}} = X_c + 1.875 \cdot X_T + X_{\text{РТ}}$ ,

которое заметно превышает сопротивление  $X_{СР\ ав}$  при  $X_{СР} = X_{РТ}$ . Увеличение сопротивления  $X_T$  в 1.875 раза принято в соответствии с расчетами для реального коэффициента расщепления обмоток выпускаемых трансформаторов  $k_p = 3.5$ .

Для всех схем рис. 2 при разрыве цепи с ТОУ в аварийных режимах КЗ возникают перенапряжения на неаварийных секциях. Они максимальны при отсутствии нагрузки на неаварийной секции и тем выше, чем больше величины  $X_{СР}$  и  $X_{РТ}$ , а также  $k_{св}$ . Выполненные исследования [1] показали, что при сопротивлениях  $X_{СР}$  и  $X_{РТ}$ , меньше 15 %, и  $k_{св} < 0.9$  кратковременные перенапряжения в течение режима КЗ ( $\Delta t = 0.1 - 0.3$  с) не превышают  $1.35 U_{ном}$ , что можно считать допустимым.

Параллельная работа через ТОУ секций сборных шин 6–10 кВ двух и более трансформаторов, выводы которых подключены к одной точке энергосистемы, не вызывает принципиальных затруднений. Возможные варианты включения ТОУ на двухтрансформаторной подстанции показаны на рис. 3. В схеме рис. 3б для соединения четырех секций применены три ТОУ (четыре ТОУ при кольцевой схеме соединения секций). Если число соединяемых параллельно секций больше двух, целесообразно применение ТОУ с тиристорными ключами или быстродействующими выключателями на присоединениях к секциям и с общим для всех присоединений токоограничивающим элементом, например, групповые реакторно-тиристорные ТОУ. Условно такое соединение показано на рис. 3в.

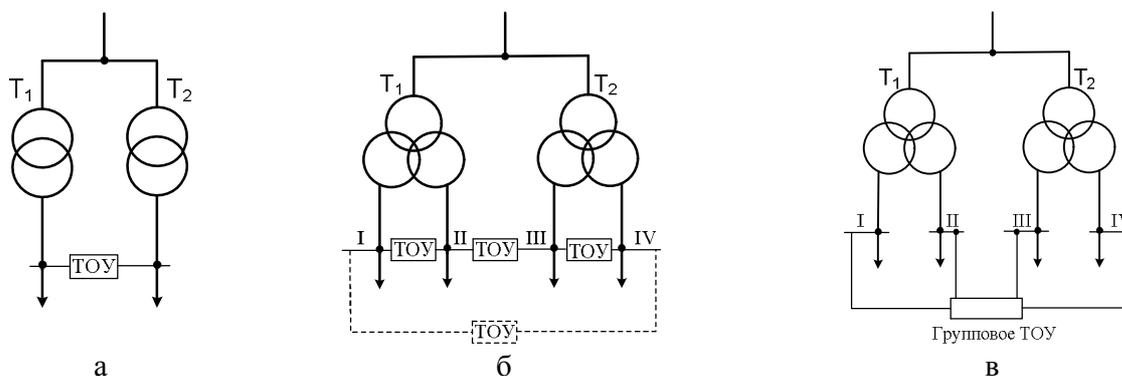


Рис. 3. Схемы включения токоограничивающих устройств на 2-трансформаторных подстанциях:  
а – схема для типовой подстанции; б, в – схемы для подстанции с 4 системами сборных шин

Параллельная работа через ТОУ на напряжении 6–10 кВ двух и более однотипных трансформаторов, питающихся от разных точек энергосистемы, затруднена, как уже указывалось выше, опасностью появления уравнивающих токов при неравенстве модулей и фаз векторов напряжения на стороне ВН. Применительно к расчетной схеме рис. 4 ток  $I_{ур}$  может быть выражен ( $Z_{ТОУ} = 0$ ):

$$I_{ур} \cong \frac{|\Delta U_{12}|}{X_{T1} + X_{T2}},$$

где  $|\Delta \dot{U}_{12}| = \sqrt{\Delta U^2 + (U_1 \cdot \text{tg} \delta_U)^2}$ .

При  $X_{T1} = X_{T2} = 0.1$  о.е.,  $U_1 = 1.0$  и  $\delta_U = 0$  имеем  $I_{ур} = 5 \Delta U$ , т.е. при  $\Delta U = 2$  %-й уравнивающий ток равен 10 % номинального тока трансформатора. При  $\Delta U = 0$  и  $\delta_U \neq 0$   $I_{ур} \cong 5 \text{tg} \delta_U \cong 5 \delta_U$ , (рад), т.е. уже при  $\delta_U = 0.02$  рад (1.15°) имеем  $I_{ур} = 0.1 I_{T\text{ ном}}$ .

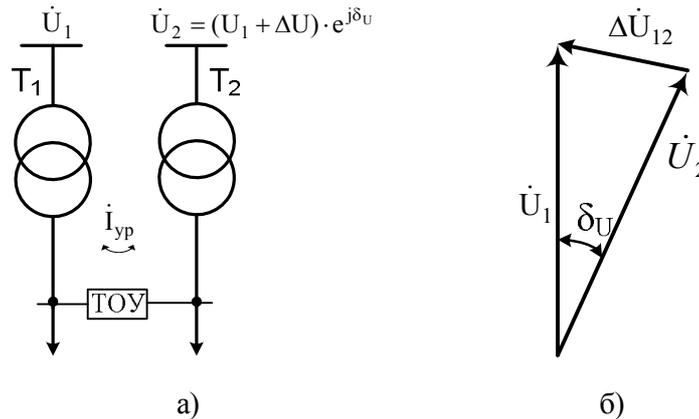


Рис. 4. Расчетная схема для определения уравнивающих токов (а) и векторная диаграмма напряжений (б)

Составляющие уравнивающих токов, обусловленные неравенством модулей напряжений, можно частично устранить путем переключения отпаяк одного из трансформаторов, оборудованных устройством регулирования под нагрузкой (РПН). Для компенсации углового сдвига требуются трансформаторы с продольно-поперечным регулированием напряжения. Указанные соображения должны учитываться при принятии решения об установке шиносоединительных ТООУ на двухтрансформаторных подстанциях.

На номинальном напряжении 0.38 кВ распределяется около 80 % мощности, потребляемой в промышленности и в быту. В то же время нельзя признать, что применяемые схемы распределения энергии на этом напряжении совершенны и не могут быть улучшены с целью снижения затрат на их сооружение и потерь активной мощности, а также для повышения качества электроэнергии [2–9].

В настоящее время повсеместно практикуется раздельная работа трансформаторов 6–10/0.4 кВ в нормальных режимах. Причиной этого является стремление ограничить уровни токов КЗ, упростить выполнение защиты сети при КЗ, выполнить гальваническую развязку систем сборных шин, применить более дешевые автоматы. Однако раздельная работа трансформаторов приводит к таким негативным последствиям, как их неравномерная и низкая загрузка, неудовлетворительное в ряде случаев качество напряжения из-за маломощности сети 0.38 кВ.

Требование неполной загрузки трансформаторов 6–10/0.4 кВ заложено в нормах проектирования. Согласно «Инструкции...» [10], при значительном количестве потребителей I категории подстанции выполняются преимущественно двухтрансформаторными с АВР на шинах 0.4 кВ из расчета загрузки трансформаторов в нормальном режиме на 0.65–0.75 %, чтобы кратковременно обеспечить питание всех потребителей при выходе из строя одного из трансформаторов. В случае питания нагрузок II категории и возможности быстрого использования централизованного резерва трансформаторов для их замены при авариях допускается применение однострановых подстанций с загрузкой трансформаторов до 90–95 %. Однако на практике средняя загрузка трансформаторов в промышленности не превышает 30 %, что обусловлено неизбежными ошибками прогнозирования нагрузки при проектировании, тенденциями совершенствования технологии и, соответственно, расхода электроэнергии. Отключение части ненагруженных трансформаторов при существующих принципах построения сетей затруднено.

Эта проблема вновь привлекает внимание к пересмотру норм проектирования в направлении создания предпосылок для полного использования установленной мощности трансформаторов в максимальных режимах и экономии тем самым материальных и трудовых ресурсов, затрачиваемых на излишнюю трансформаторную мощность [11].

Исходя из опыта проектирования и эксплуатации промышленных распределительных электрических сетей разработаны «Рекомендации по проектированию внутрицехового электроснабжения с параллельной работой трансформаторов», согласно которым признано целесообразным рассредоточивать трансформаторы 6–10/0.4 кВ по площади цеха и соединять их друг с другом по кратчайшему расстоянию через магистрально-распределительные шинопроводы (ШМА) так, чтобы они создавали схему сети 0.38 кВ типа «кольцо» или «разомкнутое кольцо». Количество трансформаторов в замкнутой системе электроснабжения (ЗСЭ) должно быть не менее трех, чтобы отказ одного из них не приводил к недопустимой перегрузке оставшихся в работе трансформаторов. Желательна параллельная работа однотипных трансформаторов и осуществление их питания от одного источника 6–10 кВ (шины ГПП) во избежание протекания через сеть ЗСЭ уравнительных токов.

Согласно выполненным оценкам, применение параллельной работы цеховых трансформаторов позволяет на 25–30 % уменьшить их суммарную установленную мощность за счет использования более высокого коэффициента загрузки при параллельной работе и меньшей требуемой резервной мощности на случай выхода из строя одного из них, а также снижения суммарной нагрузки из-за несовпадения максимумов нагрузок в зонах обслуживания отдельных трансформаторов. В ЗСЭ качество напряжения выше, увеличивается надежность срабатывания автоматов при однофазных КЗ, появляется возможность отключения части ненагруженных трансформаторов при одно- и двухшвенных режимах работы промышленного предприятия. Сооружение замкнутых систем электроснабжения позволяет также избежать негативных последствий от неизбежных ошибок на стадии проектирования в определении расчетной нагрузки предприятия, поскольку при выявлении излишней запроектированной мощности, в процессе выхода объекта на фактическую нагрузку, ее можно не вводить и передать на другие объекты.

Пример схемы системы электроснабжения промышленного предприятия с двумя отдельно работающими секциями сборных шин на ГПП и с двумя ЗСЭ 0.4 кВ, подключенными к этим секциям, показан на рис. 5. Нагрузка 0.4 кВ распределяется от магистрально-распределительных шинопроводов, образующих кольцевую сеть, и частично от шин комплектной трансформаторной подстанции (КТП). Подключение замкнутой системы электроснабжения к ГПП может быть выполнено, как показано на рис. 5, одним многоамперным или несколькими кабелями. В цепях магистральных шинопроводов используется только один автомат А<sub>Ш</sub>. Потребители I категории, которые обычно составляют небольшую долю нагрузки, подключены к отдельному РП, имеющему питание от двух различных замкнутых систем.

В ЗСЭ точкой с наибольшим ожидаемым током КЗ являются шины 0.4 кВ КТП. При отдельной работе трансформаторов расчетные токи при максимально ожидаемой мощности КЗ на шинах 6–10 кВ  $S_{КЗ} = 500$  МВ·А не превышают 16, 25, 38 кА для КТП с трансформаторами мощностью 630, 1000 и 1600 кВ·А соответственно. В замкнутых системах за счет подпитки точки КЗ через шинопроводы от соседних КТП расчетные токи увеличиваются. Их предельные значения для КТП указанных типов могут быть приняты на уровне 100 кА для ударного тока, что соответствует предельно допустимому значению для ошиновки КТП и приемлемо для применяемой коммутационной аппаратуры 0.4 кВ.

При расчете КЗ в сети 0.4 кВ, как известно, необходим учет всех активных и реактивных сопротивлений цепи КЗ, включая сопротивления контактных соединений, катушек автоматов.

Следует также обратить внимание на то, что неучет сопротивлений системы  $X_c = \frac{U_{ном}^2}{S_{КЗ}}$ ,

при ожидаемом уровне ударного тока КЗ порядка  $i_y = 100$  кА приводит к завышению тока на 7 и 18 % при  $S_{КЗ} = 500$  и 200 МВ·А соответственно.

В замкнутых системах с трансформаторами  $S_{Т ном} = 630–1600$  кВ·А следует использовать шинопроводы новой конструкции типа ШМА-4 на номинальный ток 1250 и 1600 А. Их погонные параметры составляют соответственно  $Z = (0.034 + j \cdot 0.016)$  мОм/м и  $Z = (0.015 + j \cdot 0.026)$  мОм/м.

Существенно большие погонные сопротивления имеют применяемые в сетях 0.4 кВ на отдельных участках со сложным профилем трассы одножильные многоамперные кабели.

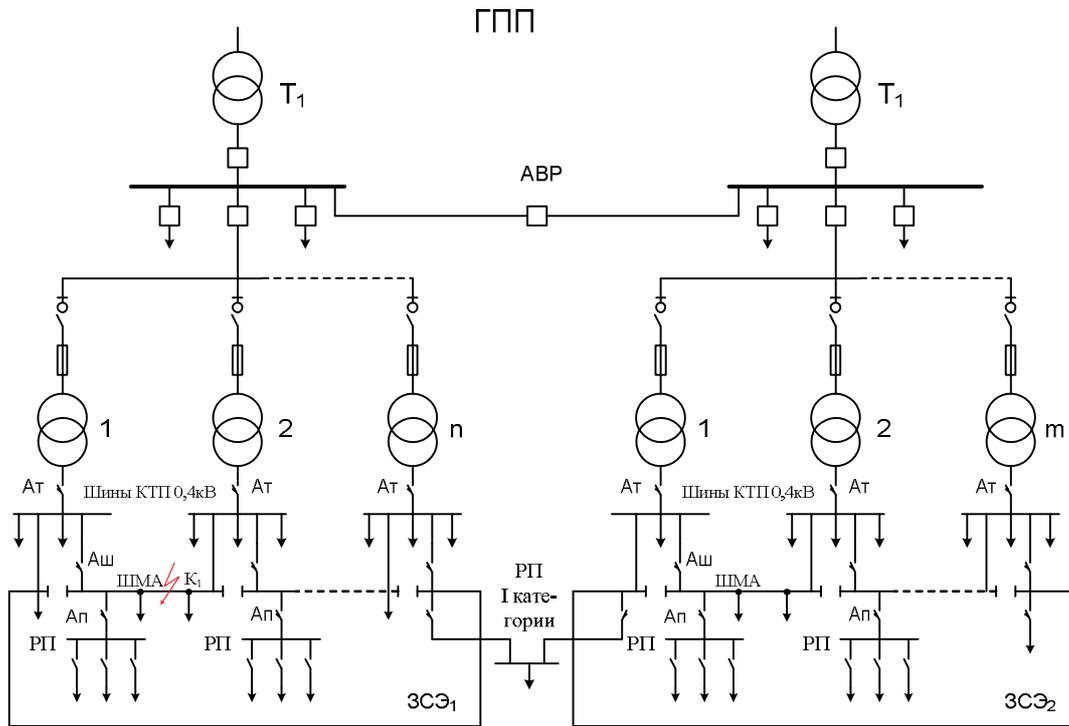


Рис. 5. Принципиальная схема системы электроснабжения с ЗСЭ 0.4 кВ

В сетях 0.4 кВ значительное влияние на токи КЗ оказывает электрическая дуга, вносящая в цепь КЗ активное сопротивление. В упомянутой выше «Инструкции...» [10] по проектированию замкнутых систем электроснабжения предложена методика учета дуги путем введения в цепь КЗ эквивалентного фазного напряжения дуги  $U_d = 50$  В.

Векторное уравнение для контура КЗ (рис. 6а) с учетом совпадения фаз векторов  $U_d$  и  $I_d$  имеет вид

$$\dot{U} = U_d + I_d r_{K3} + j I_d x_{K3}. \quad (1)$$

Его численное решение относительно тока  $I_d$  целесообразно представить

$$I_d = K_d \cdot I_{мет}, \quad (2)$$

где  $I_{мет} = U/Z_{K3}$  – известное решение для металлического КЗ;  $K_d$  – коэффициент, зависящий от фазного угла сопротивления контура КЗ  $\varphi_{K3} = \text{arctg } x_{K3}/r_{K3}$  (рис. 6б). Наибольший эффект учета дуги достигается при преобладании в контуре КЗ активного сопротивления. При реальных для замкнутой системы параметрах ( $\varphi_{K3} = 50-70^\circ$ ) имеем, согласно (2), снижение тока металлического КЗ на 10–15 %.

Оценку ударного тока КЗ при учете переходного сопротивления в месте КЗ предлагается проводить по приближенным формулам:

$$i_{дy} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_d, \quad k_y = 1 + \exp\left(-\frac{0.01\omega(r_{K3} + R_d)}{X_{K3}}\right), \quad R_d = \frac{U_d}{I_d}. \quad (3)$$

Ударные токи  $i_{дy}$  по сравнению с  $i_{метy}$  снижаются на 18–20 %.

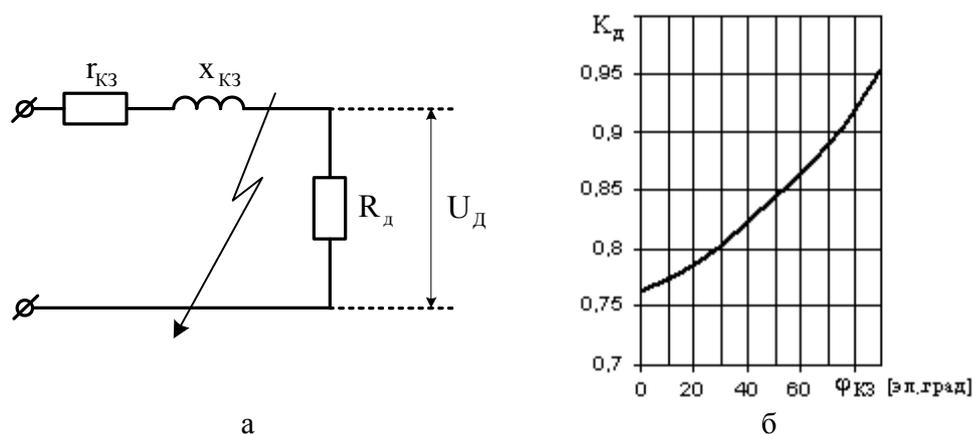


Рис. 6. Схема для расчета тока трехфазного КЗ (а), зависимость  $K_d = f(\varphi_{КЗ})$  (б)

Кардинально решить задачи ограничения в ЗСЭ токов КЗ и одновременного нераспространения провалов напряжения при КЗ за пределы зоны обслуживания одного трансформатора можно с помощью ТОУ, включаемых в рассечку каждого магистрального шинпровода. Наиболее перспективным типом токоограничивающих устройств для сетей 0,4 кВ являются жидкометаллические самовосстанавливающиеся токоограничители (ЖМТ). Целесообразные места включения ЖМТ показаны на рис. 7. Они устанавливаются последовательно с автоматами в цепях шинпровода, и их количество соответствует числу трансформаторов замкнутой системы электроснабжения.

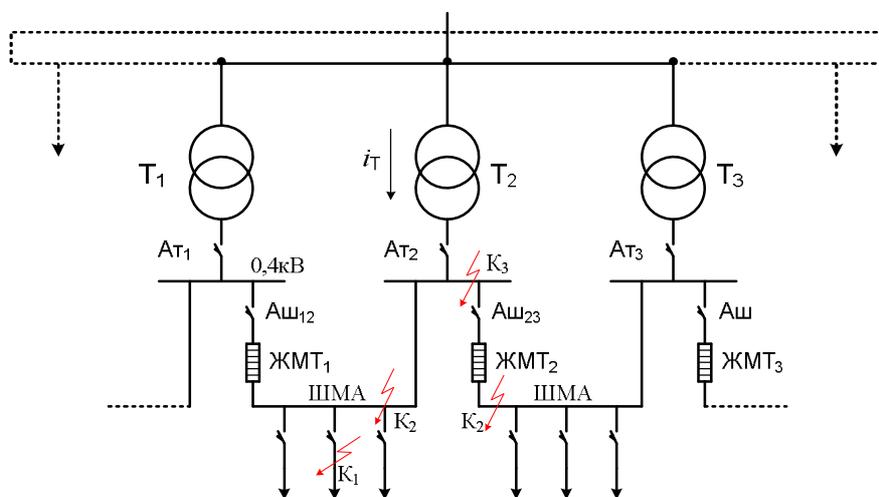


Рис. 7. Схема замкнутой системы электроснабжения с ЖМТ

При КЗ, например, в зоне обслуживания трансформатора  $T_2$  (точки  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ) быстро срабатывают ЖМТ<sub>1</sub> и ЖМТ<sub>2</sub>, практически исключая подпитку тока от трансформаторов  $T_1$  и  $T_3$  к моменту  $t_{КЗ} \cong 0,01$  с, когда наблюдается ударное значение тока КЗ в неблагоприятной фазе. Наибольший ток КЗ здесь, как и в разомкнутых СЭ, определяется только подпиткой от одного питающего трансформатора. Расчеты и испытания показали, что линейные автоматы  $A_{ш}$  при этом остаются во включенном состоянии. Короткое замыкание на отходящей линии (точка  $K_1$ ) обычно отключается за время, которое меньше 0,1 с, – на шинах восстанавливается напряжение, а спустя 0,2–0,4 с после перехода ЖМТ в проводящее состояние вновь собирается нормальная схема ЗСЭ.

В случае КЗ непосредственно на КТП или ШМА (точки  $K_2$  и  $K_3$ ) авария ликвидируется отключением вводного автомата  $A_{T2}$ , с выдержкой времени  $\Delta t_{AT}$ . При этом теряют питание нагрузки в зоне обслуживания трансформатора  $T_2$ . Во избежание в данном случае включения неаварийной части ЗСЭ на неустранимое КЗ через самовосстанавливающийся ЖМТ следует предусмотреть выработку команды на отключение автоматов  $A_{ш12}$  и  $A_{ш23}$  с выдержкой времени  $\Delta t_{Аш} \geq \Delta t_{AT}$  и блокировку этой команды, если напряжение на ШМА восстанавливается за время  $\Delta t < \Delta t_{Аш}$ .

Предварительные расчеты показали, что при новом проектировании или реконструкции действующих предприятий с использованием ЗСЭ с параллельной работой понижающих трансформаторов может быть достигнут существенный экономический эффект. Перспективным представляется массовое применение схем с использованием ЖМТ вследствие их компактности, высоких токоограничивающих свойств, простоты эксплуатации и способности к самовосстановлению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кучумов Л.А., Утегулов Н.И. Применение в распределительных электрических сетях сдвоенных реакторов в сочетании с токоограничивающими устройствами // Электричество. 1976. № 12. С. 8–13.
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Невретдинов Ю.М., Фастий Г.П., Ярошевич В.В. Проблемы локализации источника искажений качества электроэнергии // Сборник докладов X Росс. науч.-техн. конф. по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности ЭМС-2008. СПб.: ВИТУ, 2008. С. 138–142.
4. Ярошевич В.В., Невретдинов Ю.М., Карпов А.С. Проблемы локализации источников искажений электроэнергии и определение вклада подключенных потребителей в искажение или нормализацию качества электроэнергии // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. 2010. Вып. 1, № 1. 180 с.
5. Невретдинов Ю.М., Фастий Г.П., Ярошевич В.В. Анализ регистрации показателей качества электроэнергии на шинах питающих подстанций // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 1. С. 58–64.
6. Невретдинов Ю.М., Фастий Г.П., Ярошевич В.В. Исследование возможности локализации источника гармонических искажений напряжения на питающих подстанциях // Моделирование переходных процессов и установившихся режимов высоковольтной сети: сб. науч. тр. / ЦФТПЭС КНЦ РАН. Апатиты, 2008. С. 140–147.
7. Ярошевич В.В., Карпов А.С., Карпова О.М. Оценка эффективности мониторинговых исследований качества электроэнергии по ГОСТ 13109-97 в высоковольтной сети 6-150 кВ // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. 2013. Вып. 7, № 4. С. 117–121.
8. Ярошевич В.В., Карпов А.С. Влияние нестационарных электромагнитных воздействий на силовые трансформаторы // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. 2014. Вып. 8, № 3. С. 54–62.
9. Ярошевич В.В., Карпов А.С. Выявление направлений развития сетей 6-35 кВ на основе опыта мониторинговых исследований показателей качества электроэнергии в высоковольтной сети Северо-Запада России // Интеллектуальные энергосистемы: материалы I Междунар. молодежного форума. 2013. Т. 1. С. 163–168.
10. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий (СН-174-75). М.: Стройиздат, 1976. 53 с.
11. Шевченко В.В., Менчик В.В. Проблемы повышения эффективности использования трансформаторов в системах электроснабжения промышленных предприятий // Промышленная энергетика. 1987. № 9. С. 27–30.

#### Сведения об авторах

*Веселов Анатолий Евгеньевич* – к.т.н., научный сотрудник Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН;

e-mail: aeveselov@ien.kolasc.net.ru

*Карпов Алексей Сергеевич* – к.т.н, научный сотрудник Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН;

e-mail: asc\_apatity@mail.ru

*Ярошевич Вера Васильевна* – научный сотрудник Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН;

e-mail: yaroshevich\_vera@mail.ru

*Фастий Галина Прохоровна* – научный сотрудник Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН;

e-mail: fastiy@ien.kolasc.net.ru

*Токарева Евгения Александровна* – научный сотрудник Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН;

e-mail: tokarevaea@ien.kolasc.net.ru

**Совещание «Специализированный ландшафтный дизайн и терапевтическое садоводство в ботанических садах»**

*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН, 24–25 ноября 2015 г.*

На базе Кольского медицинского колледжа ПАБСИ КНЦ РАН проведено совещание «Специализированный ландшафтный дизайн и терапевтическое садоводство в Ботанических садах» для сотрудников ботанических садов, педагогов коррекционных классов начальной школы и детских садов, работников психоневрологических и социальных учреждений. В мероприятии приняли участие более 50 специалистов из 20 учреждений Мурманской обл. и г. Санкт-Петербурга. Работа совещания проходила по следующим направлениям:

- фитотерапия;
- ароматерапия;
- ландшафтная арт-терапия;
- садовая и экологическая терапия.

В программе совещания представлено 16 докладов и проведен мастер-класс по новой реабилитационной программе ПАБСИ «Экотерапия для детей с логоневрозом». Участникам совещания выданы сертификаты. В ходе работы совещания проведены экскурсии в оранжерею тропических и субтропических видов и музей ПАБСИ КНЦ РАН.

**IV Школа молодых ученых «Высокоширотные геофизические исследования»**

*Полярный геофизический институт, 29–30 октября 2015 г.*

В Мурманске на базе Полярного геофизического института КНЦ РАН 29–30 октября 2015 г. прошла IV Школа молодых ученых «Высокоширотные геофизические исследования».

В работе конференции приняли участие молодые ученые, аспиранты Полярного геофизического института, Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Научного отдела медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, а также студенты Мурманского государственного технического университета.

На конференции было представлено 3 пленарных, 11 устных и 22 стендовых доклада, посвященных экспериментальным и теоретическим исследованиям физических процессов в высокоширотной магнитосферно-ионосферной системе.

Работа конференции проходила по трем направлениям:

- физика солнечно-земных связей;
- радиофизические методы исследования природных сред;
- вычислительные методы и информационные технологии в геофизике.

По итогам конференции были отмечены следующие работы молодых ученых:

- М.И. Карпов (МГТУ) «Формирование мезомасштабного электрического поля в ионосфере в период подготовки землетрясений»;
- Е.А. Маурчев (ПГИ) «Численное моделирование в различных задачах физики космических лучей»;
- О.М. Лебедь (ПГИ) «Решение уравнения типа свертки с помощью инверсного фильтра»;
- С.В. Пильгаев (ПГИ) «Модовый состав поля искусственного ионосферного источника».
- А.Г. Канатьев (ПГИ) «Дендрохронологические исследования на Кольском полуострове».

Представленные на конференции работы после прохождения рецензирования будут опубликованы в журнале «Труды Кольского научного центра РАН» (выпуск «Гелиогеофизика»), индексируемого в РИНЦ.

**II Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Глубокие карьеры»**

*Горный институт КНЦ РАН, 12–15 октября 2015 г.*

Конференция организована и проведена Горным институтом КНЦ РАН при поддержке Федерального агентства научных организаций РФ, Российского фонда фундаментальных исследований.

В ее работе приняли участие представители 22 организаций: академических институтов, горнодобывающих предприятий, отраслевых научно-исследовательских и проектных организаций, вузов.

В пленарных докладах были отражены технологические и геомеханические проблемы, связанные с особенностями ведения горных работ на глубоких карьерах: рассмотрен отечественный и

мировой опыт проектирования глубоких карьеров, а также особенности перехода от открытых работ к подземным; дан анализ современного состояния и тенденций развития информационных технологий при проектировании и планировании горных работ; проанализирован опыт разработки месторождений открытым способом в условиях Кольского п-ова, Якутии, Сибири, Дальнего Востока; рассмотрены другие актуальные вопросы ведения открытых горных работ на больших глубинах.

Доклады секций освещали следующие темы:

- геотехнология больших глубин;
- геомеханическое обоснование безопасной отработки месторождений глубокими карьерами;
- компьютерные технологии при освоении и эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых открытыми работами;
- решение экологических проблем при ведении открытых горных работ.

Участники конференции отметили, что повсеместное увеличение глубины карьеров вызывает необходимость постоянного совершенствования технологии добычи полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях, что невозможно без обмена опытом специалистов разных горнопромышленных регионов страны и использования научных разработок.

По итогам конференции были приняты следующие основные решения:

1. Продолжить совместные исследования, выполняемые научно-исследовательскими институтами, вузами и проектными организациями, обратив особое внимание на приоритетность следующих научно-исследовательских задач: получение достоверной исходной геомеханической и геодинамической информации на стадии изысканий и научно-исследовательских работ; создание баз данных и информационных технологий оценки геомеханического состояния массива горных пород; более полная оценка роли тектонических напряжений при расчете устойчивости уступов и борта карьера в целом; разработка методов оценки рисков и способов управления ими при выборе рациональных параметров бортов карьеров; решение динамических задач устойчивости борта за счет применения методов нелинейной механики.

2. Подготовить рабочую программу для проведения совместных исследований институтами горного профиля РАН и организовать постоянно действующий обмен информацией о результатах исследований.

3. Создать рабочую группу для подготовки предложений по изменению норм проектирования глубоких карьеров.

4. Активизировать работу в рамках импортозамещения по созданию и коммерциализации российских программных продуктов в области открытой геотехнологии.

5. Издать труды конференции.

6. Провести III конференцию «Глубокие карьеры» в 2018 г.

**III Всероссийская научная конференция с международным участием «Биоразнообразие и культуроценозы в экстремальных условиях» и III Всероссийская молодежная полевая школа-семинар «Современные проблемы озеленения урбанизированных территорий в северных регионах». Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН, 17–19 августа 2015 г.**

В работе научных мероприятий в очном и заочном формате приняли участие более 80 человек, в том числе сторонние участники – 20 иностранных граждан из Германии, Украины, Казахстана, 40 – из научно-исследовательских институтов и вузов России. Было заслушано 14 докладов, проведены экскурсии.

На конференции представили доклады аспирантов ПАБСИ по темам диссертаций. Работа мероприятий была освещена в прессе (газета «Хибинский вестник» от 20 августа 2015 г.) и на телевидении (новостной сюжет «Народного телевидения» от 19 августа 2015 г.).

**Геотехнология и обогащение полезных ископаемых: материалы VI Школы молодых ученых (г. Апатиты, 19–20 ноября 2015 г.) / Горн. ин-т Кол. науч. центра РАН.** Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 100 с.

Сборник содержит доклады VI Школы молодых ученых «Геотехнология и обогащение полезных ископаемых», посвященной изучению актуальных проблем повышения эффективности и безопасности горного производства, совершенствования технологии обогащения полезных ископаемых, автоматизации решения задач горной технологии, вопросам моделирования и изучения свойств горных пород.

Издание представляет интерес для ученых и специалистов в области горного дела.

**Козупеева Татьяна Алексеевна. В те блокадные годы в Ленинграде. 2-е изд.** Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 101 с.

Воспоминания Татьяны Алексеевны Козупеевой охватывают короткий фрагмент ее большой, полной различных событий жизни. Но именно этот трагический, тяжелый отрезок времени с его невероятными трудностями и невозполнимыми потерями и одновременно с глубокой верой в торжество справедливости, сформировал характер Татьяны Алексеевны, раскрыл лучшие стороны её души, во многом определил её будущую судьбу.

**Криворотов А.К. Политика государства как фактор конкурентоспособности арктических регионов: методология исследования, опыт Норвегии и уроки для России: монография / А.К. Криворотов; отв. ред. д.э.н., проф. Ф.Д. Ларичкин.** Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 320 с.

Процесс глобализации втягивает в международную конкуренцию экономики отдельных стран и субнациональных (в том числе арктических) регионов. Предложены теоретические подходы к изучению региональной конкурентоспособности и противоречивого воздействия на нее со стороны государства. С этих позиций на основе оригинальной методики проанализирована политика Норвегии в Заполярье в послевоенный период с особым вниманием к тенденциям начала XXI в. Эффективность этой политики была достаточно ограниченной, прежде всего, в силу несовместимости экономики Севера и Арктики с возобладавшими в мире принципами либерализма.

Это наглядно показала практика современной России, регионы которой, глубоко зависящие от внешнеэкономической деятельности, не выдерживают международной конкуренции ни в целом, ни с сопредельными территориями Северной Норвегии. Преодоление этих проблем требует системных политических усилий на федеральном и региональном уровнях.

Работа предназначена для ученых, студентов и специалистов-практиков, интересующихся проблемами экономики российской и зарубежной (особенно норвежской) Арктики, глобальной конкуренции, внешнеэкономической и региональной политики.

**Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: материалы IX Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов (г. Апатиты, 15–17 апреля 2015 г.) / Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева; Кол. науч. центр РАН; Мурманский гос. техн. ун-т; Администрация Мурманской обл.; Министерство образования и науки Мурманской обл.** КНЦ РАН, 2015. 152 с.

Сборник содержит доклады IX Научно-практической конференции, посвященной изучению актуальных проблем переработки и применения минерального сырья Кольского п-ова. Сюда включены результаты исследований по физико-химическим основам и практике переработки минерального сырья, металлургическим и химическим процессам в технологии новых материалов. Издание представляет интерес для молодых ученых и специалистов в области химии.

**Север и рынок: формирование экономического порядка:** науч.-информ. журн. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 1/(44). 175 с.

**Скуфьина Т.П. Эконометрическая оценка развития межрегиональной дифференциации в России и прогноз влияния ВТО на динамику процесса / Т.П. Скуфьина, С.В. Баранов, В.П. Самарина; Ин-т экон. проблем Кол. науч. центра РАН. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 150 с.**

Монография посвящена представлению результатов эконометрических оценок и теоретических обобщений по проблеме межрегиональной дифференциации в России, а также прогнозу влияния ВТО на динамику процесса. Рассмотрены вопросы формирования методологии анализа межрегиональной дифференциации. Приведены результаты интегрированной оценки специфики, тенденций, закономерностей, развития феномена межрегиональной дифференциации в РФ. Произведена проверка теоретических представлений о развитии межрегиональной социально-экономической дифференциации в РФ результатами наших эконометрических измерений. Составлен прогноз влияния членства России в ВТО на динамику проблемы межрегиональной асимметричности развития. Приведены перспективные научно-методические меры регулирования пространственного развития РФ, учитывающие новые соотношения социально-экономических характеристик, новые возможности и приоритеты.

Монография рассчитана на широкий круг специалистов, включая научных работников, преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, а также аспирантов по специальностям 08.00.01, 08.00.05, 08.00.13. Рекомендуется как учебное пособие для студентов и аспирантов для изучения вопросов эконометрического моделирования, проблематики региональной экономики и, в частности, вопросов асимметричности социально-экономического развития.

**Труды КНЦ РАН.** Апатиты: КНЦ РАН, 2015. Вып. 7 (27). 173 с. (Гуманитарные исследования).

**Труды КНЦ РАН.** Апатиты: КНЦ РАН, 2015. Вып. 5 (31). 603 с. (Химия и материаловедение: материалы II Всеросс. науч. конф. с междунар. участием, посвященной памяти В.Т. Калининкова «Исследования и разработки в области химии и технологии функциональных материалов»: спецвыпуск).

**Труды КНЦ РАН.** Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2015. Вып. 10 (28). 131 с. (Энергетика).

**Факторный анализ и прогноз грузопотоков Северного морского пути / науч. ред. д.э.н., проф. В.С. Селин, д.э.н., проф. С.Ю. Козьменко.** Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 335 с.

Монографическое исследование, проведенное специалистами из академических институтов и высших учебных заведений, посвящено современным тенденциям и проблемам развития арктических морских коммуникаций и их системообразующего элемента – Северного морского пути. На основе адаптации методологии факторного анализа предпринята попытка структурировать основные движущие силы и риски морских грузопотоков в этом геополитически важном макрорегионе. Доклады и выступления, прозвучавшие на VI Всероссийской морской научно-практической конференции «Северный морской путь: развитие арктических коммуникаций в глобальной экономике» (г. Мурманск, 13–14 мая 2014 г.) нашли свое отражение и заняли в монографии важное место. Серьезное внимание уделено обострению мировых противоречий и «санкционному» давлению западных стран, возможному влиянию этих рынков на освоение шельфа Арктики. Изучение динамики основных экзогенных (природные ресурсы, климат, мировые рынки нефти и газа и т.п.) и эндогенных (транспортная инфраструктура, инвестиции, ледокольный и торговый флот) факторов позволило обосновать сценарии развития грузопотоков Северного морского пути в краткосрочной и стратегической перспективе, а также предложить меры по поддержке арктических коммуникаций.

Книга рассчитана на широкую аудиторию научных работников, преподавателей и практиков, интересующихся вопросами Арктики и Северного морского пути. Она также может быть использована в качестве учебного пособия для аспирантов и студентов самых различных специальностей, включая мировую и региональную экономики, экономику и управление народным хозяйством, политологию, экономическую географию и т.п.



### **ЧИНАРИНА Антонина Дмитриевна**

к.б.н. (1963), ст.н.с. (1970), старший научный сотрудник лаборатории ихтиологии и физиологии Мурманского морского биологического институт (2008). В Кольском научном центре с 1954 г.

Специалист в области проблем поведения промысловых рыб и беспозвоночных арктических морей. В

частности, ею были исследованы и раскрыты мало изученные в нашей стране и за рубежом механизмы изменения приспособительной окраски (один из видов мимикрии) у рыб разной экологии. В многосерийных экспериментах по питанию и пищевому поведению рыб в аквариальных и природных условиях получены факты, подкрепляющие учение академика И.П. Павлова о высшей нервной деятельности (об условных рефлексах). Изучаются механизмы «хоминга», т.е. домашнего инстинкта проходных лососевых рыб. Автор более 130 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе 3 монографий.

За 10 лет работы в качестве заместителя директора по научной работе внесла огромный вклад в укрепление научного и научно-технического потенциала Института. В свете новой социально-экономической политики страны развивала и формировала актуальные приоритетные направления фундаментальных исследований, курировала выполнение проекта «Баренцево море» государственной программы «Мировой океан». Имея опыт экспедиционных и экспериментальных исследований, направляла деятельность Института на сочетание фундаментальных и биотехнологических работ, способствуя всестороннему изучению и освоению Арктики. При её непосредственном участии Мурманский морской биологический институт за 80-летнюю историю стал крупным биолого-экологическим центром академической науки на Европейском Севере России. Антонина Дмитриевна возглавляла работу с молодыми учеными и специалистами. В 1988 г. Институту присуждено второе место и Почетная грамота Президиума АН СССР в конкурсе академических институтов за лучшую постановку работы с молодыми учеными. В настоящее время является наставником молодежи, ведет большую архивную и исследовательскую деятельность по истории Института.

За долгодлтий добросовестный труд А.Д. Чинарина награждена государственными наградами: медалью «За трудовую доблесть» (1970); медалью «300 лет Российскому флоту» (1996); медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2000); медалью «100 лет Профсоюзам России, (2005); почетными



*Юбилеи*



*Юбилары*

грамотами РАН, КНЦ РАН, Администрации города Мурманска (2005); Почетной грамотой Губернатора Мурманской области (2010).

Основные публикации: «Сигнальное значение и регуляция приспособительной окраски у рыб» (1978); «Вопросы сравнительной физиологии морских беспозвоночных и рыб» (1983); «Химическая сигнализация у гидробионтов (перечень веществ, влияющих на поведение рыб)» (1984); «Перспективные объекты рыбного промысла в Баренцевом море (камбала-ерш, звездчатый скат, пинагор)» (1997); «Основные этапы развития академической морской биологической науки на Севере» (2006); «Смотреть вперед и помнить... Очерки из истории ММБИ КНЦ РАН» (2012).

Поздравляем Антонину Дмитриевну со славным юбилеем, желаем здоровья, счастья, новых творческих успехов.



### **МИНГАЛЁВА Галина Иосифовна**

к.ф.-м.н. (1981), старший научный сотрудник сектора вычислительного эксперимента (с 1992 г.), доцент (2007). В Полярном геофизическом институте КНЦ РАН с 1986 г.

Признанный специалист в области моделирования физических и фотохимических процессов в высокоширотной ионосферной плазме. Впервые вывела выражения для связанных с упругими столкновениями частиц дополнительных членов к 13-моментной системе уравнений переноса многокомпонентной смеси газов, справедливые при не малых относительных скоростях движения компонент. Разработала и реализовала методику численного решения системы нелинейных уравнений в частных производных, к которой сводятся уравнения переноса ионосферной плазмы, включая уравнения теплопроводности ионов и электронов. Выполнила математическое моделирование поведения ионосферы при её искусственном нагреве во время активных воздействий мощными коротковолновыми радиоволнами. Это позволило не только объяснить ряд наблюдаемых фактов, но и предсказать режимы работы нагревных стендов, при которых должна достигаться максимальная крупномасштабная модификация ионосферы, что впоследствии получило экспериментальное подтверждение.

Автор более 100 публикаций в отечественных и зарубежных изданиях.

Награждена Почетной грамотой Президиума АН СССР (1974), благодарственным письмом главы г. Апатиты (1999) и благодарственным письмом председателя Президиума КНЦ РАН (2005).

Поздравляем Галину Иосифовну со славным юбилеем, желаем здоровья, счастья, новых творческих свершений.

55



### ВОЙТЕХОВСКИЙ Юрий Леонидович

д.г.-м.н., профессор, директор Геологического института КНЦ РАН, с августа 2015 г. исполняющий обязанности председателя Кольского научного центра РАН. В Геологическом институте КНЦ РАН работает с 1982 г.

Окончил геолого-разведочный факультет Ленинградского горного института (1982), механико-математический факультет Санкт-Петербургского государственного университета (1994), в 1996–1997 гг. прошел стажировку в Высшей национальной горной школе Парижа. Последовательно занимал в институте все научные должности от старшего лаборанта до директора. Исследования Юрия Леонидовича отличает поисковый характер и применение современных математических методов. Главные научные достижения раннего периода научной деятельности – создание трех научных направлений на стыке естественных и математических наук: систематический комбинаторно-геометрический анализ полиэдрических структур, в том числе фуллеренов и их аналогов; систематический комбинаторно-геометрический анализ реальных кристаллографических простых форм в связи с принципом диссимметрии П. Кюри; структурный анализ кристаллической горной породы как пространства с различными топологиями и неевклидовыми метриками. За разработку концепции петрографической структуры на конгрессе Международной ассоциации математической геологии в 1993 г. награжден серебряной медалью Й. Тойрера.

Главные направления современных исследований Юрия Леонидовича: перспективы Кольского п-ова на новые высоколиквидные типы минерального сырья, в первую очередь золото, титан, редкие металлы, глиноземистое сырье; фуллерены как потенциальные концентраторы редких и рассеянных элементов в углеродистых формациях. В настоящее время руководит исследованиями по теме НИР «Кольская минерагеническая провинция: генетические модели и прогноз новых минеральных ресурсов», ведет большую научно-организационную и научно-просветительскую работу. Организатор ежегодных всероссийских конференций «Ферсмановская научная сессия» и «Математические исследования в естественных науках». В качестве научного руководителя подготовил четырех кандидатов наук. С 2014 г. Ю.Л. Войтеховский – заведующим кафедрой геологии и полезных ископаемых Апатитского филиала МГТУ. Активный популяризатор научных знаний, читает лекции для жителей г. Апатиты, по его инициативе с 2008 г. издается научно-популярный журнал «Тиетта». Ю.Л. Войтеховский – автор более



Юбилары



Юбилеи

250 научных работ, в том числе более 70 статей в российских и зарубежных рецензируемых журналах, автор 4 монографий.

Поздравляем Юрия Леонидовича со славным юбилеем, желаем здоровья, радости, счастья и творческих успехов.

65



### ЯКОВЕНЧУК Виктор Нестерович

к.г.-м.н., старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН, где работает с 1982 г.

Выдающийся геолог и минералог, первооткрыватель новых минеральных видов. Окончил геологическое отделение Каменец-Подольского индустриального техникума и Геологический факультет Воронежского государственного университета, работал в геологических производственных организациях на Дальнем Востоке и в Мурманской обл. Главный вектор его научных интересов – исследования минералогии редкометалльных пегматитов, щелочных и щелочно-ультраосновных комплексов, значительная часть работ посвящена процессам самоорганизации минерального вещества. Всесторонне исследовал природные нанопористые титаносиликаты и их катионообменные свойства, а также двойные гидроксиды и их анионообменные свойства. С 1991 г. Виктор Нестерович – директор ООО «Минералы Лапландии».

В последние годы активно работает над созданием перспективных функциональных материалов по их природным прототипам в составе Отдела исследований природных и синтетических нано- и микропористых веществ (Центр наноматериаловедения – ЦНМ) КНЦ РАН. В 2009 г. Виктором Нестеровичем Яковенчуком и его коллегами были открыты четыре минерала группы иванюкита – микропористые титаносиликаты, которые благодаря устройству своей кристаллической структуры могут поглощать радиоактивные изотопы цезия, стронция, а также ионы кобальта, никеля, таллия, рубидия, серебра и других металлов. Стало ясно, что эти минералы представляют собой природные прототипы перспективных функциональных материалов, которые могут быть использованы для очистки вод, разделения газов, изготовления катализаторов и других целей. Эти исследования направлены в будущее и имеют большое практическое значение.

Первооткрыватель более 20 новых минеральных видов. За его вклад в минералогию щелочных и щелочно-ультраосновных комплексов Международной минералогической ассоциацией в 2007 г. утверждено название «яковенчукит-(Y)» для нового редкоземельного силиката, открытого в Хибинском массиве.

По результатам исследований Виктор Нестерович Яковенчук опубликовал 7 книг и более 100 научных статей в ведущих отечественных и зарубежных журналах.

Поздравляем Виктора Нестеровича с юбилеем и желаем крепкого здоровья, творческих успехов, удачи во всех начинаниях.

75



### **ГЕРШЕНКОП Александр Шлемович**

д.т.н., профессор. В Горном институте КНЦ РАН работает с 1963 г.

Окончил Ленинградский горный институт (1963). Специалист в области обогащения полезных ископаемых. Под его руководством на основании исследований гидродинамики обтекания частиц различной формы и физико-химических особенностей поверхности слюд созданы технологии обогащения вермикулитовых, мусковитовых и флогопитовых руд. По результатам исследований разработана и внедрена технология обогащения вермикулитовых руд на первой в стране Ковдорской вермикулитовой фабрике, утверждены запасы вермикулитовых руд Ковдора, ряда месторождений Урала, Казахстана. Показана возможность вовлечения в переработку техногенных месторождений мусковитовых руд, и впервые в России утверждены запасы всей слюды, находящейся в мелкоразмерных мусковитовых рудах в отвалах рудника Риколатва. Руководил исследованиями по обогащению слюд целого ряда месторождений Кольского п-ова и Карелии. При его участии разработан проект фабрики по обогащению мелкоразмерных слюд. На основании исследований в области физико-химических свойств минералов апатитонефелиновых руд разработана технология комплексного их обогащения. Утверждены запасы месторождений этих руд, предложен ряд технологических решений, внедренных в производство. Большой объем работ, выполняемых им, посвящен подготовке оборотных вод действующих горно-обогатительных предприятий.

Выдвинул новое научное положение об образовании открытых стационарных систем в технологиях переработки различных руд, предложил способы управления ими, на основании которых разработал ряд технологических решений, позволяющих повысить технологические показатели действующих горных предприятий. Совместно с ИППЭС КНЦ РАН обнаружено новое явление в оборотных водах флотационных обогатительных фабрик, значительно влияющее на флотацию минералов при исследовании оборотных вод.

Имеет ряд наград ВДНХ СССР. Лауреат Премии Совета Министров СССР (1987), заслуженный деятель науки РФ (2007).



*Юбилеи*



*Юбилей*

В 1994-2003 гг. отмечался государственной стипендией для выдающихся ученых России. Автор более 400 публикаций, в том числе 6 монографий и 40 авторских свидетельств и патентов. Ведет научно-организационную работу. Действительный член АГН (1994), член бюро Научного совета РАН по обогащению полезных ископаемых. Член Ученого и Диссертационного советов Горного института, председатель обогатительной секции Ученого совета. Под его руководством подготовлены и защищены 5 кандидатских диссертаций, являлся научным консультантом двух докторских диссертаций. Награжден двумя медалями, знаками «Отличник химической промышленности СССР», «Шахтерская слава» II и III степеней, «Горняцкая слава» I степени, грамотами РАН, губернатора Мурманской обл. Является членом экспертного совета ВАК секции наук о Земле.

Поздравляем Александра Шлемовича со славным юбилеем, желаем здоровья, счастья, новых творческих свершений на благо российской науки.



#### **ЖАМАЛЕТДИНОВ Абдулхай Азымович**

д.г.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН, где работает с 1968 г.

Выпускник Ленинградского государственного университета. Внес огромный вклад в исследование глубинной электропроводности литосферы, измерение и интерпретацию кажущегося сопротивления земной коры и мантии. За длительный период своей творческой деятельности А.А. Жамалетдинов успешно руководил пионерными работами с использованием мощных контролируемых источников. Совместно со своей группой осуществил ряд уникальных экспериментов по глубинному электромагнитному зондированию Земли с мощными контролируемыми источниками. А.А. Жамалетдиновым изучены физико-геологические факторы, определяющие природу и структуру глубинной электропроводности земной коры и верхней мантии, а также зоны перехода на границе «литосфера – астеносфера», исследованы рудоперспективные структуры Печенгского и Мончегорского районов. При этом точность наблюдений и аппарат их интерпретации постоянно совершенствуются. Под его руководством были проведены исследования по линии разработки источников двойного назначения – в интересах ВМФ РФ и для глубинного зондирования Земли. В последнее время занимается исследованиями глубинной электропроводности юго-западной части Кольского п-ова с источником направленного действия. В задачу работ входит проверка гипотезы о наличии промежуточного проводящего слоя дилатантно-диффузионной природы (слоя ДД) в земной коре в интервале глубин от 1–2 до 5–7 км. Принципиальная научная новизна исследований – использование генератора направленного действия «Энергия-2м»,

разработанного коллективом. Исследования А.А. Жамалетдинова и его группы постоянно получают финансовую поддержку через участие в договорных проектах и престижных грантах, что показывает высокий уровень данных работ. Свои работы группа осуществляет в тесном научном сотрудничестве с организациями КНЦ РАН, Мурманской обл., в т.ч. из-за рубежа.

Автор более 200 научных публикаций, среди них 10 монографий, награжден серебряной медалью ВДНХ, грамотами и дипломами разного уровня.

Поздравляем Абдулхая Азымовича со славным юбилеем, желаем здоровья, счастья, новых творческих свершений на благо российской науки.



### **ЕВЗЕРОВ Владимир Яковлевич**

д.г.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН, где работает с 1958 г.

Окончил Воронежский государственный университет. Основная область научных интересов Владимира Яковлевича – геология и минерагения кайнозойских отложений и палеогеография кайнозоя. Специалист мирового уровня в области изучения четвертичных отложений, приуроченных к ним полезных ископаемых и новейшей геодинамики территории Балтийского щита. Внес значительный вклад в теорию ледникового седиментогенеза, палеогеографию плейстоцена, минерагению россыпей и строительных материалов: разработал модели развития гляциоэвстатических трансгрессий, дегляциации Кольского региона, формирования россыпей на древних щитах, подвергавшихся покровым оледенениям, установил основные закономерности образования и размещения месторождений строительных материалов и россыпей, приуроченных к рыхлому покрову Кольского региона. В.Я. Евзеров дал оценку ресурсов строительных материалов и россыпей стратегических полезных ископаемых, выявил критерии поисков месторождений и научно обоснованные рекомендации по оптимизации поисково-разведочных работ, имеющие большое народно-хозяйственное значение. Поисково-разведочными работами, проведенными по этим рекомендациям, расширена сырьевая база предприятий строительной индустрии Мурманской обл. Результаты исследований Владимира Яковлевича Евзерова опубликованы более чем в 200 научных работах, в том числе в 5 монографиях. Обобщающий труд Владимира Яковлевича – монография «Минерагения рыхлого покрова Северо-Востока Балтийского щита» издана в 2014 г. и вошла в число наиболее значительных достижений РАН. За успешную научную работу



*Юбилеи*



*Юбилеи*

неоднократно награждался дипломами и грамотами Президиума КНЦ РАН и Почетной грамотой РАН.

Поздравляем Владимира Яковлевича со славным юбилеем и желаем здоровья, бодрости, счастья и новых творческих успехов.



### **МАЙОРОВ Владимир Гаврилович**

к.т.н., старший научный сотрудник, руководитель группы экстракционных процессов лаборатории химии и технологии сырья тугоплавких редких металлов Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева КНЦ РАН. В Кольском научном центре работает с 1958 г. после окончания Московского химико-технологического института им. Д.И. Менделеева.

Один из первых научных сотрудников Института химии. Область его научных интересов – химия и технология экстракции редких металлов, а также очистка сбросных растворов от радиоактивных примесей в технологии нетрадиционного редкометалльного сырья.

Специалист высокого уровня, получивший признание в научном мире, по вопросам разделения близких по свойствам редких элементов и получению соединений ниобия и тантала особой чистоты. Его кандидатская диссертация была посвящена вопросам оптимизации условий разделения элементов с использованием математических методов.

Владимир Гаврилович выполнил исследования по химии экстракции редких металлов из фторидных и сульфатных растворов и нашел оптимальные условия очистки фторидов ниобия и тантала от трудноотделимых примесей. Исследовал выделение сульфатов редких металлов экстрагентами различных классов, при этом выявил условия концентрирования ниобия и тантала и их отделения от титана. Установил явление значительного возрастания экстракции ниобия и тантала из растворов с высоким содержанием титана, кремния, циркония, алюминия, железа и других примесей, образующих фторметаллатные кислоты, которые позволили открыть перспективу переработки бедного сырья в замкнутом безотходном цикле с регенерацией фтороводородной кислоты. С использованием этого явления была разработана технология выделения ниобия и тантала из редкометалльных титанониобатов.

При его активном участии разработана и внедрена экстракционная технология высокочистых соединений ниобия и тантала. Один из авторов промышленной переработки лопарита на заводе в Эстонии (1970–1990). Основное направление исследований в последние годы – выделение тория, урана, радия и других радионуклидов из сбросных растворов методами экстракции и осаждения.

Результаты исследований группы В.Г. Майорова поддерживались программами Президиума РАН и Отделения химии и наук о материалах, РФФИ, а также входили в достижения РАН. Автор около 300 научных работ, в т.ч. 2 монографий и 44 изобретений. Награжден медалями «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», «Ветеран труда», Почетной грамотой Президиума РАН. Имеет несколько благодарностей и грамот Института химии и Кольского научного центра РАН.

Поздравляем Владимира Гавриловича со славным юбилеем и желаем здоровья, бодрости, счастья и новых творческих свершений.



### **ФЕДОТОВ Жорж Александрович**

к.г.-м.н., ст. научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН, где работает с 1962 г.

Окончил Миасский геолого-разведочный техникум и Московский государственный университет. Научные интересы связаны с изучением петрологии и геохимии основных магматических пород. За годы работы исследовал многие

магматические комплексы Кольского п-ова. Особенно выдающихся результатов он достиг в изучении Печенгского и Мончегорского рудоносных магматических комплексов и Имандровского лополита, интрузии Главного хребта. Собрал и систематизировал огромный материал по дайкам различного возраста и состава. В результате изучения дайковых образований на Баренцевоморском побережье Жорж Александрович Федотов сформулировал вывод о том, что дайковые комплексы представляют собой самостоятельные магматические формации, которые в отличие от локальных и линейных интрузивных и вулканических формаций имеют, как правило, региональное распространение на территории крупных изверженных провинций.

В ходе изучения петрологии крупных интрузивных расслоенных комплексов Жорж Александрович выступил с важными теоретическими идеями, касающимися динамики кристаллизации интрузий основных пород. Сопоставление трендов изменения состава пород расслоенных интрузивов и вулканических серий позволило ему предложить динамическую модель фракционной кристаллизации, согласно которой магматическая эволюция происходит в условиях равновесной кристаллизации движущегося перемешиваемого расплава. В застойной магматической камере в условиях локального равновесия имеет место порционное комплементарное фракционирование расплава без изменения состава его главного объема, приводящее к образованию расслоенных интрузий со слабой скрытой расслоенностью. Автор более 120 научных работ.

Поздравляем Жоржа Александровича со славным юбилеем и желаем здоровья, радости, бодрости и новых творческих успехов.



*Юбилей*

---

---

CONTENTS

---

---

4/2015(23)  
Published since December 2009  
ISSN 2307-5228  
ISBN 313-9-91137-313-9

*Russian Academy of Sciences*

HERALD

of the Kola Science Centre of the RAS

Publisher – Federal State Institution of Science Kola Science Centre of the RAS

---

Editor-in-Chief – Dr.Sci. (Geol.), Prof.  
Yu.L. Voytekhovsky,  
Vice-Editors-in-Chief:  
Dr.Sci. (Geol.), Prof. V.P. Petrov,  
Dr.Sci. (Eng.), Prof. A.Ya. Fridman  
(Head of Editorial Staff)

Editorial Board:  
Academician RAS, Prof. G.G. Matishov,  
Academician RAS, Prof. N.N. Mel'nikov,  
Corr. Member of the RAS, Prof. V.K. Zhironov,  
Corr. Member of the RAS, Prof. A.I. Nikolaev,  
Dr.Sci. (Eng.), Prof. B.V. Efimov,  
Dr.Sci. (Econ.), Prof. F.D. Larichkin,  
Dr.Sci. (Eng.) V.A. Masloboev,  
Dr.Sci. (Eng.), Prof. V.A. Putilov,  
Dr.Sci. (Phys.-Math.) E.Д. Tereschenko,  
PhD (Geol.) A.N. Vinogradov  
(Responsible Secretary)

The responsibility for opinions, expressed in signed articles, studies and other contributions rests solely with the authors, and publication does not constitute any endorsement of the Federal State Institution of Science Kola Science Centre of the RAS for the opinions expressed in them.

**The journal is included in the Russian Science Citation Index (RISC) since 2009**

©Federal State Institution of Kola Science Centre of the RAS, 2015

---



---

CONTENTS

---



---

**NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**

N.O. Sorokhtin, N.E. Kozlov, V.N. Glaznev et al.	Geological Structure and Hydrocarbon Prospectivity of the Western Timan-Varanger Belt.....	3
P.V. Medvedev, Yu.L. Voytekhovskiy S.Yu. Chazhengina et al.	Composition and Structure of Stratiform Stromatolites from Sredny Peninsula (Kola Region).....	12
L.S. Petrovskaya, V.P. Petrov, M.N. Petrovskiy, et al. P.V. Amosov	The Problem of the Thermodynamic Conditions Metamorphic Processes of the Deep-Seated Shear Zones (Case Study From Lapland-Belomorian Suture).....	17
T.G. Kashulina, N. A. Kashulin, V.A. Dauvalter	Application of Numerical Methods for Calculating Distribution of the Emissive Plate's Temperature to Solve Tasks of Ensuring Heat Discharge from a Space Module.....	35
V.C. Roldugin, A.V. Roldugin	Long-Term Dynamics of Hydrochemical Parameters of the Shuonijaur Subarctic Lake under the Conditions of Decrease in Acid Burden .....	42
V.S. Mingalev, I.V. Mingalev, K.G. Orlov	Variations of Na Doublet Intensity during Auroral Disturbances.....	52
A.V. Melekhin	Study of the Atmospheric Circulation by Means of Spatial Three- Dimensional Mathematical Models Developed in the Polar Geophysical Institute during the Latest Two Decades.....	58
V.A. Masloboev, S.N. Vinogradova, V.V. Didyk et al.	Lichens New to the Murmansk Region and Its Biogeographic Provinces.....	73
V.S. Selin, Y.V. Vyshinskay	Mining in the Arctic in Regard to Social Sustainability.....	82
A.Ya. Fridman	Present-Day Economics of Arctic Regions and Corporations.....	90
A.E. Veselov, A.S. Karpov, V.V. Yaroshevich et al.	Interpretation of the Situational Conceptual Model of Spatial Dynamic Objects as a Formal System.....	100
	Development of a New Structure for Electricity Distribution Networks of 6 and 10 Kv Industrial Power Supply Systems.....	113
	<b>CONFERENCES, WORKSHOPS.....</b>	<b>122</b>
	<b>NEW BOOKS.....</b>	<b>124</b>
	<b>ANNIVERSARIES.....</b>	<b>126</b>
	<b>CONTENTS.....</b>	<b>136</b>

**N.O. Sorokhtin, N.E. Kozlov, V.N. Glaznev, I.V. Chikiryov, S.L. Nikiforov**  
**GEOLOGICAL STRUCTURE AND HYDROCARBON PROSPECTIVITY**  
**OF THE WESTERN TIMAN-VARANGER BELT**

The multistage evolution of the western part of the Russian shelf is discussed in the paper. Some spatial-temporal peculiarities of geodynamic processes' interaction related to formation of traditional and non-traditional hydrocarbon deposits are substantiated. Results of geological and geophysical studies in the north-westernmost part of the Kola Peninsula are given. Analysis of the data regarding the isotope composition of carbon in the gases obtained from drill-hole allowed us to suggest that Timan-Varanger basin can contain both traditional hydrocarbon deposits and shale gas deposits (and shale oil deposits possibly). The new potentially oil-and-gas bearing basin is characterized with Riphean formations of deeply buried thick sedimentary beds of East European platform' passive margin. Another factor is formation of Norwegian-Mezen rift system during Caledonian and Hercynian periods.

*Keywords: geodynamic evolution, hydrocarbons, oil-and-gas potential, Arctic, Rn, Timan-Varanger belt, Rybachy Peninsula.*

**Authors**

Nikolay O. Sorokhtin – Dr. Sci. (Geol.), major scientific researcher of Oceanological Institute RAS named after P.P. Shirshov; e-mail: nsorokhtin@ocean.ru

Nkolay E. Kozlov – Dr. Sci. (Geol.), Head of Laboratory of GI KSC RAS, Director of the Apatity Branch of MSTU; e-mail: kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Victor N. Glaznev – Dr. Sci. (Geol.), Head of Department of the Voronezh State University; e-mail: glaznev@geol.vsu.ru

Igor V. Chikiryov – PhD (Geol.), Deputy Director of the Apatity Branch of MSTU, scientific researcher of GI KSC RAS; e-mail: chikiryeviv@afmgtu.apatity.ru

Sergey L. Nikiforov – Dr. Sci. (Geogr.), Head of Laboratory of Oceanological Institute RAS named after P.P. Shirshov; e-mail: nikiforov@ocean.ru

**REFERENCES**

1. Neftegazonosnost' Barencevo-Karskogo shel'fa Rossii i prognoznye kriterii poiska UV syr'ya v pribrezhnoj zone Kol'skogo regiona / N.O. Sorokhtin [i dr.] // Vestnik KNC RAN. 2010. № 1. S. 66–82.
2. Potencial'naya neftegazonosnost' zapadnoj chasti Arkticheskogo shel'fa Rossii i prognoznye kriterii poiska UV syr'ya v pribrezhnoj zone Kol'skogo poluostrova / N.O. Sorokhtin [i dr.] // Vestnik MGTU. (Trudy Murmanskogo Gosudarstvennogo universiteta). 2010. T. 13, № 4/1. S. 736–750.
3. Geologiya i potencial'naya neftegazonosnost' p-ova Rybachij (Kol'skij poluostrov) / N.O. Sorokhtin [i dr.] // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2011. № 5. S. 14–19.
4. Neftegazonosnost' neoproterozojskih osadochnyh kompleksov Timano-Varangerskogo poyasa / N.O. Sorokhtin [i dr.] // Vestnik MGTU. 2014. T. 17, № 2. S. 349–363.
5. Sorokhtin N.O., Chilingar G.V., Kozlov N.E. & Shin S. Geodynamic Evolution of Oil and Gas Basins in the European Part of the Eurasian Arctic Shelf. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2012. Vol. 34, Issue 22. December. P. 2092–2103.
6. Sorokhtin N.O., Chilingar G.V., Kozlov N.E. & Shin S. The Oil and Gas Potential of the Eurasian Western Arctic Shelf. Energy Sources. Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2012. Vol. 34, Issue 23. December. P. 2220–2233.
7. Sorokhtin N.O., Chilingarian G.V., Kozlov N.E., Glaznev V.N. Oil and gas content of the Eurasian western arctic shelf and prediction criteria of searching hydrocarbonic raw materials in a coastal zone of the Kola region // Izvestia RANS (Russian academia of natural sciences): Special issue. M., 2012. Vol. 21. P. 119–135.
8. Identifikaciya korovyh otrazhenij v zone perekhoda ot baltijskogo shchita k barencevomorskoj plite kak osnova prognozirovaniya poleznyh iskopaemyh / V.N. Glaznev [i dr.] // Vestnik VGU. 2014. № 1. S. 95–102.
9. Otchet po kompleksnoj aehrogeofizicheskoj (magnitnoj, gamma-spektrmetricheskoj, gazovoj na metan i propan) s'emke masshtaba 1 : 50000 na territorii Murmanskoy oblasti (rajon p-ovov Srednij i Rybachij) / Gololobov Yu.N. (otv. isp.); FGU NPP «Geologorazvedka». SPb., 2003. 85 s.: 12 graf. pril.

**P.V. Medvedev, Yu.L. Voytekhovskiy, S.Yu. Chazhengina, I.V. Chikiryov**

**COMPOSITION AND STRUCTURE OF STRATIFORM STROMATOLITES FROM SREDNY PENINSULA (KOLA REGION)**

Structure and texture of stratiform stromatolites from the Karujarvi Formation (Sredny Peninsula) have been studied. The Karujarvi Formation comprises the arkosic sandstone–mudstone–stromatolitic dolostone rhythms with textures of ripple marks, desiccation cracks, stromatolite laminae and halite pseudomorphs. The rocks formed in low water, tidal flat conditions. Morphological features of the studied Mesoproterozoic stromatolites together with identification of symsedimentary carbonaceous matter by Raman spectroscopy are strong argument for biogenic origin of these carbonate buildups. Some morphological features are not allowed us to assign these stromatolites to *Stratifera flexurata* Komar 1966.

*Keywords: Mesoproterozoic successions, stratiform stromatolites, Sredny Peninsula, Kildin Island.*

**Authors**

*Pavel V. Medvedev* – PhD (Geol.), senior scientific researcher of the Institute of Geology of the Karelian Scientific Centre RAS; e-mail: pmedved@krs.karelia.ru

*Yury L. Voytekhovskiy* – Dr. Sci. (Geol.), Professor, Director of the Geological Institute KSC RAS, Head of Dept. of the Apatity Branch of MSTU; e-mail: voyt@geoksc.apatity.ru

*Svetlana Yu. Chazhengina* – PhD (Geol.), scientific researcher of the Institute of Geology of the Karelian Scientific Centre RAS; e-mail: chazhengina@mail.ru

*Igor V. Chikiryov* – PhD (Geol.), Assistant Professor, Professor of the Apatity Branch of MSTU, scientific researcher of the Geological Institute KSC RAS; e-mail: officeaf@afmgtu.apatity.ru

**REFERENCES**

1. *Semihatov M.A.* Metodicheskaya osnova stratigrafii rifeya // Stratigrafiya. Geol. korrelyaciya. 1995. T. 3, № 6. S. 33–50.
2. *Krylov I.N., Lyubcov V.V.* Stromatolitovye bigermy ostrova Kil'din // Priroda i hozyajstvo Severa. Murmansk, 1976. Vyp. 4. S. 50–56.
3. *Raaben M.E., Lyubtsov V.V.* Stromatolites on Kildin Island, Kanin Peninsula (Russia) and Grasdalen Formation and Porsanger Dolomite (Northern Norway) // Norwegian-Russian Collaboration Programme «North Area», 1-st International Barents Symposium (Abstracts), 21–24 October 1993, Kirkenes, Norway. Abstract Volume. 1993. P. 33.
4. *Mihajlenko Yu.V., Ivanov N.F.* O rifejskih plastovyh stromatolitah karujarvinskoj svity poluoostrova Srednij (severnoe poberezh'e Kol'skogo poluoostrova) // Problemy sovremennoj palinologii: materialy XIII Rossijskoj palinologicheskoy konferencii. 2011. T. 1. S. 267–271.
5. *Mihajlenko Yu.V.* Sostav i mikrostruktura plastovyh stromatolitov karujarvinskoj svity p-ova Srednij (severo-vostochnoe obramlenie Kol'skogo poluoostrova) // Vestnik IG Komi NC RAN. 2015. № 5. S. 12–18.
6. *McLoughlin N., Melezhik V.A., Brasier A.T., and Medvedev P.V.* Palaeoproterozoic Stromatolites from the Lomagundi-Jatuli Interval of the Fennoscandian Shield // Earth's Oxygenation and Associated Global Events: The FAR-DEEP Perspective // 7.8 Traces of Life // Vol. 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project // Reading the Archive of Earth's Oxygenation (Springer Series: Frontiers in Earth Sciences) / V.A. Melezhik [et al.] (Eds.). Springer, 2013. XXII. 1552 p. P. 1298–1351.
7. *Allwood A.C., Walter M.R., Marshall C.P.* Raman spectroscopy reveals thermal palaeoenvironments of c. 3.5 billion-year-old organic matter // Vib. Spectrosc. 2006. Vol. 41. P. 190–197.
8. *Bower D.M.* Micro Raman spectroscopic investigations of mineral assemblages in parallel to bedding laminae in 2.9 Ga sandstones of the Pongola Supergroup, South Africa // J. Raman Spectrosc. 2011. Vol. 42. P. 1626–1633.
9. *Marshall C.P., Edwards H.G.M., Jehlicka J.* Understanding the application of Raman spectroscopy to the detection of traces of life // Astrobiology. 2010. Vol. 10. P. 229–243.
10. *Schopf J.W., Kudryavstev A.B.* Confocal laser scanning microscopy and Raman imagery of ancient microscopic fossils // Precambrian Res. 2009. Vol. 173. P. 39–49.
11. *Schopf J.W., Kudryavstev A.B., Agresti D.G., Czaja A.D., Wdowiak T.J.* Raman imagery: a new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils // Astrobiology. 2005. Vol. 5. P. 333–371.
12. Extending the applicability of the Raman carbonaceous-material geothermometer using data from contact metamorphic rocks / M. Aoya [et al.] // J. Metamorphic Geol. 2010. Vol. 28. P. 895–914.
13. *Beyssac O., Goffé B., Chopin C., Rouzaud J.-N.* Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer // J. Metamorphic Geol. 2002. Vol. 20. P. 859–871.
14. *Beyssac O., Bollinger L., Avouac J.P., Goffé B.* Thermal metamorphism in the lesser Himalaya of Nepal determined from Raman spectroscopy of carbonaceous material // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. Vol. 225. P. 233–241.
15. *Sforna M.C., van Zuilen M.A., Philippot P.* Structural

characterization by Raman hyperspectral mapping of organic carbon in the 3.46 billion-year-old Apex chert, Western Australia // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2014. Vol. 124. P. 18–33. **16.** *Van Zuilen M.A., Chaussidon M., Rollion-Bard C., Marty B.* Carbonaceous cherts of the Barberton greenstone belt, South Africa: isotopic, chemical and structural characteristics of individual microstructures. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2007. Vol. 71. P. 655–669. **17.** *Komar V.A.* Stromatolity verhnedokembrijskih otlozhenij severa Sibirskoj platformy. M.: Nauka, 1966. 122 s.

**L.S. Petrovskaya, V.P. Petrov, M.N. Petrovsky, A.V. Bazai**

**THE PROBLEM OF THERMODYNAMIC CONDITIONS FOR METAMORPHIC PROCESSES IN THE DEEP-SEATED SHEAR ZONES (CASE STUDY FROM LAPLAND-BELOMORIAN SUTURE)**

The thermodynamic conditions for different formations of lithochemical composition rocks with unequal degrees of deformation were obtained and correlated in the course of geological and petrological studies of the structural and material complexes within the Lapland-Belomorian tectonic suture. We have shown that the garnet-bearing mineral associations in the areas of intensive plastic deformations at comparable temperature conditions of formation are characterized with increased pressure and its high estimates for areas with weak manifestations of plastic deformation. This “increment” of the tectonic pressure reaches 2-4 kb compared to the background value within local areas.

*Keywords: metamorphism, thermodynamic conditions, tectonic shear zones, plastic deformations, mineral assemblages, overpressure.*

**Authors**

*Larisa S. Petrovskaya* – PhD (Geol.), scientific researcher of the Geological Institute KSC RAS; e-mail: petrovskaya@geoksc.apatity.ru

*Valentin P. Petrov* – Dr. Sci. (Geol.), Professor, KSC RAS; e-mail: petrov@admksk.apatity.ru

*Mikhail N. Petrovsky* – PhD (Geol.), senior scientific researcher of the Geological Institute KSC RAS; e-mail: petrovskiy@geoksc.apatity.ru

*Aya V. Bazay* – PhD (Geol.), scientific researcher of the Geological Institute KSC RAS; e-mail: a.bazai@mail.ru

**REFERENCES**

- 1.** *Belyaev O.A., Petrov V.P., Ryazhenova S.A.* Neodnorodnosti sostava granata iz gnejsov v zone sdvigovyh deformacij (Kol'skij poluostrov) // *ZVMO*. 2000. №1. S. 82–90.
- 2.** Voche-Lambinskij arhejskij geodinamicheskij poligon Kol'skogo poluostrova / pod red. *F.P. Mitrofanova i V.I. Pozhilenko*. Apatity, 1991. 196 s.
- 3.** *Hoisch T.D.* Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet // *Contrib. Mineral. and Petrol.* 1990. Vol. 104. P. 225–234.
- 4.** *Hoisch T.D.* Equilibria within the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase, and implication for the mixing properties of octahedrally-coordinated cations in muscovite and biotite. // *Contrib. Mineral. And Petrol.* 1991. Vol. 108. P. 43–54.
- 5.** Biotit-granat-kordieritovye ravovesiya i ehvolyuciya metamorfizma / *L.L. Perchuk [i dr.]*. M.: Nauka, 1983. 197 s.
- 6.** *Ghent E.D.* Geobarometry and geothermometry of plagioclase-biotite-garnet-muscovite assemblages / *E.D. Ghent, M.Z. Stout* // *Contrib. Miner. and Petrol.* 1981. Vol. 76. P. 92–97.
- 7.** *Wells P.R.A.* P-T conditions in the Moines of the Central Highlands, Scotland // *J. Geol. Soc. London*. 1979. Vol. 136. P. 663–671.
- 8.** *Kohn M.Y., Spear F.S.* Empirical calibration of geobarometers for the assemblage garnet + hornblende + plagioclase + quartz // *Amer. Miner.* 1989. Vol. 74. № 1-2. P. 77–84.
- 9.** *Geologiya rudnyh rajonov Murmanskoy oblasti / V.I. Pozhilenko [i dr.]*. Apatity: KNC RAN, 2002. 359 s.
- 10.** *Petrov V.P.* Metamorfizm rannego proterozoya Baltijskogo shchita. Apatity: KNC RAN, 1999. 325 s.
- 11.** *Predovskij A.A.* Rekonstrukciya uslovij sedimentogeneza i vulkanizma rannego dokembriya. L.: Nauka, 1980. 152 s.
- 12.** *Bayanova T.B., Chashchin V.V.* Novye rezul'taty radiologicheskogo datirovaniya kislyh metavulkanitov kislogubskoj i sejdorechenskoj svit // *Materialy Vserossijskogo paleovulkanicheskogo simpoziuma*. Petrozavodsk. 2011. S. 16–17.
- 13.** *Werner C.D.* Saxonian granulites – a contribution to the geochemical diagnosis of original rocks in high metamorphic complexes // *Gerlands Beitr. Geophys.* 1987. Vol. 96, № 3-4. P. 271–290.

**P.V. Amosov**

**APPLICATION OF NUMERICAL METHODS FOR CALCULATING DISTRIBUTION OF THE EMISSIVE PLATE'S TEMPERATURE TO SOLVE TASKS OF ENSURING HEAT DISCHARGE FROM A SPACE MODULE**

The paper introduces results on calculation of temperature distribution of the emissive plate (crosspiece) designed for heat discharge from a space module. The studies were carried out on the basis of numerical methods with applying COMSOL software. Due to insufficient computing resources, the length of the crosspiece was estimated by describing the temperature distribution graphs of a heat-carrier's by means of exponential dependences obtained on the models of a small-scale device.

*Keywords: heat discharge, space module, numerical methods, temperature distribution.*

**Author**

*Pavel V. Amosov* – PhD. (Eng.), senior scientific researcher of Mining Institute KSC RAS;  
e-mail: vosoma@goi.kolasc.net.ru

**REFERENCES**

1. *Ermolaeva Yu.O., Rizakhanov R.N., Sigalae S.K.* Primenenie analiticheskikh metodov rascheta raspredeleniya temperatury izluchayushhej plastiny dlya resheniya zadach obespecheniya teplosbrosa s borta kosmicheskogo apparata // *Izvestiya RAN. Ehnergetika.* 2014. № 1. S. 135–140.
2. *Amosov P.V.* Diffuzionnyj perenos radioaktivnykh veshhestv v obvodnennoj treshhinovatoj poristoj srede (model' odinochnoj treshhiny) // *Geoehkologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya.* 1999. № 1. S. 88–93.
3. *Amosov P.V.* Modelirovanie protsessa diffuzionnogo rasprostraneniya radioaktivnykh veshhestv v obvodnennoj treshhinovatoj poristoj srede (model' odinochnoj treshhiny) // *Geoehkologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya.* 2001. № 4. S. 390–395.
4. *Amosov P.V.* Uproshhennaya model' otsenki bezopasnosti podzemnogo zakhroneniya vysokoaktivnykh otkhodov i otrabotavshogo yadernogo topliva v kristallicheskikh porodakh (stsenarij normal'noj ehvolyutsii) // *Geoehkologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya.* 2002. № 6. S. 506–516.
5. *Amosov P.V.* Otsenka nakopleniya radionuklidov v razlichnykh zonakh modeli odinochnoj treshhiny // *Yadernaya fizika. Izvestiya vuzov.* 2007. № 4. S. 55–61.
6. *Ermolaeva Yu.O., Rizakhanov R.N., Sigalae S.K.* Analiticheskij raschet raspredeleniya temperatury izluchayushhej plastiny // *Izvestiya RAN. Ehnergetika.* 2012. № 5. S. 138–143.
7. *Amosov P.V.* Chislennoe modelirovanie raspredeleniya temperatury izluchayushhej plastiny // *Vestnik KNC RAN.* 2013. № 2. S. 17–21.
8. *Morkovkin A.V., Plotnikov A.D., Borisenko T.B.* Teplonositeli dlya vnutrennikh konturov sistem termoregulirovaniya pilotiruemykh kosmicheskikh apparatov // *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii.* 2013. № 1. S. 79–87.

**T.G. Kashulina, N.A. Kashulin, V.A. Dauvalter**

**LONG-TERM DYNAMICS OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF THE SHUONIJOUR SUBARCTIC LAKE UNDER THE CONDITIONS OF DECREASE IN ACID BURDEN**

Results of long-term researches (1990-2013) of changes in the main hydrochemical parameters of the Shuonijaur subarctic lake located in a zone of aero-technogenic influence of mining and metallurgical company "Pechenganikel" are summarized. The investigation has revealed a trustworthy increase in alkalinity and acid-neutralized ability of the lake water, decrease in the range of seasonal fluctuations of pH and alkalinities of the water, reduction of the contents of  $\text{SO}_4^{-2}$  in the lake water during monitoring resulted from a decrease in the burden of acid-forming agents owing to decrease in  $\text{SO}_2$  emission flow.

*Keywords: hydrochemistry, lake, Murmansk region, heavy metals, pollution, acidification.*

**Authors**

*Tatiana G. Kashulina* – PhD. (Eng.), Assistant Professor, Head of Group of the Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS; e-mail: tkash@inep.ksc.ru  
*Nikolay A. Kashulin* – Dr. Sci. (Biol.), Professor, Head of Laboratory on Aquatic Ecosystems, Vice-director on science of Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS; e-mail: nikolay@inep.ksc.ru  
*Vladimir A. Dauval'ter* – Dr. Sci. (Geogr.), Professor, major scientific researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS; e-mail: vladimir@inep.ksc.ru

REFERENCES

1. *Muniz L.P.* Effects of acidification on Scandinavian freshwater fish fauna // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1984. 305. P. 517–528.
2. *Hestagen T., Langeland A., Berger H.M.* Effect of acidification due to emissions from the Kola Peninsula on fish populations in lakes near the Russian border in northern Norway // *Water, Air and Soil Pollution*. 1998. Vol. 102. P. 17–36.
3. State of fish populations in small forest lakes in the Norwegian, Finnish and Russian area / *N.A. Kashulin [et al.]* // *State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. The Finnish Environment*, 6/2007. 47 p.
4. *Lappalainen A., Tamm J., Kashulin N.A.* The effect airborne emission from the Pechenganikel smelters on water quality and littoral fish communities of small watercourses in joint Finnish, Norwegian and Russian border area // *State of the Environment in the Norwegian, Finnish and Russian Border Area. The Finnish Environment*. 2007. No 6. 47 p.
5. A refinement of emission data Kola Peninsula based on inverse dispersion modeling / *M. Prank [et al.]* // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. Vol. 10. P. 849–865.
6. *Ehkologicheskij katalog ozer Murmanskoj oblasti. Severo-zapadnaya chast' Murmanskoj oblasti i prigranichnoj territorii sopredel'nyh stran: v 2 ch. / N.A. Kashulin [i dr.]*. Apatity: Izd. KNC RAN, 2009. CH. 1. 226 s.
7. *Catalogue of lakes in the Russian, Finnish and Norwegian Border Area / N.A. Kashulin [et al.]*. Finland, Kuopio: Kopijyva Oy. 2008. 141 p.
8. *Obnovlenie perechnya ehkologicheskikh «goryachih toчек» v rossijskoj chasti Barenceva regiona: Predlozheniya po ehkologicheski znachimym investicionnym proektam / Sekretariat AMAP*. Oslo, 2003. 111 s.
9. *Revich B.A.* Goryachie tochki himicheskogo zagryazneniya okruzhayushchej sredy i zdorov'ya naseleniya Rossii / pod red. *V.M. Zaharova*; *Obshchestvennaya palata RF*. M.: Akropol', 2007. 192 s.
10. *Monitoring okruzhayushchej sredy v zone vliyaniya OAO "Kol'skaya GMK" i rekul'tivaciya narushennyh zemel'*. 2010. URL: <http://www.kolagmk.ru/files/uploads/monitoring2010.ppt>
11. *Kontrol' kachestva vody: sprav. izd. M.: Standartinform*, 2010. 944 s.
12. *Fomin G.S. Voda. Kontrol' himicheskij, bakterial'noj i radiacionnoj bezopasnosti po mezhdunarodnym standartam. Ehnciklopedicheskij spravochnik*. 3-e izd. M.: Protektor, 2000. 848 s.
13. *Gidrohimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchej sredy: spravochnye materialy / T.V. Guseva [i dr.]*. M.: Ehkolajn, 2000. 87 c.
14. *ICP Waters Programmer Manual 2010. ICPWaters Report 105/2010*. Oslo: NIVA, November 2010. 91 p.
15. *Nikanorov A.M.* *Gidrohimiya: uchebnik*. 2-e izd. SPb.: *Gidrometeoizdat*, 2001. 444 s.
16. *Bashkin V.N., Kasimov N.S.* *Biogeohimiya*. M. Nauchnyj mir. 2004. 648 s.
17. *Lam D.C.L., Wong I., Swayne D.A., Storey J.A.* knowledge-based approach to regional acidification modelling. *Environmental Monitoring and Assessment*. 1992. Vol. 23. P. 83–97.

**V.C. Roldugin, A.V. Roldugin**

**VARIATIONS OF NA DOUBLET INTENSITY DURING AURORAL DISTURBANCES**

According to nocturnal spectral observations in Lovozero in winter 2012, the Na doublet 589.3 nm appears during every night. There is a correlation between its intensity and auroral emissions variation, first of all with 1PGN2. Sometimes, its enhancement occurs in the morning, it is correlated with appearance of acoustic-gravity waves.

*Keywords: Na 589.3 emission, aurora, acoustic–gravity waves*

**Authors**

*Valentin K. Roldugin* – PhD (Math.), senior scientific researcher of the Polar Geophysical Institute KSC RAS;

e-mail: rold\_val@pgia.ru

*Alexey V. Roldugin* – leading engineer of the Polar Geophysical Institute KSC RAS;

e-mail: roldugin\_a@pgia.ru

REFERENCES

1. *Hvostikov I.A.* Natrij v stratosfere. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1946. T. HKHKH, Vyp. 3–4. S. 184–244.
2. *Von Zahn, U., K.Y. Fricke, R. Gerndt, and T. Blix* Mesospheric temperatures and the OH layer height as derived from ground-based lidar and OH\* spectrometry // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1987. Vol. 49, № 8. P. 863–869.
3. *Von Zahn U., von der Gathen P. and Hansen G.* Forced release of sodium from upper atmospheric dust particles // *Jeoph. Res. Lett.* 1987. Vol. 14, № 1. P. 76–79.
4. *Chemberlen Dzh.* *Fizika polyarnyh siyanij i izlucheniya atmosfery*. M.: Izd-vo inostrannoju literatury, 1963. 228 s.
5. *Clemesha B.R., Simonich D.M.* Comments on a paper entitled “Sudden neutral sodium layers: a strong link to sporadic E layers” / by U. von Zahn, T.L. Hansen, *J. Atmos // Terr. Phys.* 1989. Vol. 51, № 2. P. 145–147.
6. *Von Zahn U., Hansen T.L.* Reply to comments by B.R. Clemesha and D.M. Simonich on a paper entitled “Sudden

neutral sodium layers: a strong link to sporadic E layers" // J. Atmos. Terr. Phys. 1989. Vol. 51, No 2. P. 147–151. **7.** Meridional'nyj spektrometr / A.V. Roldugin [i dr.] // Pribory i tekhnika ehksperimenta. 2007. T. 50, № 5. S. 130–137.

**V.S. Mingalev, I.V. Mingalev, K.G. Orlov**

**STUDY OF THE ATMOSPHERIC CIRCULATION BY MEANS OF SPATIAL THREE-DIMENSIONAL MATHEMATICAL MODELS DEVELOPED IN THE POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE DURING THE LATEST TWO DECADES**

A review of theoretical works carried out by scientists from the Polar Geophysical Institute during the latest period of about two decades is presented. These researches were devoted to development and applications of mathematical models of large-scale three-dimensional circulation into the lower and middle atmosphere. The developed mathematical models were utilized for numerical investigation of the initial formation of cyclonic vortices at polar and tropical regions and for numerical modeling of the global circulation of the atmosphere. Simulations of the global circulation were performed not only for the Earth's atmosphere but also for atmospheres of other planets, in particular, for atmospheres of Titan and Venus.

*Keywords: Polar Geophysical Institute, atmospheric circulation, cyclonic vortices, mathematical modeling.*

**Authors**

*Victor S. Mingalev* – Dr. Sci. (Math.), Professor, Head of group of the Polar Geophysical Institute KSC RAS; e-mail: mingalev@pgia.ru

*Igor V. Mingalev* – PhD (Math.), senior scientific researcher of the Polar Geophysical Institute KSC RAS; e-mail: mingalev\_i@pgia.ru

*Konstantin G. Orlov* – PhD (Math.), scientific researcher of the Polar Geophysical Institute KSC RAS; e-mail: orlov@pgia.ru

**REFERENCES**

- 1.** *Mingalev V.S., Mingaleva G.I.* Matematicheskie modeli povedeniya D-, E- i F-sloev ionosfery, razrabotannye v Polyarnom geofizicheskom institute za 50 let ego sushchestvovaniya // Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN. 2010. № 2. S. 25–35. **2.** O mekhanizme vozniknoveniya krupnomasshtabnogo vihrya v troposfere nad neravnomerno nagretoj poverhnost'yu / O.M. Belocerkovskij [i dr.] // Doklady RAN. 2006. T. 410, N 6. S. 816–820. **3.** Obrazovanie krupnomasshtabnyh vihrej v sdvigovyh techeniyah v nizhnej atmosfere v oblasti tropicheskikh shirot / O.M. Belocerkovskij [i dr.] // Kosmicheskie issledovaniya. 2009. T. 47, № 6. S. 501–514. **4.** *Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.* Mekhanizm formirovaniya polyarnykh ciklonov i vozmozhnost' ih prognoza // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2011. T. 8, № 1. S. 255–262. **5.** *Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.* Mekhanizm formirovaniya polyarnykh ciklonov i vozmozhnost' ih predskazaniya po dannym sputnikovyh nablyudenij // Kosmicheskie issledovaniya. 2012. T. 50, № 2. S. 166–175. **6.** *Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.* Modelirovanie ciklonicheskoy deyatel'nosti v atmosfere severnykh regionov // Ehkologicheskie problemy severnykh regionov i puti ih resheniya: materialy IV Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, g. Apatity, 2–5 oktyabrya 2012 g. Apatity: KNC RAN, 2012. CH. 2. S. 46–50. **7.** *Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.* Simulation study of the mechanism of the formation of polar cyclones at high latitudes of the northern hemisphere // Proceedings of the 36-th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 26 February – 1 March 2013. Apatity: KSC RAS, 2013. P. 193–196. **8.** *Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.* Modelirovanie zarozhdeniya vihrevykh techenij v arkticheskoy atmosfere // Materialy XII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Kompleksnye issledovaniya prirody Shpicbergena i prilgayushchego shel'fa», g. Murmansk, 6–8 noyabrya 2014 g. M.: GEOS, 2014. Vyp. 12. S. 215–219. **9.** *Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.* A modeling study of the initial formation of polar lows in the vicinity of the arctic front // Advances in Meteorology. Vol. 2014. Article ID 970547. 10 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/970547>. **10.** Mekhanizm vozniknoveniya ciklonicheskikh vozmushchenij v oblasti VZK i ih rannee obnaruzhenie / *Mingalev I.V.* [i dr.] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2010. T. 7, № 1. S. 112–125. **11.** Vozmozhnost' predskazaniya obrazovaniya tropicheskikh ciklonov i uraganov po dannym sputnikovyh nablyudenij / *I.V. Mingalev* [i dr.] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2011. T. 8, № 3. S. 290–296. **12.** Time-dependent modeling of the initial stage of the formation of cyclones in the intertropical convergence

zone of the northern hemisphere / *I.V. Mingalev [i dr.]* // Proc. of the 33rd Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 02-05 March, 2010. Apatity: KSC RAS, 2011. P. 182-185.

**13.** Simulation study of the initial stage of the origin of cyclonic and anticyclonic pairs in the intratropical convergence zone / *I.V. Mingalev [i dr.]* // Proceedings of the 34th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 1–4 March 2011. Apatity: KSC RAS, 2011. P. 189–192.

**14.** Chislennoe modelirovanie formirovaniya ciklonicheskikh vihrevykh techenij v oblasti vnutritropicheskoy zony konvergencii i ih rannee obnaruzhenie / *I.V. Mingalev [i dr.]* // Kosmicheskie issledovaniya. 2012. T. 50, № 3. S. 242–257.

**15.** Vliyanie geometrii techeniya vozdushnykh mass v oblasti vnutritropicheskoy zony konvergencii na process formirovaniya ciklonicheskikh vihrej / *I.V. Mingalev [i dr.]* // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2012. T. 9, № 4. S. 154–161.

**16.** A simulation study of the formation of large-scale cyclonic and anticyclonic vortices in the vicinity of the intertropical convergence zone / *I.V. Mingalev [i dr.]* // ISRN Geophysics. 2013. Article ID 215362. 12 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/215362>.

**17.** Numerical simulation of the initial stage of the formation of large-scale cyclonic vortices in the vicinity of the intratropical convergence zone / *I.V. Mingalev [i dr.]* // Proceedings of the 36-th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 26 February – 1 March, 2013. Apatity: KSC RAS, 2013. P. 189–192.

**18.** Numerical modeling of the initial formation of cyclonic vortices at tropical latitudes / *I.V. Mingalev [i dr.]* // Atmospheric and Climate Sciences. 2014. Vol. 4. P. 899–906. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.45079>.

**19.** Numerical modeling of the initial stage of the origin of cyclonic vortices in the vicinity of the intertropical convergence zone / *I.V. Mingalev [i dr.]* // Proceedings of the 37th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 25–28 February, 2014. Apatity: KSC RAS, 2014. P. 113–116.

**20.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S.* A numerical global model of the horizontal and vertical wind in the lower and middle atmosphere // Proc. of the 24-th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 27 February – 2 March, 2001. Apatity, 2001. P. 140–143.

**21.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S.* Simulation of circumpolar vortex flows in the lower and middle atmosphere for July conditions // Proc. of the 26-th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 25–28 February 2003. Apatity: KSC RAS, 2003. P. 239–242.

**22.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S.* Chislennoe modelirovanie trekhmernoj krupnomasshtabnoj cirkulyacii arkticheskoy atmosfery v letnih usloviyah // Ehkologicheskie problemy severnykh regionov i puti ih resheniya: materialy mezhdunarodnoj konferencii, g. Apatity, 31 avgusta – 03 sentyabrya 2004 g. / IPPEHS KNC RAN. Apatity, 2004. Ch. 2. S. 172–173.

**23.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S.* On the influence of the Earth's rotation on the formation of the planetary circulation of the lower and middle atmosphere // Proc. of the 27 th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 2–5 March, 2004. P. 125–128.

**24.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S.* Model simulation of global distributions of the horizontal and vertical wind in the middle atmosphere for July conditions // Proc. of the 5-th International Conference «Problems of Geocosmos» (St.-Petersburg, Russia, 24–28 May, 2004). 2004. P. 359–362.

**25.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S.* Model' obshchej cirkulyacii nizhnej i srednej atmosfery Zemli pri zadannom raspredelenii temperatury // Matematicheskoe modelirovanie. 2005. T. 17, № 5. S. 24–40.

**26.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S.* Modelirovanie osobennostej krupnomasshtabnoj cirkulyacii atmosfery Arktiki v raznye sezony // Kompleksnye issledovaniya prirody SHpicbergena. Vyp. 6 // Sb. materialov VI Mezhdunarodnoj konferencii, Murmansk, oktyabr', 2006. Apatity: KNC RAN, 2006. S. 76–80.

**27.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S., Mingaleva G.I.* Numerical simulation of the global distributions of the horizontal and vertical wind in the middle atmosphere using a given neutral gas temperature field // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2007. Vol. 69, No 4/5. P. 552–568.

**28.** Hedin A.E. Extension of the MSIS thermosphere model into the middle and lower atmosphere // J Geophys. Res. 1991. Vol. 96, No A12. P. 1159–1172.

**29.** *Picone J.M., Hedin A.E., Drob D.P., Aikin A.C.* NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107A, (SIA15). P. 1–16.

**30.** *Mingalev I.V., Mingalev O.V., Mingalev V.S.* Chislennoe issledovanie vliyaniya gorizontal'noj neodnorodnosti temperatury i nesferichnosti zemli na global'nuyu cirkulyaciyu srednej atmosfery // Vychislitel'nye tekhnologii v estestvennykh naukah. Sistemy global'nogo masshtaba: trudy seminara, g. Tarusa, 9–11 iyunya 2010 g. M.: IKI RAN, 2011. S. 65–78.

**31.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S., Kulikov A.A.* Model simulation of circumpolar vortex flows in the Earth's atmosphere for different seasons // Proc. of the 30th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 27 February – 2 March 2007. Apatity: KSC RAS, 2008. P. 222–225.

**32.** *Mingalev I.V., Mingalev O.V., Mingalev V.S.* Model simulation of the global circulation in the middle atmosphere for January conditions // Advances in Geosciences. 2008. Vol. 15, No 4. P. 11–16.

**33.** *Mingalev I.V., Mingalev V.S., Kulikov A.A.* Chislennoe modelirovanie sezonnykh izmenenij trekhmernoj krupnomasshtabnoj cirkulyacii arkticheskoy atmosfery // Ehkologicheskie problemy severnykh

regionov i puti ih resheniya: materialy vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastie, Apatity, 14–16 oktyabrya 2008. Ch. 2. Apatity: KNC RAN, 2008. S. 155–158. **34. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Orlov K.G.** Modelirovanie izmenenij krupnomasshtabnoj cirkulyacii atmosfery Arktiki pri perekhode ot leta k zime // Priroda shel'fa i arhipelagov evropejskoj Arktiki: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, g. Murmansk, 9–11 noyabrya 2008 g. M.: GEOS, 2008. Vyp. 8. S. 238–241. **35. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Kulikov A.A.** Chislennoe issledovanie sezonnyh variacij global'noj sistemy nejtral'nogo vetra v srednej atmosfere Zemli // Solnechno-zemnaya fizika: trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Mezhdunarodnyj geliofizicheskij god-2007: novyj vzglyad na solnechno-zemnyu fiziku». Zvenigorod, noyabr' 2007. Irkutsk: ISZF SO RAN, 2008. Vyp. 12. T. 2. S. 284–286. **36. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Kulikov A.A.** A model study of the transformation of the global circulation of the lower and middle atmosphere during the period from June to December // Proc. of the 31-st Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 26–29 February, 2008. Apatity: KSC RAS, 2009. P. 192–195. **37. Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.** A simulation study of the transformation of circumpolar vortex flows of the lower and middle atmosphere during the period from January to June // Proc. of the 32nd Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 03–06 March, 2009. Apatity: KSC RAS, 2010. P. 203–206. **38. Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.** Modelirovanie izmenenij cirkulyacii atmosfery severnogo polushariya pri perekhode ot zimy k letu // Ehkologicheskie problemy severnyh regionov i puti ih resheniya: materialy 3-j vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, g. Apatity, 4–8 oktyabrya 2010. Apatity: KNC RAN, 2010. CH. 2. S. 80–83. **39. Mingalev I.V., Mingalev V.S., Mingaleva G.I.** Numerical simulation of the global neutral wind system of the Earth's middle atmosphere for different seasons // Atmosphere. 2012. Vol. 3. P. 213–228; doi: 10.3390/atmos 3010213. **40. Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.** A computational study of the transformation of global gas flows in the Earth's atmosphere over the course of a year // Open Journal of Fluid Dynamics. 2014. Vol. 4. P. 379–402. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/ojfd.2014.44029>. **41. Mingalev I., Mingalev V.** Numerical modeling of the influence of solar activity on the global circulation in the Earth's mesosphere and lower thermosphere // International Journal of Geophysics. 2012. Article ID 106035. 15 p. doi:10.1155/2012/106035. **42. Mingalev I.V., Mingaleva G.I., Mingalev V.S.** Vliyanie solnechnoj aktivnosti na krupnomasshtabnyu cirkulyaciyu arkticheskoy srednej atmosfery v letnih usloviyah // Kompleksnye issledovaniya prirody SHpicbergena: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, g. Murmansk, 1–3 noyabrya 2012 g. Vyp. 11. M.: GEOS, 2012. S. 190–195. **43. Mingalev I.V., Mingaleva G.I., Mingalev V.S.** A model study of how solar activity affects the global circulation of the middle atmosphere for January conditions // Proceedings of the 35-th Annual Seminar on Physics of Auroral Phenomena, Apatity, 28 February – 2 March, 2012. Apatity: KSC RAS, 2012. P. 133–136. **44. Mingalev I.V., Mingaleva G.I., Mingalev V.S.** Numerical modeling the influence of magnetic activity on the global circulation of the middle atmosphere for January conditions // Proceedings of the 36th Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 26 February–1 March, 2013. Apatity: KSC RAS, 2013. P. 155–158. **45. Mingalev I., Mingaleva G., Mingalev V.** A simulation study of the effect of geomagnetic activity on the global circulation in the Earth's middle atmosphere // Atmospheric and Climate Sciences. 2013. Vol. 3, No 3A. P. 8–19. doi:10.4236/acs.2013.33A002. URL: <http://www.scirp.org/journal/acs>. **46. Orlov K.G., Mingalev I.V., Mingalev V.S.** Model' obshchej cirkulyacii atmosfery Zemli s uchetom rel'efa poverhnosti // Trudy nauchnoj konferencii «Vysokoshirotnye geofizicheskie issledovaniya», (Murmansk, 24–25 oktyabrya 2013 g.). Murmansk: KNC RAN, 2013. S. 108–113. **47.** Obobshchenie monotonnoj gibridnoj skhemy vtorogo poryadka dlya uravnenij gazovoj dinamiki na sluchaj neregulyarnoj prostranstvennoj setki / V.S. Mingalev [i dr.] // Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki. 2010. T. 50, No 5. S. 923–936. **48.** First simulation results of Titan's atmosphere dynamics with a global 3-D non-hydrostatic circulation model / V.S. Mingalev [i dr.] // Annales Geophysicae. 2006. Vol. 24, № 8. P. 2115–2129. **49.** Chislennoe modelirovanie cirkulyacii atmosfery Titana: interpretaciya izmerenij zonda HUYGENS / I.V. Mingalev i dr. // Kosmicheskie issledovaniya. 2009. T. 47, No 2. S. 134–145. **50. Orlov K.G., Mingalev I.V., Rodin A.V.** Negidrostaticheskaya model' obshchej cirkulyacii atmosfery Venery i rezul'taty ee primeneniya // Vychislitel'nye tekhnologii v estestvennyh naukah. Sistemy global'nogo masshtaba: trudy seminara, g. Tarusa, 9–11 iyunya 2010 g. M.: IKI RAN, 2011. S. 49–56. **51. Orlov K.G., Mingalev I.V., Rodin A.V.** Chislennoe modelirovanie obshchej cirkulyacii atmosfery Venery s ispol'zovaniem regul'arnoj i neregulyarnoj prostranstvennyh setok // Trudy VII Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoj shkoly «Matematicheskie issledovaniya v estestvennyh naukah», posvyashchennoj 300-letiyu so dnya rozhdeniya M.V. Lomonosova, g. Apatity, 3–6 oktyabrya 2011 g. Apatity: K&M, 2011. S. 113–118. **52. Mingalev I.V., Rodin A.V., Orlov K.G.** Negidrostaticheskaya model' obshchej cirkulyacii atmosfery Venery

// *Astronomicheskij vestnik*. 2012. T. 46, No 4. S. 282–296. **53.** Orlov K.G., Mingalev I.V., Rodin A.V. Vliyanie rel'efa poverhnosti na obshchuyu cirkulyaciyu atmosfery Venery // Trudy nauchnoj konferencii «Vysokoshirotnye geofizicheskie issledovaniya», g. Murmansk, 18–19 oktyabrya 2012 g. Apatity: KNC RAN, 2012. S. 88–91. **54.** Orlov K.G., Mingalev I.V., Rodin A.V. Model' obshchej cirkulyacii atmosfery Venery s uchetom rel'efa poverhnosti // Trudy VIII Vserossijskoj nauchnoj shkoly «Matematicheskie issledovaniya v estestvennyh naukah», g. Apatity, 15–16 oktyabrya 2012 g. Apatity: K&M, 2012. S. 82–88. **55.** Mingalev I.V., Rodin A.V., Orlov K.G. Chislennoe modelirovanie obshchej cirkulyacii atmosfery Venery. Vliyanie rel'efa poverhnosti i rezhima nagreva izlucheniem // *Astronomicheskij vestnik*. 2015. T. 49, № 1. S. 27–45. **56.** Smith A.K., Garcia R.R., Marsh D.R., Richter J.H. WACCM simulations of the mean circulation and trace species transport in the winter mesosphere // *J. Geophys. Res.* 2011. Vol. 116. D. JGRD. 11620115S. doi:10.1029/2011JD016083.

#### **A.V. Melekhin**

#### **LICHENS NEW TO THE MURMANSK REGION AND ITS BIOGEOGRAPHIC PROVINCES**

Rhizocarpon intersitum is reported in the Murmansk Province for the first time. Five lichens were new to the region. For biogeographic provinces of the Murmansk region, 82 new species of lichens are reported. 5 species were known for these biogeographic provinces by literary sources only. Data are given on the distribution of recently found species.

*Keywords:* Lichens, Murmansk province, distribution of lichens, ecology, biodiversity.

#### **Author**

Alexey V. Melekhin – PhD (Biol.), scientific researcher; e-mail: melihen@yandex.ru

#### **REFERENCES**

1. Nordin A., Moberg R., Tønsberg T., Vitikainen O., Dalsätt Å., Myrdal M., Snitting D. & Ekman S. Santesson's checklist of Fennoscandian lichen-forming and lichenicolous fungi. Museum of Evolution. Uppsala University. URL: [http://130.238.83.220/santesson/Santesson\\_manual.pdf](http://130.238.83.220/santesson/Santesson_manual.pdf).
2. Urbanavichus G., Ahti T., Urbanavichene I. Catalogue of lichens and allied fungi of Murmansk Region, Russia // *Norrlinia*. 2008. 17. P. 1–80.
3. GBIF. URL: <http://gbif.org>.
4. Opredelitel' lishajnikov Rossii. Bacidievye, Katilyarievye, Lekanorovye, Megalariievye, Mikobilimbievye, Rizokarpovye, Trapelievye. SPb.: Nauka, 2003. No 8. 277 s.
5. Timdal E. & Holtan-Hartwig J.A preliminary key to Rhizocarpon in Scandinavia // *Graphis Scripta*. 2. 1988. P. 41–54.
6. Melekhin A.V. Novye dlya Rossii i Murmanskoy oblasti lishajniki iz Laplandskogo zapovednika // *Botanicheskij zhurnal*. 2009. 94(2). S. 289–292.

**V.A. Masloboev, S.N. Vinogradova, V.V. Didyk, E.M. Klyuchnikova, E.A. Korczak, T.A. Mingaleva, V.N. Petrov, L.A. Ryabova**

#### **MINING IN THE ARCTIC IN REGARD TO SOCIAL SUSTAINABILITY**

The mining industry is becoming the leading industry of the Barents region. In this regard, there are certain challenges and risks for the region: the population is concerned about the irreversible environmental changes due to negative effects of mining activities and fewer opportunities for the development of other livelihoods also. In order to escape the expenditures related to conflicts with local communities, we recommend the companies to apply a concept of “social license to operate” in the North during the development of their social policy. Such approach will not only decrease the reputational losses of the company but bring additional profits related to more reasonable use of the potential of the local communities in the company's activities. To receive the social license to operate, the companies should take care for the social sustainability of the local communities, which is provided by living standards and favorable environment. That's why the companies should follow the environmental requirements, search for new environmentally friendly technologies of production, processing and waste treatment. The company should set such a long-term goal as the real assessment of environmental expenditures of the company and include them into the value of the final product. Self-regulation of the companies should be based upon striving for a real dialog with the local communities and the regard for the interest of the local business. The opinion and interests of indigenous peoples should be taken into consideration during the development of new mining projects at the earliest stages, because they will actively protect their interests in case of potential risks.

*Keywords: sustainable development, mining industry, North, Barents region, social license to operate, social sustainability, subsoil, self-regulation, indigenous peoples.*

### Authors

*Vladimir A. Masloboev* – Dr. Sci. (Eng.), Vice-Chairman of KSC RAS, Director of the Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS; e-mail: masloboev@ksc.ru

*Svetlana N. Vinogradova* – PhD (Econ.), scientific researcher of the Humanities Centre KSC RAS; e-mail: svetikvin@mail.ru

*Vladimir V. Didyk* – PhD (Econ.), Assistant Professor, Vice Director of the Institute of Economical Problems KSC RAS.

*Elena M. Klyuchnikova* – PhD (Econ.), Assistant Professor, Head of Group of the Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS; e-mail: kem@inep.ksc.ru

*Elena A. Korchak* – PhD (Econ.), senior scientific researcher of the Institute of Economical Problems KSC RAS; e-mail: korchak@iep.kolasc.net.ru

*Tatiana A. Mingaleva* – PhD (Econ.), leading engineer of the Institute of Economical Problems KSC RAS; e-mail: mingalevat@mail.ru

*Victor N. Petrov* – Council Chairman of the Murmansk Regional Social Organization “Kola Centre of the Wild Nature Protection”; e-mail: victor.n.petrov@gmail.com

### REFERENCES

1. *Popod'ko G.I.* Social'naya ustojchivost' ehkonomicheskoy sistemy // European Social Science Journal. 2011. № 10. S. 392–398.
2. *Gerring J.* Case study research: principles and practices // Cambridge: Cambridge University Press. 2007. P. 265.
3. Environmental regulation and competitiveness in the mining industry: Permitting processes with special focus on Finland, Sweden and Russia / *K. Söderholm [et al.]* // Resources Policy. 2015. Vol. 43. P. 130–142.
4. *Riabova L., Didyk V.* Social license to operate for mining companies in the Russian Arctic: two cases in the Murmansk region. ArcticYearbook-2015. URL: <http://www.arcticyearbook.com/index.php/briefing-notes2014/120-social-license-to-operate-for-mining-companies-in-the-russian-arctic-two-cases-in-the-murmansk-region> (data obrashcheniya 10.09.2015).
5. *Nysten-Haarala S., Klyuchnikova E., Helenius H.* Law and self-regulation—Substitutes or complements in gaining social acceptance? // Resources Policy. 2015. Vol. 45. P. 52–64.
6. *Prno J., Slocombe D.S.* Exploring the origins of 'social license to operate' in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories // Resource Policy. 2012. Vol. 37. P. 346–357.
7. *Thomson, I., Boutilier, R.G.* The social license to operate // SME Mining Engineering Handbook / P. Darling (Ed.). Littleton, Co. 2011. P. 1779–1790.
8. *Snegov V.V., Dyadik V.V.* Ocenka potenciala uchastiya krupnogo biznesa v social'no-ehkonomicheskom razvitii Arkticheskogo regiona // Ehkonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz. 2013. № 2(26). S. 29–39.
9. Legal Protection of Sami Traditional Livelihoods from the Adverse Impacts of Mining: A Comparison of the Level of Protection Enjoyed by Sami in Their Four Home States / *T. Koivurova [et al.]* // Arctic Review on Law and Politics. 2015. Vol. 1. P. 11–51.
10. *Vinogradova S.N., Masloboev V.A.* Dobycha poleznyh iskopaemyh na tradicionnyh territoriyah korennyh malochislennyh narodov Severa: osobennosti, problemy, mekhanizmy regulirovaniya // Arktika: ehkonomika i ehkologiya. 2015. № 2(18). S. 96–103.

**V.S. Selin, Y.V. Vyshinskay**

### PRESENT-DAY ECONOMICS OF ARCTIC REGIONS AND CORPORATIONS

This article discusses the specifics of economic dynamics in Arctic regions of Russia. Their contradictoriness looks to be in the following. In terms of gross domestic product per capita those regions are significantly ahead of average Russian indices, but in real money incomes, by contrast, they are equally significantly behind. This situation objectively does not meet the strategic interests of the Arctic development. The economy of the Arctic regions is based on resource-feedstock corporations that hamper the growth of wages in conditions of monopsony labour market. On the other hand, these corporations are an important element of the sustainability of the economic system, not only at the regional level but at national levels also. It is substantiated, that resource companies are quite resistant even under sanctions, and may well serve as a «locomotive» of innovation processes.

*Keywords: economics, Arctic, regions, products, income, resources, corporations, stability, sanctions, development.*

#### **Authors**

*Vladimir S. Selin* – Dr. Sci. (Econ/), Professor, Chief Researcher Luzin Institute for Economic Studies of KSC of the RAS; e-mail: silin@iep.kolasc.net.ru

*Yuliya V. Vyshinskay* – Junior researcher Luzin Institute for Economic Studies of KSC of the RAS; e-mail: yulya@iep.kolasc.net.ru

#### **REFERENCES**

1. *Vasil'ev A.V.* Arktika: novyj vektor razvitiya // Arktika. Ehkologiya i ehkonomika. 2011. № 1. S. 20–25.
2. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federatsii «Sotsial'no-ehkonomicheskoe razvitie Arkticheskoy zony Rossijskoj Federatsii na period do 2020 goda»: postanovlenie Pravitel'stva RF № 366 ot 21 aprelya 2014 g. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_162195/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162195/)
3. O sukhoputnykh territoriyakh Arkticheskoy zony Rossijskoj Federatsii: ukaz Prezidenta RF ot 2 maya 2014 g. № 296. URL: <http://prezident.rf/dokumenty/20895>
4. Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2014: stat. sb. / Rosstat. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/dbinet.cgi?pl=2340036>
5. *Simoniya N.* Slantsevyy gaz luchshe dobyvat' v strane, kotoruyu ne zhalko. URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx> (data obrashheniya: 25.12.2014).
6. Preodolenie raznoglasij v voprosakh bezopasnosti v 2015 godu. Pozitsii ehkspertov Rossii, SShA i ES. URL: [http://www.russianconcil.ru/inner/?id\\_4=5539](http://www.russianconcil.ru/inner/?id_4=5539) (data obrashheniya: 30.03.2015).
7. 400 krupnejshikh kompanij Rossii // EHkspert № 39(772) za 2011 god № 39(821) za 2012 g., № 40(870) za 2013 g. i № 43(861) za 2014 g.
8. Devyat' sakhalinskikh proektov // TEHK Rossii. 2014. № 8. S. 16–27.
9. *Ryul' KH.* VR: prognoz razvitiya mirovoj ehnergetiki do 2030 goda // Voprosy ehkonomiki. 2014. № 5. S. 109–127.
10. *Selin V.S., Tsukerman V.A.* Innovatsionnoe razvitie Rossii i resursno-syr'evoy komplekst Severa // Modernizatsiya, innovatsii, razvitie. 2013. № 4. S. 61–67.
11. PAO «Severstal'». URL: [http://www.severstal.com/rus/about/company\\_profile/index.phtml](http://www.severstal.com/rus/about/company_profile/index.phtml) (data obrashheniya: 19.01.2015).
12. Godovoj otchet OAO «GMK Noril'skij nikel'» za 2013 g. URL: <http://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=564&type=2> (data obrashheniya: 19.01.2015).
13. *Larichkin F.D., Vorob'ev A.G., Novosel'tseva V.D.* Kon'yunktura proizvodstva i potrebleniya fosfatnogo syr'ya i udobrenij // Gornyj zhurnal. 2013. № 7. S. 41–44.
14. *Pavlov K.V., Selin I.V.* Tovarnaya i innovatsionnaya politika v sfere proizvodstva mineral'nykh udobrenij // Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'. 2012. № 6(147). S. 13–19.
15. Prezentatsiya perspektiv // Kirovskij rabochij. 2014. № 48. S. 4.
16. Posledstviya sanktsij protiv Rossii dlya gorno-metallurgicheskikh kompanij i tsenoobrazovaniya na global'nykh syr'evykh ryunkakh. URL: <http://www.minexrussia.com/2014/ru/opinion-effect-of-sanctions/> (data obrashheniya: 25.03.2015).
17. *Tsukerman V.A.* Konceptual'nye osnovy innovacionnogo promyshlennogo razvitija Severa i Arktiki // Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo porjadka. 2012. № 3. S. 139–143.

#### **A.Ya. Fridman**

#### **INTERPRETATION OF THE SITUATIONAL CONCEPTUAL MODEL OF SPATIAL DYNAMIC OBJECTS AS A FORMAL SYSTEM**

Matters of modelling complex dynamic objects (CDOs) are considered for poorly formalizable subject domains. The situational conceptual model earlier proposed for such objects is interpreted as a semiotic formal system. This idea provides integration of different means to investigate CDOs, namely combined logical and analytic data processing and situational CDOs state analysis with usage expert knowledge and consideration of spatially-temporal dependencies among CDOs parameters basing on cartographical information.

*Keywords: conceptual model, spatial dynamic object, semiotic formal system.*

#### **Author**

*Alexander Ya. Fridman* – Dr. Sci. (Eng), Professor, leading scientific researcher of the Institute for Informatics and Mathematical Modelling KSC RAS; e-mail: fridman@iimm.ru

REFERENCES

1. *Kuz'min I.A., Putilov V.A., Fil'chakov V.V.* Raspredeleonnaya obrabotka informacii v nauchnyh issledovaniyah. L.: Nauka, 1991. 304 s.
2. *Cikritzis D., Lohovski F.* Modeli dannyh. M.: Finansy i statistika, 1985. 420 s.
3. *Samarskij A.A.* Vvedenie v chislennye metody. M.: Nauka, 1987. 288 s.
4. *Brzhezovskij A.V., Fil'chakov V.V.* Konceptual'nyj analiz vychislitel'nyh sistem. SPb: LIAP, 1991. 78 s.
5. *Fridman A.Ya.* Situacionnoe upravlenie strukturaj promyshlennno-prirodnih sistem. Metody i modeli. Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 530 s.
6. *Pospelov D.A.* Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika. M.: Nauka, 1986. 288 s.
7. *Mitchel E.H.* Rukovodstvo ESRI po GIS-analizu. ESRI, Inc, 1999. T. 1. 190 s.
8. Konceptual'noe modelirovanie informacionnyh sistem. Pod red. V.V. Fil'chakova. SPb: SPVUREH PVO, 1998. 356 c.
9. Avtomaticheskoe porozhdenie gipotez v intellektual'nyh sistemah. Sost. E.S. Pankratova, V.K. Finn. M.: LIBROKOM, 2009. 528 s.
10. *Darwiche A.* Modeling and Reasoning with Bayesian Networks. Cambridge University Press, 2009. 526 p.

**A.E. Veselov, A.S. Karpov, V.V. Yaroshevich, G.P. Fastiy, E.A. Tokareva**

**DEVELOPMENT OF A NEW STRUCTURE FOR ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS OF 6 AND 10 KV INDUSTRIAL POWER SUPPLY SYSTEMS**

Fundamentally new schemes of distribution networks 6 (10) kV with parallel sections are proposed and thoroughly analyzed. The options are considered to include current-limiting devices in the chains linking sections, that allows to improve the power quality and to limit short circuit currents in industrial electrical networks.

*Keywords: power supply system, electric distribution network, busbars, transformer substations, current limiting devices, power quality.*

**Authors**

*Anatoly E. Veselov* – PhD (Eng.), scientific researcher of the Centre of Physical and Technical Problems of the Northern Energetics KSC RAS; e-mail: aeveselov@ien.kolasc.net.ru

*Alexey S. Karpov* – PhD (Eng.), scientific researcher of the Physical and Technical Problems of the Northern Energetics KSC RAS; e-mail: asc\_apatity@mail.ru

*Vera V. Yaroshevich* – scientific researcher of the Physical and Technical Problems of the Northern Energetics KSC RAS; e-mail: yaroshevich\_vera@mail.ru

*Galina P. Fastiy* – scientific researcher of the Physical and Technical Problems of the Northern Energetics KSC RAS; e-mail: fastiy@ien.kolasc.net.ru

*Evgeniya A. Tokareva* – scientific researcher of the Physical and Technical Problems of the Northern Energetics KSC RAS; e-mail: tokarevaea@ien.kolasc.net.ru

REFERENCES

1. *Kuchumov L.A., Utegulov N.I.* Primenenie v raspredelitel'nyh ehlektricheskikh setyah sdvoennyh reaktorov v sochetanii s tokoogranichivayushchimi ustrojstvami // Ehlektrichestvo. 1976. № 12. S. 8–13.
2. GOST 13109-97. Ehlektricheskaya ehnergija. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv ehlektromagnitnaya. Normy kachestva ehlektricheskoy ehnergii v sistemah ehlektrosnabzheniya obshchego naznacheniya.
3. *Nevretdinov YU.M., Fastij G.P., Yaroshevich V.V.* Problemy lokalizacii istochnika iskazhenij kachestva ehlektroehnergii // Sbornik dokladov desyatoj Rossijskoj nauchno-tekhnicheskaj konferencii po ehlektromagnitnoj sovmetimosti tekhnicheskikh sredstv i ehlektromagnitnoj bezopasnosti EHMS-2008. SPb.: VITU. S. 138–142.
4. *Yaroshevich V.V., Nevretdinov Yu.M., Karpov A.S.* Problemy lokalizacii istochnikov iskazhenij ehlektroehnergii i opredelenie vklada podklyuchennyh potrebitelej v iskazhenie ili normalizaciyu kachestva ehlektroehnergii // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Energetika. 2010. Vyp. 1, № 1. 180 s.
5. *Nevretdinov Yu.M., Fastij G.P., Yaroshevich V.V.* Analiz registracii pokazatelej kachestva ehlektroehnergii na shinah pitayushchih podstancij // Vestnik MGTU. 2009. T. 12, № 1. S. 58–64.
6. *Nevretdinov Yu.M., Fastij G.P., Yaroshevich V.V.* Issledovanie vozmozhnosti lokalizacii istochnika garmonicheskikh iskazhenij napryazheniya na pitayushchih podstanciyah // Modelirovanie perekhodnyh processov i ustanovivshihsia rezhimov vysokovol'noj seti: sbornik nauchnyh trudov CFTPEHS KNC RAN. Apatity, 2008. Diapazon str.
7. *Yaroshevich V.V., Karpov A.S., Karpova O.M.* Ocenka ehffektivnosti

---

---

## CONTENTS

---

---

monitoringovyh issledovaniy kachestva ehlektroehnergii po GOST 13109-97 v vysokovol'noy seti 6-150 kV // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Ehnergetika. 2013. Vyp. 7, № 4. S. 117–121. **8.** *Yaroshevich V.V., Karpov A.S.* Vliyaniye nestacionarnykh ehlektromagnitnykh vozdeystviy na silovye transformatory // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Ehnergetika. 2014. Vyp. 8, № 3. S. 54–62. **9.** *Yaroshevich V.V., Karpov A.S.* Vyyavlenie napravleniy razvitiya setej 6–35 kV na osnove opyta monitoringovyh issledovaniy pokazatelej kachestva ehlektroehnergii v vysokovol'noy seti Severo-Zapada Rossii // Materialy I Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma «Intellectual'nye ehnergosistemy». 2013. T. 1. S. 163–168. **10.** Instrukciya po proektirovaniyu ehlektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatij (SN-174-75). M.: Strojizdat, 1976, s. 53. **11.** *Shevchenko V.V., Menchik V.V.* Problemy povysheniya ehffektivnosti ispol'zovaniya transformatorov v sistemah ehlektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatij // Promyshlennaya ehnergetika. 1987. № 9. S. 27–30.

Научное издание

**ВЕСТНИК КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

**4/2015(23)**

**Требования к оформлению статей см.:**

<http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/trebovaniya.pdf>

Редактор А.С. Менделева  
Корректор С.А. Шарам  
Технический редактор В.Ю. Жиганов

Подписано к печати 16.10.2015

Формат бумаги 60×84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic

Усл. печ. л. 17.67. Заказ № 22. Тираж 500 экз.

---

*Российская Академия Наук*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Кольский научный центр Российской академии наук  
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14