

Российская Академия Наук

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

4/2016



- НАУКИ О ЗЕМЛЕ
- ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
- БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
- СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
- КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ
- КНИГОИЗДАНИЕ
- ЮБИЛЯРЫ

4/2016(27)

издается с декабря 2009 года
ISSN 2307-5228

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)

Редакционный совет:

академик РАН, проф. Г. Г. Матишов,

академик РАН, проф. Н. Н. Мельников,

чл.-корр. РАН, проф. В. К. Жиров,

чл.-корр. РАН, 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.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Ю. Л. Войтеховский	Упорядочение выпуклых полиэдров и алгоритм Е. С. Фёдорова.....	5
И. А. Горбунов, В. В. Балаганский, С. В. Мудрук	Спиралевидные микроструктуры тонкослоистого матрикса — новая разновидность кинематических индикаторов в зонах сдвигового течения	10
В. Т. Казаченко, Е. В. Перевозникова, С. Н. Лаврик	Геохимические и изотопные «метки» древних габброидов в триасовых метаморфизованных металлоносных осадках, скарнах и рудах скарновых месторождений Сихотэ-Алиня.....	16
Д. Г. Степенчиков, Ю. Л. Войтеховский	Двойные связи на фуллеренах C ₆₀ —C ₁₀₀	37
П. В. Амосов, С. В. Лукичев, О. В. Наговицын	Влияние пористости породного массива и температуры хладоносителя на скорость создания сплошного ледопородного ограждения.....	43
Т. Н. Мухина, В. В. Марчевская	Сотрудничество Горного института Кольского научного центра РАН с другими организациями при разработке новых технологий.....	51
С. В. Терещенко, В. В. Марчевская, Д. Н. Павлишина	Пути снижения негативного воздействия горного производства на окружающую природную среду.....	62
Н. Ю. Романова, Р. Ю. Юрик	Сопоставление ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы с моделью горизонтального ветра HWM07.....	67
В. В. Денисов, М. В. Светлова	Геоэкологические координаты как инструмент экспертной оценки устойчивости эколого-экономических систем при решении задач управления морским природопользованием.....	73
Г. Г. Матишов, В. В. Денисов, С. Л. Дженюк и др.	Морское пространство трансарктической зоны Севморпути в рамках концепции больших морских экосистем.....	86

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

М. Н. Палатников, Н. В. Сидоров, О. В. Макарова	Особенности оптических характеристик монокристаллов ниобата лития различного химического состава.....	99
---	--	----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

И. В. Блинова	О сопряженности пространственного размещения популяций редких видов орхидных и осоковых с кислотностью и электропроводностью почв на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте в Мурманской области (Россия).....	108
---------------	--	-----

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

О. А. Теуш	Названия логовищ зверей в диалектах Европейского Севера России.....	121
	КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ	126
	КНИГОИЗДАНИЕ	130
	ЮБИЛЯРЫ	133

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)

4/2016 (27)

Published since December 2009
ISSN 2307-5228

Russian Academy of Sciences

HERALD

of the Kola Science Centre of the RAS

**Publisher — Federal State Budgetary Institution of Science Kola Science
Centre of the RAS**

Editor-in-Chief —

Yu. L. Voytekhoysky, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Prof.;

Vice Editors-in-Chief:

V. P. Petrov, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Prof.;

A. Ya. Fridman, Dr. Sci. (Eng.), Prof.

(Head of Editorial Staff)

Editorial Board:

G. G. Matishov, Academician of the RAS, Prof.;

N. N. Mel'nikov, Academician of the RAS, Prof.;

V. K. Zhiron, Corr. Member of the RAS, Prof.;

A. I. Nikolaev, Corr. Member of the RAS, Prof.;

B. V. Efimov, Dr. Sci. (Eng.), Prof.;

F. D. Larichkin, Dr. Sci. (Econ.), Prof.;

V. A. Masloboev, Dr. Sci. (Eng.);

V. A. Putilov, Dr. Sci. (Eng.), Prof.;

E. D. Tereshchenko, Dr. Sci. (Phys. & Math.);

A. N. Vinogradov, PhD (Geol. & Mineral.) —

Responsible Secretary

The responsibility for opinions, expressed in the 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 has been included in the Russian Science Citation Index Since (RISC) 2009

CONTENTS

EARTH SCIENCES

Yury L. Voytekhevsky	Ordering of Convex Polyhedra and E.S. Fedorov's Algorithm.....	5
Il'ya A. Gorbunov, Victor V. Balagansky, Sergey V. Mudruk	Spiral-Shaped Microstructures in Thin-Layered Rock Matrix As a New Species of Kinematic Indicators in Shear Zones.....	10
Valentin T. Kazachenko, Elena V. Perevoznikova, Sergei N. Lavrik	Geochemical and Isotopic "Markers" of the Old Gabbroids in the Triassic Metamorphosed Metalliferous Sediments, Skarns and Ores of the Skarn Deposits in the Sikhote-Alin.....	16
Dmitry G. Stepenshchikov, Yury L. Voytekhevsky	The Double Bonds on the Fullerenes C ₆₀ –C ₁₀₀	37
Pavel V. Amosov, Sergey V. Lukichev, Oleg V. Nagovitsyn	Influence of Rock Massif Porosity and Coolant's Temperature on Velocity of Solid Ice Wall Creation.....	43
Tatyana N. Mukhina, Valentine V. Marchevskaya	Cooperation of the Mining Institute of the Kola Science Centre of the RAS with Different Organizations for New Technologies Development.....	51
Sergei V. Tereshchenko, Valentine V. Marchevskaya, Daria N. Pavlishina	Ways to Reduce Negative Environmental Impact of Mining Industry.....	62
Natalya Y. Romanova, Roman Y. Yurik	Investigations of the Small-Scale Irregularities in F-Region of Middle-Latitude Ionosphere.....	67
Vladimir V. Denisov, Marina V. Svetlov	Geocological Coordinates as an Instrument of Expert Estimation of Sustainability in Ecological-Economic Systems in Marine Resource Management.....	73
Gennady G. Matishov, Vladimir V. Denisov, Sergei L. Dzhenyuk et al.	Marine Body of the Northern Sea Route Transarctic Zone within the Concept of Large Marine Ecosystems.....	86

CHEMICAL SCIENCES

Mikhail N. Palatnikov, Nikolay V. Sidorov, Olga V. Makarova	Particularities of Optical Characteristics of Lithium Niobate Single Crystals with Different Chemical Compound.....	99
---	--	----

BIOLOGICAL SCIENCE

Ilona V. Blinova	Effects of Soil Conductivity and pH on Population Spatial Structure of Rare Orchids and Sedges in a Base-Rich Fen in the Murmansk Region (Russia).....	108
------------------	--	-----

SOCIO-ECONOMIC AND SOCIAL SCIENCES

Olga A. Teush	The Names of the Lair Of Beasts in the Dialects of the European North of Russia.....	121
	CONFERENCES.....	126
	NEW BOOKS.....	130
	ANNIVERSARIES.....	133

Editorial Board:

A. Ya. Fridman, Dr. Sci. (Eng.) — Head of Editorial Staff; N. K. Belisheva, Dr. Sci. (Bio); P. B. Gromov, PhD (Eng.); V. E. Ivanov, Dr. Sci. (Phys. & Math.); N. A. Kashulin, Dr. Sci. (Bio); A. A. Kozyrev, Dr. Sci. (Eng.); P. R. Makarevich, Dr. Sci. (Bio); A. G. Olejnik, Dr. Sci. (Eng.); I. A. Razumova, Dr. Sci. (History); T. V. Rundkvist, PhD (Geol. & Mineral.); V. S. Selin, Dr. Sci. (Econ.); A. F. Usov, PhD (Eng.) — Executive Secretary

УДК 548.12

УПОРЯДОЧЕНИЕ ВЫПУКЛЫХ ПОЛИЭДРОВ И АЛГОРИТМ Е. С. ФЁДОРОВА

Ю. Л. Войтеховский

ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Ранее предложен способ именования любого выпуклого полиэдра в виде числового кода. По имени он восстанавливается однозначно. Многообразие выпуклых полиэдров строго упорядочено по именам, а именно с ростом n классы n -акров следуют друг за другом без перекрытий. В этой статье показано, что при упорядочивании n -акров по тах именам в каждом классе (при данном n) непростые следуют за простыми. Найдена связь процедуры упорядочения с алгоритмом Е. С. Фёдорова генерирования полного комбинаторного многообразия выпуклых полиэдров.

Ключевые слова:

выпуклые n -эдры и n -акры, имя n -акра, простые и непростые полиэдры, упорядочение классов, упорядочение n -акров в классе, алгоритм Е. С. Фёдорова.

ORDERING OF CONVEX POLYHEDRA AND E. S. FEDOROV'S ALGORITHM

Yury L. Voytekhsy

Geological Institute of the KSC of the RAS

Abstract

A method to name any convex polyhedron by the number code has been suggested earlier. Any polyhedron can be build by its name. The variety of convex polyhedra is strictly ordered by their names. Namely, with growing n the classes of n -acra follow each other without overlapping. It has been shown in the paper that non-simple n -acra follow simple ones in any class (given n) when ordered by max names. The relation of the ordering procedure to the E. S. Fedorov's algorithm to generate the full combinatorial variety of convex polyhedra was found.

Keywords:

convex n -hedra and n -acra, the name of n -acron, simple and non-simple polyhedra, ordering of classes, ordering of n -acra in a class, E. S. Fedorov's algorithm.



Введение

В работах [1–4] обоснована гипотеза: с ростом n доля комбинаторно асимметричных (примитивных триклинных) выпуклых n -эдров (а также n -акров, т.е. n -вершинников — в силу дуальности, сохраняющей симметрию) в их полном многообразии монотонно стремится к 100 %. Среди 12-эдров (6384634) их 6336013 (99.238 %), среди простых (в каждой вершине сходятся три ребра/грани) 16-эдров (17490241) их 17411448 (99.550 %). Тем самым обоснована проблема: найти способ описания выпуклых полиэдров, не использующий точечных групп симметрии. Примитивный вид симметрии триклинной сингонии (точечная группа симметрии, т. г. с. 1; порядок группы автоморфизмов, п. г. а. 1) связал классическую кристалломорфологию с комбинаторно-геометрической теорией выпуклых полиэдров.

В статьях [5, 6] предложено характеризовать выпуклые n -акры именами-кодами, получаемыми из матриц смежности их реберных графов. В зависимости от нумерации вершин у n -акра получается $n!$ /п. г. а. имен. В этом смысле асимметричный n -акр (п. г. а. = 1) факториален, симметричный — афакториален. Он восстанавливается по любому имени. Все имена связаны

перестановками строк и столбцов матрицы смежности. Выбор имени зависит от решаемой задачи и того, насколько позволяет развить теорию. Доказано, что с ростом n при любом выборе имен классы n -акров строго (без перекрытий) упорядочены на числовой прямой. В этой статье исследуются упорядочение n -акров внутри класса (при данном n) и его связь с алгоритмом Е. С. Фёдорова генерирования комбинаторного многообразия выпуклых полиэдров [7–9].

Алгоритм Е. С. Фёдорова

Алгоритм Е. С. Фёдорова состоит из трех процедур отсечения (α — простой вершины, β — ребра, соединяющего две простые вершины, γ — двух ребер, последовательно соединяющих три простые вершины) и процедуры ω редукции ребра. Отсечения применяются только к простым полиэдрам: α порождает 3-угольную, β — 4-угольную, γ — 5-угольную грани, вместе реализуя известную теорему: не выпуклом полиэдре одновременно не могут отсутствовать 3-, 4- и 5-угольные грани. Редукция ω важна в связи с дальнейшим. Она состоит в стягивании ребра в точку (вершину), если при этом не уничтожается ни одна из контактирующих по нему граней. Она может применяться несколько раз, порождая непростые полиэдры 1-го, 2-го и т. д. порядков с тем же числом граней.

Результаты компьютерного генерирования комбинаторного многообразия выпуклых полиэдров с помощью алгоритма Е. С. Фёдорова даны в таблице. Сегодня известны все 4- ... 12-эдры и простые 13- ... 16-эдры. Числа простых полиэдров для каждого F стоят в рядах справа: $V_n = 2F - 4$. (Равенство легко получить, решая совместно уравнения: $3V = 2E$ и $F - E + V = 2$, где E — число ребер). Каждая редукция ω уменьшает V на 1. Поэтому число редукций, нужных для получения полиэдра из некоторого простого с тем же F , равно: $\omega = V_n - V = 2F - V - 4$. Для простого полиэдра $\omega = 0$. Максимальное значение ω для данного F равно: $\omega_{\max} = F + [F/2] - 6$, где [...] — целая часть числа. В эквивалентной форме: $\omega_{\max} = 3F/2 - 6$ для четных F ; $\omega_{\max} = 3F/2 - 6.5$ для нечетных F . Используя ω , конкретизируем задачу: исследовать согласование упорядочений n -акров внутри класса (при данном n) по именам и по ω .

Числа комбинаторно различных полиэдров с F -гранями и V -вершинами

$\downarrow F,$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4	1												
5		1	1										
6			1	2	2	2							
7				2	8	11	8	5					
8				2	11	42	74	76	38	14			
9					8	74	296	633	768	558	219	50	
10					5	76	633	2635	6134	8822	7916	4442	1404
11						38	768	6134	25626	64439	104213	112082	79773
12						14	558	8822	64439	268394	709302	1263032	1556952
$\downarrow F,$	17			18			19		20	22	24	26	28
11	9714			1249									
12	789749			306470			70454		7595				
13										49566			
14											339722		
15												2406841	
16													17490241

Упорядочение в классах

Рассмотрению подлежат n -акры, располагающиеся в таблице в столбцах (и дуальные n -эдрам, располагающимся в строках — таблица симметрична относительно главной диагонали). Для анализа мы располагаем всеми 4- ... 7-акрами [2, рис. 3; 7, fig. 3]. При упорядочении по $\min$ именам 6-акр (7916, $\omega = 0$) следует за (7915, $\omega = 2$). Упорядочение по $\max$ именам тоже не согласуется с ростом ω . Так, 6-акр (32531, $\omega = 2$) следует за (31583, $\omega = 6$) и (31582, $\omega = 4$). С ростом ω интервалы имен перекрываются: $\omega = 0$ [29327], $\omega = 2$ [31571, 32531], $\omega = 4$ [31582, 32681], $\omega = 6$ [31583, 32754]. Аналогично, для 7-акров: $\omega = 1$ [1984627, 1990799], $\omega = 3$ [1990871, 2089235], $\omega = 5$ [1993051, 2093699], $\omega = 7$ [2057563, 2095881], $\omega = 9$ [2057567, 2096914].

Но анализ реберных графов показывает, что при $\omega > 1$ $\max$ имя n -акра зависит от того, какие валентности у его непростых вершин. При $\omega = 2$ возможны варианты: $\omega = 2$ — одна вершина валентности 5 (избыточны 2 валентности), $\omega = 1 + 1$ — две вершины валентности 4 (в каждой избыточна 1 валентность). Оба реализуются среди 6-акров (по 1 полиэдру). При $\omega = 3$ возможны: $\omega = 3$, $\omega = 2 + 1$, $\omega = 1 + 1 + 1$. Они реализуются среди 7-акров: 1, 2 и 5 соответственно. По-видимому, все разложения любого $\omega > 1$ реализуются в валентностях вершин n -акров для достаточно больших n . На рис. 1 и 2 показаны упорядочения 4-... 7-акров по $\max$ именам с указанием разложений ω . Их анализ позволяет сформулировать утверждение: *$\max$ избыточные валентности в разложениях ω образуют нестрогое упорядочение n -акров (при данном n), согласованное с их строгим упорядочением по $\max$ именам.*

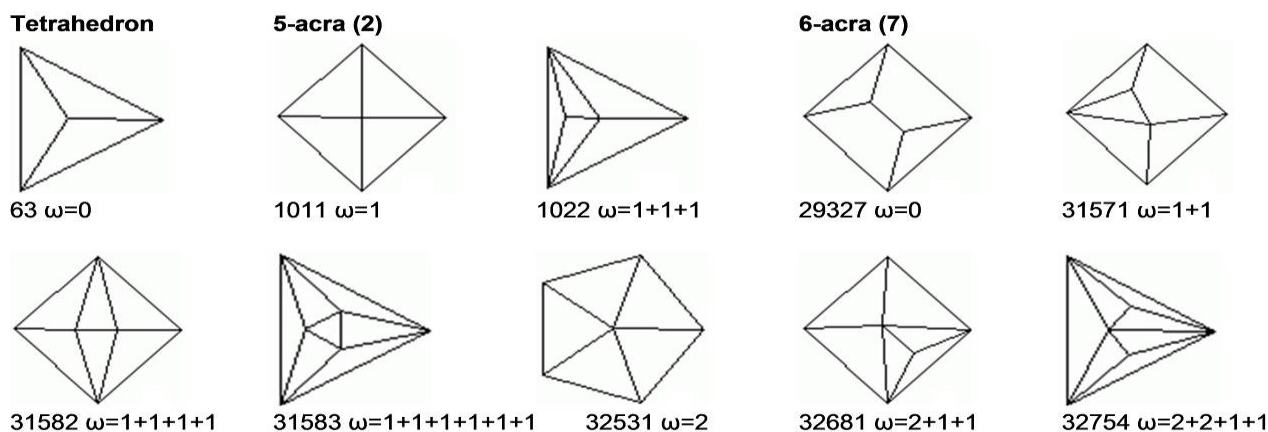


Рис. 1. Упорядочение 4- ... 6-акров в классах по $\max$ именам и разложения ω в суммы избыточных валентностей вершин

Доказательство. Пусть i_1, i_2, i_3 — $\max$ избыточные валентности в разложениях $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ трех n -акров, причем $i_1 < i_2 < i_3$. Они характеризуют вершины с валентностями $3 + i_1, 3 + i_2, 3 + i_3$. Пронумеровав их № 1, а смежные — следующими числами натурального ряда, обеспечим в начале первых строк матриц смежности и, далее, в $\max$ именах то же число единиц [5, 6]. Следовательно, $\max$ имена находятся в том же соотношении, что и $\max$ избыточные валентности: $\max_1 < \max_2 < \max_3$. Выбор вершины с № 1 (если в разложении ω есть несколько $\max$ избыточных валентностей) и упорядочение n -акров с совпадающими разложениями ω определяются более тонкими особенностями их строения.

Следствие: при упорядочении по $\max$ именам непростые n -акры (≥ 1) следуют за простыми ($\omega = 0$). Это ясно из того, что в любом разложении $\omega \geq 1$ $\max$ избыточная валентность ≥ 1 . Но из таблицы видно, что $\omega = 0, 2, 4, \dots$ реализуются только для n -акров с четными n . Поэтому формулировку можно усилить: при упорядочении по $\max$ именам непростые n -акры ($\omega \geq 2$) следуют за простыми ($\omega = 0$).

7-акра (34)

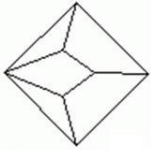
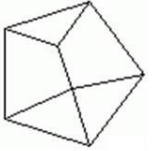
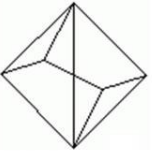
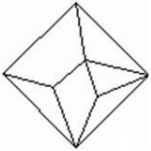
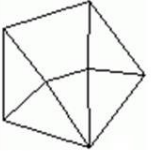
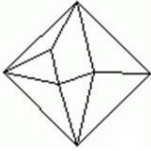
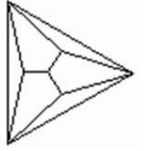
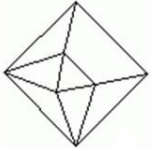
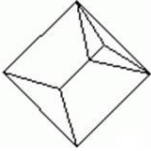
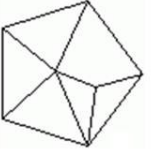
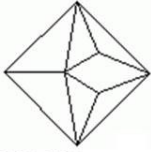
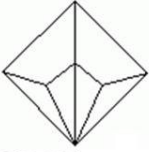
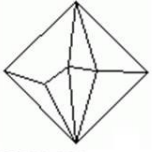
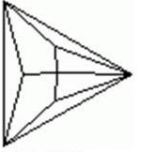
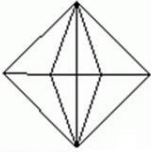
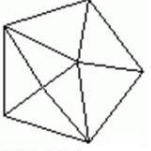
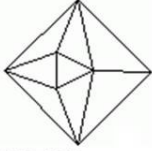
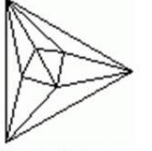
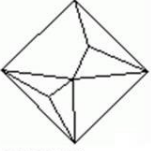
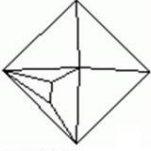
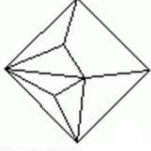
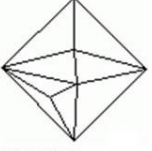
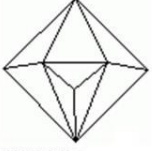
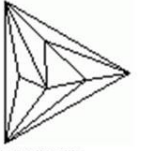
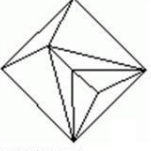
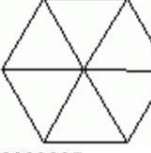
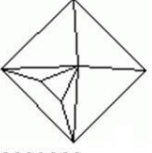
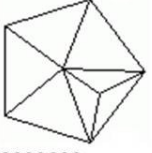
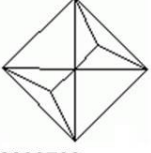
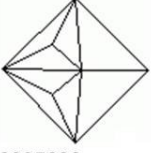
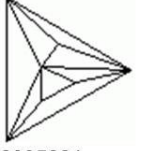
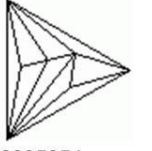
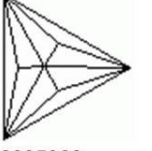
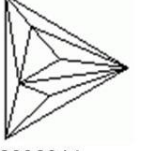
 1984627 $\omega=1$	 1990799 $\omega=1$	 1990871 $\omega=1+1+1$	 1992975 $\omega=1+1+1$	 1993043 $\omega=1+1+1$
 1993051 $\omega=1+1+1+1+1$	 1993099 $\omega=1+1+1$	 1993131 $\omega=1+1+1+1+1$	 1993287 $\omega=1+1+1$	 2057485 $\omega=2+1$
 2057487 $\omega=2+1+1+1$	 2057491 $\omega=2+1$	 2057555 $\omega=2+1+1+1$	 2057557 $\omega=2+1+1+1$	 2057563 $\omega=2+2+1+1+1$
 2057564 $\omega=2+1+1+1$	 2057566 $\omega=2+1+1+1+1+1$	 2057567 $\omega=2+2+1+1+1+1+1$	 2060871 $\omega=2+1+1+1$	 2061522 $\omega=2+2+1$
 2061955 $\omega=2+2+1$	 2061959 $\omega=2+2+1+1+1$	 2062022 $\omega=2+2+2+1$	 2062023 $\omega=2+2+2+1+1+1$	 2062105 $\omega=2+2+2+1$
 2089235 $\omega=3$	 2093266 $\omega=3+1+1$	 2093699 $\omega=3+1+1$	 2093703 $\omega=3+1+1+1+1$	 2095686 $\omega=3+2+1+1$
 2095881 $\omega=3+2+1+1$	 2095954 $\omega=3+2++2+1+1$	 2095960 $\omega=3+2++2+2$	 2096914 $\omega=3+3+1+1+1$	

Рис. 2. Упорядочение 7-акров по тах именам и разложения ω в суммы избыточных валентностей вершин

Заключение

Исследование комбинаторного многообразия выпуклых 4- ... 7-аэров выявило связь упорядочения n -аэров в классе (при данном n) с алгоритмом Е. С. Фёдорова генерирования полиэдров, точнее, с числом редукций ω , необходимых для получения непростого n -аэра из некоторого простого полиэдра с тем же числом граней. Важную роль играют разложения ω в сумму избыточных валентностей непростых вершин. В отличие от ω , тах избыточные валентности образуют нестрогое упорядочение n -аэров в классе, согласованное с их строгим упорядочением по тах именам. Из этого следует, что при упорядочении по тах именам в классе (при данном n) простые n -аэры предшествуют непростым с $\omega \geq 2$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтеховский Ю. Л., Степенищikov Д. Г. Комбинаторная кристалломорфология. Кн. IV: Выпуклые полиэдры. Т. I: 4- ... 12-эдры. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. 833 с.
2. Войтеховский Ю. Л., Степенищikov Д. Г. Комбинаторная кристалломорфология. Кн. IV: Выпуклые полиэдры. Т. II: Простые 13- ... 16-эдры. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. 828 с.
3. VoytekhoVsky Y. L., StepenShchikov D. G. The variety of convex 12-hedra revised // Acta Cryst. 2005. A 61. P. 581–583.
4. VoytekhoVsky Y. L., StepenShchikov D. G. On the symmetry of simple 16-hedra // Acta Cryst. 2006. A 62. P. 230–232.
5. Войтеховский Ю. Л. Упорядочение выпуклых полиэдров // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 1. С. 38–43.
6. VoytekhoVsky Y. L. How to name and order convex polyhedra // Acta Cryst. 2016. A 72. P. 582–585.
7. Богомолов С. А. Классификация выпуклых многогранников по Фёдорову и Эбергардту // ЗРМО. 1929. Ч. 58. С. 265–277.
8. Фёдоров Е. С. Основания морфологии и систематики многогранников // Зап. Импер. С.-Петерб. минералог. о-ва. 1893. Ч. 30. С. 241–341.
9. VoytekhoVsky Y. L. The Fedorov algorithm revised // Acta Cryst. 2001. A 57. P. 475–477.

Сведения об авторе

Войтеховский Юрий Леонидович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Геологического института КНЦ РАН

E-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Yury L. VoytekhoVsky — Dr. Sci. (Mineralogy & Crystallography), Professor, Director of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Войтеховский, Ю. Л. Упорядочение выпуклых полиэдров и алгоритм Е. С. Фёдорова / Ю. Л. Войтеховский // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4. — С. 5–9.

Reference

VoytekhoVsky Yury L. Ordering of Convex Polyhedra and E. S. Fedorov's Algorithm. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 5–9. (In Russ.).

УДК 551.243.4

**СПИРАЛЕВИДНЫЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ТОНКОСЛОИСТОГО МАТРИКСА —
НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ
В ЗОНАХ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ***

И. А. Горбунов¹, В. В. Балаганский^{1,2}, С. В. Мудрук^{1,2}

¹ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

²ФГБОУ Мурманский государственный технический университет

Аннотация

В тонкослоистых парасланцах Кейвского террейна установлены микроструктуры, представляющие собой спирали, в которые закручены тонкие слои матрикса. Они ограничены двумя системами сланцеватости. Одна из них интерпретируется как С-плоскости, параллельные слоистости, а другая — как S-плоскости. При этом спиралевидные микроструктуры находятся в ядрах резко асимметричных складок. Моноклиная симметрия этих структур позволяет считать их новой разновидностью кинематических индикаторов в зонах сдвигового течения.

Ключевые слова:

структурная геология, кинематические индикаторы, зоны сдвигового течения.

**SPIRAL-SHAPED MICROSTRUCTURES IN THIN-LAYERED ROCK MATRIX
AS A NEW SPECIES OF KINEMATIC INDICATORS IN SHEAR ZONES**

Il'ya A. Gorbunov¹, Victor V. Balagansky^{1,2}, Sergey V. Mudruk^{1,2}

¹ Geological Institute of the KSC of the RAS

² Murmansk State Technical University

Abstract

Microstructures that are represented by spirals which are formed by thin layers of matrix have been found in thin-layered parashists in the Keivy terrane. These are limited by two systems of schistosity. One of them is interpreted as C-planes that are parallel to bedding, and other as S-planes. The spiral-shaped microstructures are located in the cores of prominently asymmetric folds. The monoclinic symmetry of these microstructures allows classifying them as a new species of kinematic indicators in shear zones.

Keywords:

structural geology, kinematic indicators, shear zones.



Введение

Надвиговые движения часто сопровождаются образованием зон сдвигового течения, в которых существенно преобладает деформация простого сдвига, которая является некоаксиальной [1–3]. Отличительной чертой этой деформации является то, что она приводит к образованию макро- и

микроструктур с моноклиной симметрией. Эти структуры служат кинематическими индикаторами и позволяют реконструировать характер (знак) тектонических движений,

*Документация пластин, изготовление шлифов и построение блок-диаграммы проводились в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № 0231-2015-0004, а интерпретация всех данных была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-05-01031А).

т. е. происходили ли эти движения вдоль линии падения или же простираения плоскости сдвигового течения. В первом случае движения будут соответствовать таковым при взбросах и надвигах, а во втором — при сдвигах (во втором случае речь идет о типе разлома, а не о типе деформации). Среди известных в литературе кинематических индикаторов выделяются δ -структуры вращения [1–3]. Их основой являются жесткие включения, которые представлены порфириобластами и/или порфирокластами. При сдвиговом течении параллельно слоям эти включения испытывают вращение, в которое вовлекаются непосредственно окаймляющие их слои.

В породах Кейвского террейна авторами была установлена серия спиралей, образованных несколькими слоями в тонкослоистом кианит-ставролит-слюдяном сланце. От описанных выше δ -структур их отличает вовлечение во вращение нескольких слоев матрикса при отсутствии порфириобластов и порфирокластов, генерирующих вращение при сдвиговом течении параллельно слоистости. Этот факт позволил выделить новую разновидность кинематических индикаторов — спиралевидные микроstructures матрикса. В предлагаемой статье дается краткое описание этих спиралевидных структур и сделаны предварительные выводы об их генезисе.

Геологическая обстановка

Кейвский террейн является северо-восточным форландом палеопротерозойского Лапландско-Кольского коллизионного орогена (рис. 1, а). Кейвский парасланцевый пояс расположен вдоль северо-восточной окраины этого террейна (рис. 1, б). Он отличается повсеместным развитием кинематических индикаторов, свидетельствующих о крупномасштабных надвиговых движениях в северном и северо-восточном направлениях (рис. 1, б). Эти надвиги связываются с коллизионными событиями во время Лапландско-Кольской орогении 1.9–2.0 млрд лет назад [4].

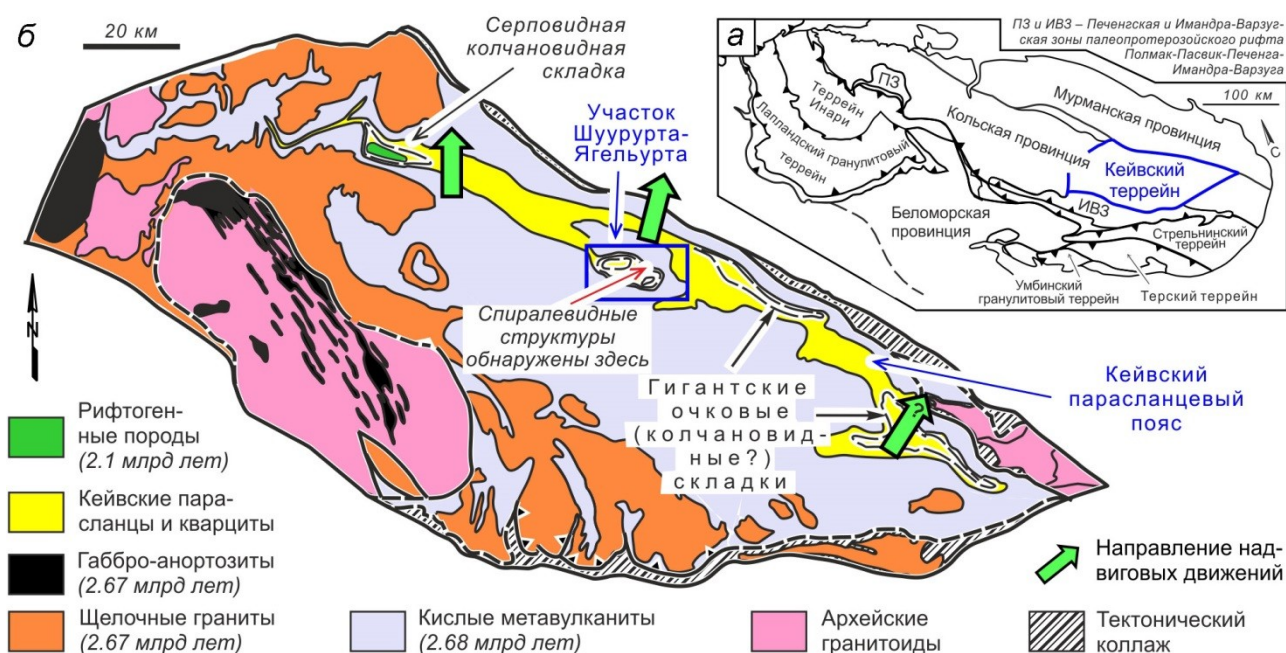


Рис. 1. Схема тектонического районирования северной и северо-восточной частей Балтийского щита: а — по В. В. Балаганскому [5] с изменениями; б — Геологическая карта Кейвского террейна (по работе [6])

На участке Шуурурта — Ягельурта (рис. 1, б) широко развиты два типа кинематических индикаторов: S -структуры, образованные игольчатыми кристаллами кианита, и складки с криволинейными шарнирами [4]. В пределах всего участка развита линейность по кианиту

и реже по ставролиту, погружающаяся к северу и северо-северо-востоку преимущественно под пологими углами. Криволинейные шарниры в целом расположены перпендикулярно линейности. Угол искривления шарниров не превышает 90° , но при этом часть шарниров ориентированы под острым углом относительно линейности. Эти наблюдения предполагают наличие колчановидных складок, у которых угол искривления шарниров превышает 90° [3].

Спиралевидные структуры

Эти структуры были обнаружены в мелко- и среднезернистых кейвских ставролит-кианит-кварц-мусковитовых парасланцах. Они расположены сериями между двумя системами сланцеватости. Плоскости сланцеватости одной из них параллельны слойкам и интерпретируются как *C*-плоскости, а плоскости сланцеватости другой системы расположены косо по отношению к слоистости и рассматриваются как *S*-плоскости (рис. 2).

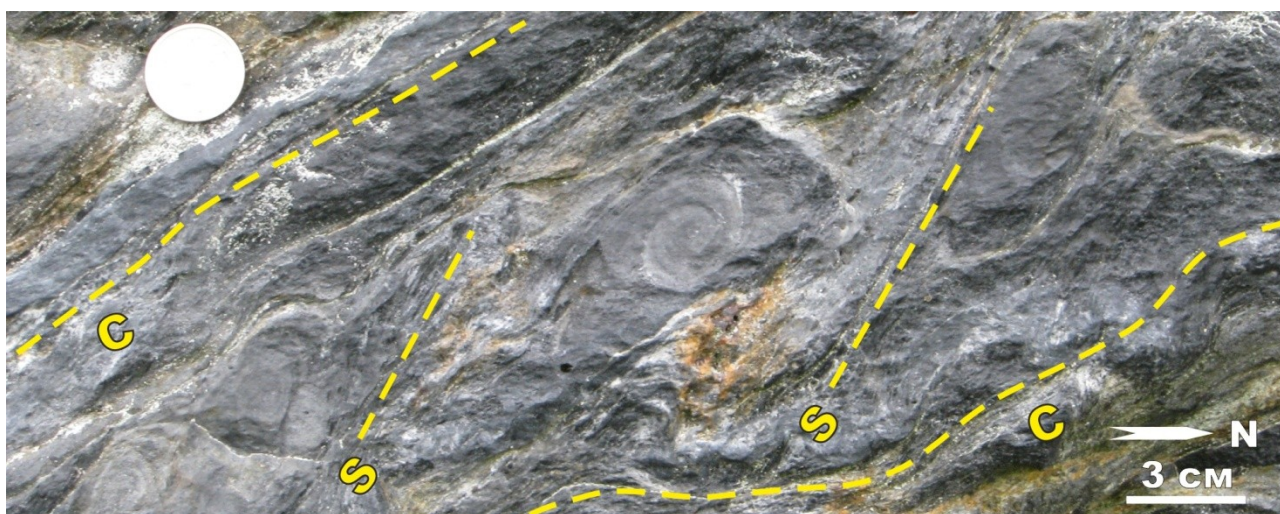


Рис. 2. Расположение спиралевидных структур тонкослоистого матрикса относительно двух систем сланцеватости

Спиралевидные структуры изучались в ориентированных образцах. Один из них был распилен на 8 пластин. Размеры каждой из пластин составляют 8.5×14 см, их толщина варьирует от 0.5 до 1 см, а ширина пропилов составляет ~ 2 мм. Плоскости пластин (всего 16 плоскостей) в целом перпендикулярны сланцеватости и параллельны линейности, т. е. они отвечают плоскости *XZ* эллипсоида деформации (рис. 3, а). Одна из этих плоскостей показана на рис. 3, б. Подобные спиралевидные структуры обычно наблюдаются внутри порфиробластов граната и известны как структуры снежного кома [3]. В описываемом нами случае они представляют собой спирали, в которые закручены тончайшие слойки парасланцев, резко отличающихся по содержанию углеродистого вещества и часто содержащих удлиненные до игольчатых призматические кристаллы кианита и реже ставролита. При этом изометричные или близкие к ним порфиробласты или порфирокласты полностью отсутствуют, а спиралевидные структуры тесно связаны с асимметричными складками сдвигового течения, располагаясь в их ядрах (рис. 3, б).

На рис. 3, б желтым пунктиром выделена подошва слойки безуглеродистого кварц-двуслюдяного парасланца с порфиробластами ставролита, смятого в асимметричную складку, причем этот слой наблюдается в каждой пластине. Морфология подошвы слойки изображена на блок-диаграмме (рис. 4). Эта же блок-диаграмма иллюстрирует криволинейность шарниров асимметричных складок сдвигового течения и тот факт, что отдельные складки затухают вдоль шарнира. Криволинейность шарниров такого типа возникает на начальной стадии образования

колчановидных складок в зоне сдвигового течения, когда угол искривления шарниров еще не достигает 90° и складки еще не являются колчановидными согласно определению в работе [3].

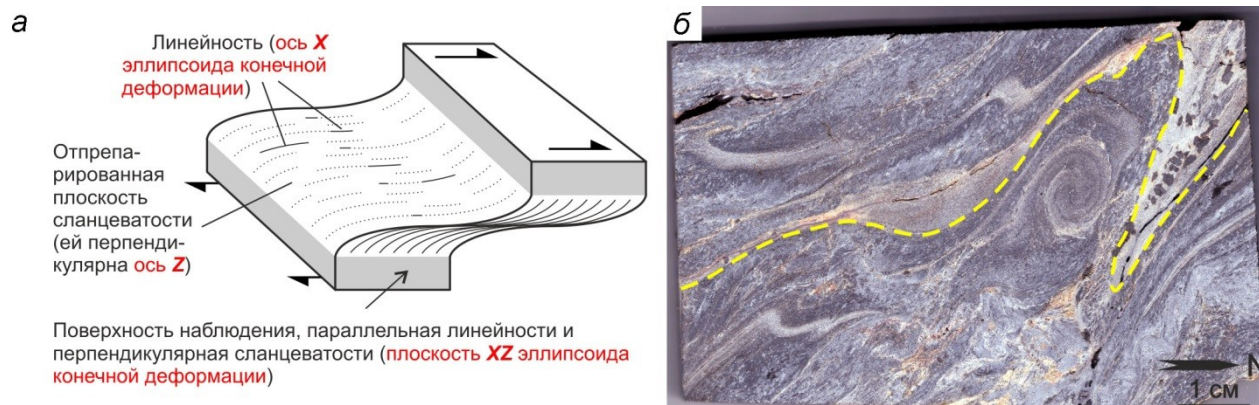


Рис. 3. Поверхность, на которой следует наблюдать кинематические индикаторы характера (знака) движений в зонах сдвигового течения (а — по работе [1]). Плоскость одной из пластин, на которые был разрезан образец, перпендикулярна оси Y и плоскости XZ эллипсоида конечной деформации (желтый пунктир маркирует подошву слойка мусковитового парасланца) — б

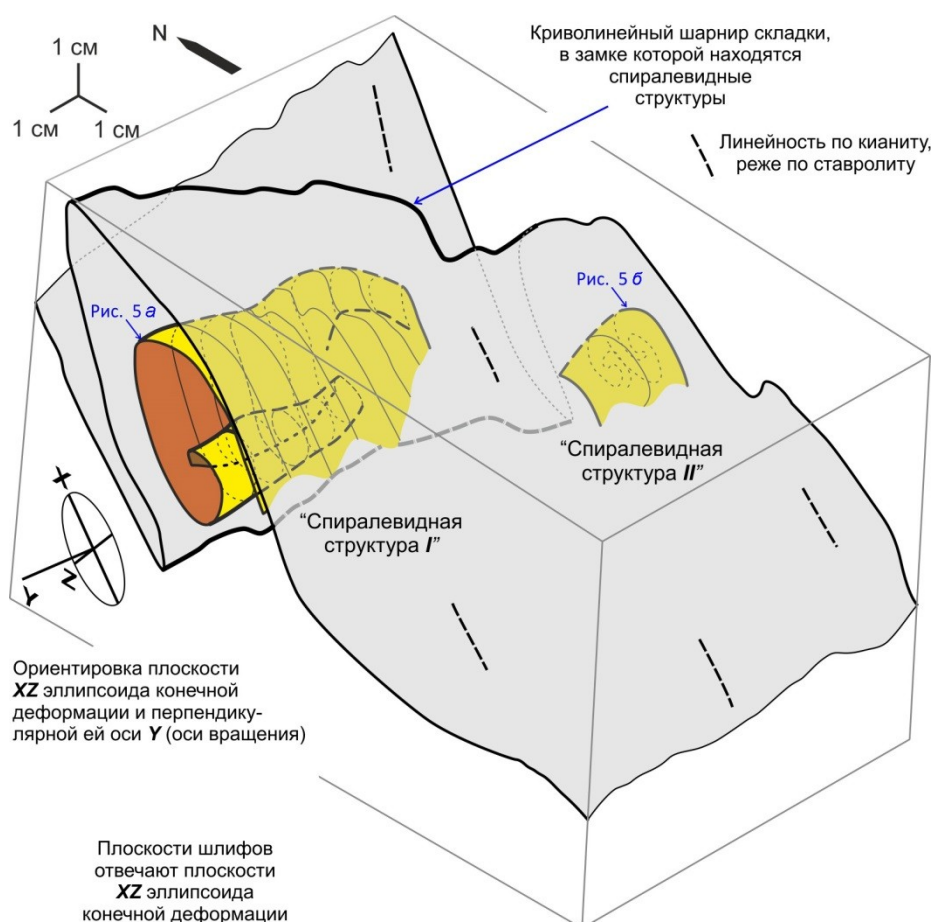


Рис. 4. Блок-диаграмма, иллюстрирующая строение спиралевидных структур матрикса, их пространственные соотношения с асимметричными складками и морфологию подошвы слойка мусковитового парасланца, отмеченного на рис. 3, б

При изучении пластин были установлены две спиралевидные структуры, схематично изображенные на блок-диаграмме и обозначенные индексами *I* и *II* на рис. 4. Они расположены в замке одной и той же асимметричной сжатой складки сдвигового течения с криволинейным шарниром. Их длинные оси (т. е. оси вращения) ориентированы перпендикулярно линейности и отвечают положению оси *Y* эллипсоида деформации, а также оси *Y* складок с криволинейными шарнирами (обозначение осей складок дается по работе [7]). Параллельно этой оси в целом расположены криволинейные шарниры асимметричных складок (рис. 4).

Для выявления морфологии этих структур и деталей их внутреннего строения перпендикулярно их длинным осям были выпилены серии шлифов (в среднем размер шлифов равен 3×2.5 см). Плоскости шлифов, как и пластин, отвечают плоскостям *XZ* эллипсоида деформации. Характер строения спиралей, наблюдаемый во всех деталях в шлифах (рис. 5), указывает на то, что вращение, приведшее к образованию спиралей, происходило при перемещении вышележащих слоев тонкослоистого матрикса в северном направлении. Этот характер движения соответствует общему кинематическому плану, установленному по классическим кинематическим индикаторам как в обнажении, так и на всем участке Ягельурта — Шуурурта.

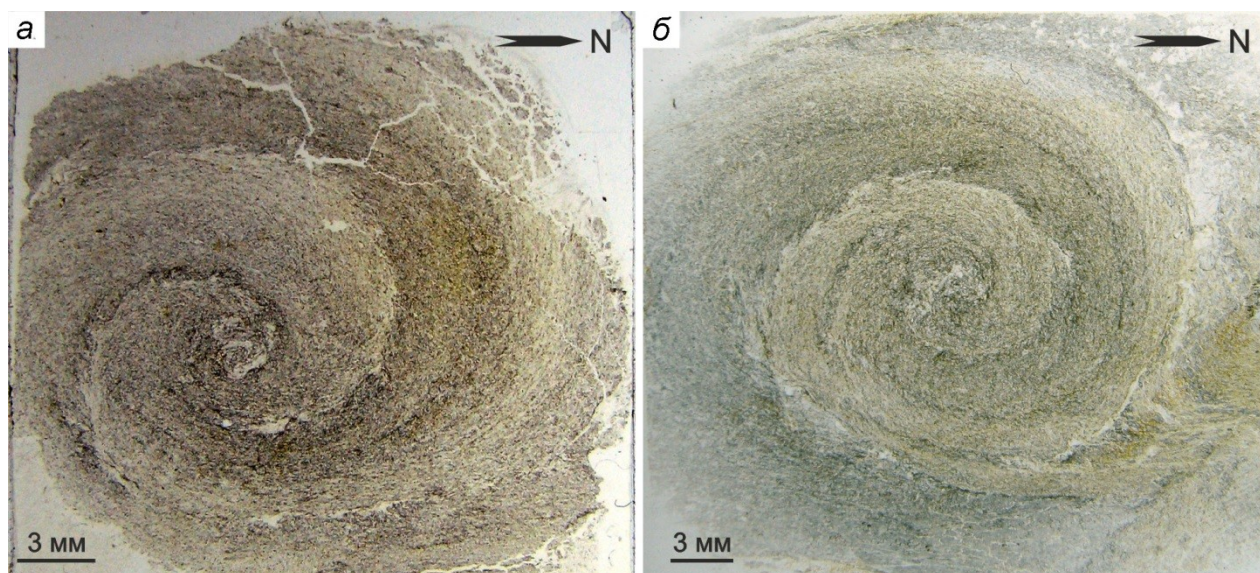


Рис. 5. Детали строения спиралевидных структур матрикса, наблюдаемые в шлифах: *a* и *б* — шлифы, которые выпилены соответственно из спиралевидных структур *I* и *II*, показанных на рис. 4

Заключение

В кейвских парасланцах установлена новая разновидность индикаторов кинематики движений в пластических сдвиговых зонах — спиралевидные структуры матрикса. Пространственно эти структуры тесно связаны с асимметричными складками с криволинейными шарнирами, характерными для зон пластического сдвигового течения. Неясным пока остается механизм образования спиралевидных структур. Спиралевидные структуры, которые наблюдаются в порфиробластах, образуются в результате вращения, вызванного смещением слойков, прилегающих к порфиробластам с двух сторон, в противоположных направлениях. Такое смещение и связанное с ним вращение порфиробластов связано с деформацией простого сдвига [1–3]. В рассматриваемом случае порфиробласты, которые могли бы инициировать вращение, отсутствуют. Для выяснения причины вращения и закручивания в спирали тонких слойков матрикса необходимы дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hanmer S., Passchier C.* Shear-sense indicators: a review. *Geol. Surv. Can. Paper* 90–17, 1991. 72 p.
2. *Passchier C. W., Trouw R. A. J.* Microtectonics. Berlin, etc.: Springer Verlag, 1998.
3. *Ramsay J. G., Huber M. I.* The techniques of modern structural geology. Vol. 2. Folds and Fractures. London, etc.: Academic Press, 1987. P. 309–700.
4. Альпинотипная тектоника в палеопротерозойском Лапландско-Кольском орогене / С. В. Мудрук [и др.] // Геотектоника. 2013. № 4. С. 13–30.
5. The Lapland-Kola Orogen: Palaeoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere / J. S. Daly [et al.] // European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London, Memoirs, 32, 2006. P. 579–598.
6. Балаганский В. В., Раевский А. Б., Мудрук С. В. Нижний докембрий Кейвского террейна, северо-восток Балтийского щита: стратиграфический разрез или коллаж тектонических пластин? // Геотектоника. 2011. № 2. С. 32–48.
7. *Alsop G. I., Holdsworth R. E.* The three dimensional shape and localisation of deformation within multilayer sheath folds // *Journal of Structural Geology*. 2012. Vol. 44. P. 110–128.

Сведения об авторах

Горбунов Илья Александрович — младший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН
E-mail: gorbunov51@yandex.ru

Балаганский Виктор Валентинович — доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Геологического института КНЦ РАН; профессор Мурманского государственного технического университета

E-mail: balagan@geoksc.apatity.ru

Мудрук Сергей Владимирович — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; доцент Мурманского государственного технического университета

E-mail: mudruksergey@mail.ru

Author Affiliation

Il'ya A. Gorbunov — Junior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: gorbunov51@yandex.ru

Victor V. Balagansky — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Head of Laboratory at the Geological Institute of the KSC of the RAS; Professor at the Murmansk State Technical University

E-mail: balagan@geoksc.apatity.ru

Sergey V. Mudruk — PhD (Geology & Mineralogy), Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS; Associate Professor at the Murmansk State Technical University

E-mail: mudruksergey@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Горбунов, И. А. Спиралевидные микроструктуры тонкослоистого матрикса — новая разновидность кинематических индикаторов в зонах сдвигового течения / И. А. Горбунов, В. В. Балаганский, С. В. Мудрук // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 10–15.

Reference

Gorbunov Il'ya A., Balagansky Victor V., Mudruk Sergey V. Spiral-Shaped Microstructures in Thin-Layered Rock Matrix as a New Species of Kinematic Indicators in Shear Zones. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 10–15. (In Russ.).

УДК 553.064.32(571.63)

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНЫЕ «МЕТКИ» ДРЕВНИХ ГАББРОИДОВ
В ТРИАСОВЫХ МЕТАМОРФИЗОВАННЫХ МЕТАЛЛОНОСНЫХ ОСАДКАХ, СКАРНАХ
И РУДАХ СКАРНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИХОТЭ-АЛИНЯ**

В. Т. Казаченко, Е. В. Перевозникова, С. Н. Лаврик
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

Аннотация

По геологическим, геохимическим и изотопным данным, триасовые метаморфизованные металлоносные осадки (марганцево-силикатные породы, силикатно-магнетитовые руды и др.) и скарны Сихотэ-Алиня изначально являлись продуктами размыва (поздний анизий — конец триаса) латеритной коры выветривания островов и окраины Ханкайского массива. Свинец руд скарновых и жильных месторождений Сихотэ-Алиня по изотопным отношениям сопоставим со Pb слагавших острова габброидов сергеевского, владимиро-александровского и калиновского комплексов.

Ключевые слова:

габброиды, скарны, месторождения, метаморфизованные металлоносные осадки, геохимия, изотопные отношения, триас, Сихотэ-Алинь.

**GEOCHEMICAL AND ISOTOPIC “MARKERS” OF THE OLD GABBROIDS
IN THE TRIASSIC METAMORPHOSED METALLIFEROUS SEDIMENTS, SKARNS
AND ORES OF THE SKARN DEPOSITS IN THE SIKHOTE-ALIN**

Valentin T. Kazachenko, Elena V. Perevznikova, Sergei N. Lavrik
Far East Geological Institute of the Far-Eastern Branch of the RAS

Abstract

In skarns, in the Triassic metamorphosed metal-bearing sediments, and in ores of skarn and lode deposits of the Sikhote-Alin there are fixed the geochemical and isotopic “marks” of gabbroids of Sergeevsky, Vladimir-Aleksandrovsky and Kalinovsky complexes. The gabbroids have a common mantle source (BSE), and resulted from the interaction of a plume with the sedimentary rocks of the oceanic crust at the basement of the island arc (Sergeevsky and Vladimir-Aleksandrovsky complexes) or oceanic plateaus (Kalinovsky complex). Since the Middle Devonian to the Late Triassic, these structures in the form of chains of islands were located near the margin of Khanka massif. The metamorphosed metal-bearing sediments and skarns of the Sikhote-Alin were primarily the products of the wash-out of the laterite crust of weathering (Late Anisian-Late Triassic) of the islands and margin of Khanka massif that were accumulated in lagoons and in the water areas adjacent to the islands. Lead of ores of skarn and lode deposits is comparable in isotope ratios with Pb of the gabbroids.

Keywords:

gabbroids, skarns, deposits, metamorphosed metalliferous sediments, geochemistry, isotope ratios, Triassic, the Sikhote-Alin.

Введение

В Дальнегорском и Ольгинском рудных районах Таухинского террейна (рис. 1) известны обогащенные Mn скарновые месторождения позднемелового-палеогенового возраста с полиметаллическими, железными и борными рудами, приуроченные к фрагментам карбон-пермских и триасовых рифов. В Самаркинском и его аналоге — Наданьхада-Бикинском, террейнах присутствуют скарново-вольфрамовые месторождения и рудопроявления, размещение которых контролируется поздне триасовой (карний — норий) [1] пачкой переслаивающихся кремней и карбонатных пород [2]. Скарны полиметаллических месторождений Дальнегорского района содержат в среднем 4.67 мас. % MnO и сложены мангангеденбергитом, гранатом и другими минералами. На Дальнегорском боросиликатном месторождении распространены

бороносные пироксеновые, гранатые и бустамитовые [3] скарны со средним содержанием MnO 3.15 мас. %. Белогорское скарново-магнетитовое месторождение Ольгинского района состоит из залежей, сложенных гранатом, магнетитом, небольшим количеством пироксена, бустамита, родонита и других минералов или бустамитом, со средним содержанием MnO в скарнах 4.13 и 12.27 мас. % соответственно. Скарны Дальнегорского и Ольгинского районов обогащены Au (до 1.40 г/т), Pt (1.71) и Pd (5.34) и содержат минералы этих металлов [4].

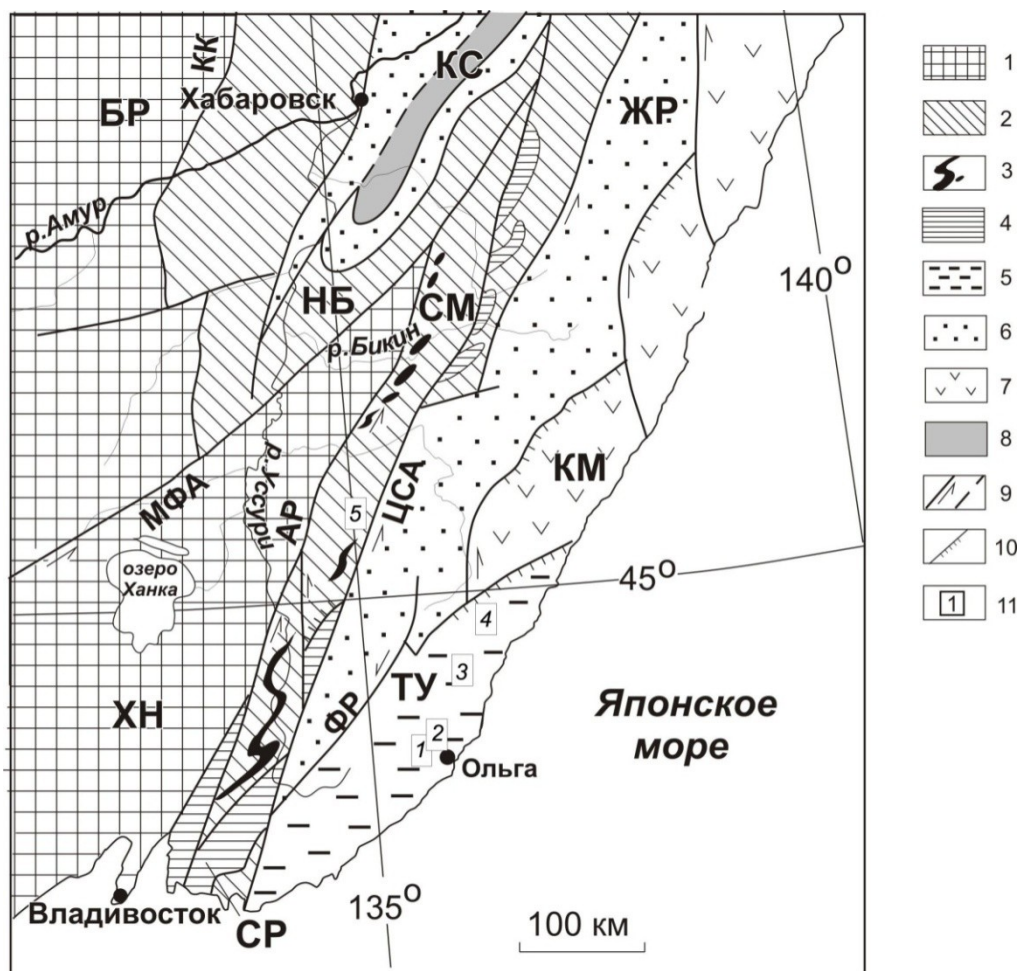


Рис. 1. Положение изученных объектов в Сихотэ-Алине. Тектоническая основа по А. И. Ханчуку [6] с небольшими изменениями:

1 — Ханкайский массив (ХН), Буреинский массив (БР); 2 — юрские террейны (фрагменты аккреционных призм): Самаркинский (СМ), Наданьхада-Бикийский (НБ); 3 — калиновские габброиды (девон?); 4 — Окраинско-Сергеевский терреин (СР) и его фрагменты, включенные в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вместе с ними цикл син- и постаппрецизионных преобразований; 5–8 — раннемеловые террейны-фрагменты: 5 — неокотовской аккреционной призмы (Таухинский (ТУ)); 6 — приконтинентального спредингового турбидитового бассейна (Журавлевско-Амурский(ЖР)); 7 — баррем-альбской островодужной системы (Кемский (КМ)); 8 — альбской аккреционной призмы (Киселевско-Маноминский(КС)); 9 — левые сдвиги, в том числе: Куканский (КК), Арсеньевский (АР), Мишань-Фушуньский (Алчанский) (МФА), Центральный Сихотэ-Алинский (ЦСА), Фурмановский (ФР); 10 — надвиги; 11 — изученные площади с выходами триасовых контактово-метаморфизованных металлоносных осадков и месторождения: 1 — Широкопаднинская площадь и Белогорское скарново-магнетитовое месторождение, 2 — Мокрушинская площадь, 3 — Высокогорская площадь, 4 — Садовая площадь и месторождения Дальнегорской группы (скарново-полиметаллические и боросиликатное), 5 — Горная площадь

Металлогенической особенностью Сихотэ-Алиня являются также многочисленные оловянные, оловянно-полиметаллические (с Ag) и серебро-свинцово-цинковые (с Sn и Au) жильные месторождения

позднемелового-палеогенового возраста, размещенные в перекрывающих Таухинский террейн вулканитах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса и в флишевых отложениях Журавлевского террейна. Многие из них (Южное, Арсеньевское, Темногорское, Красногорское, Ново-Черемуховое и др.) обогащены Mn и содержат разнообразные минералы этого элемента — родонит, пироксмангит, спессартин, тефроит, кнебелит, бустамит, пирофанит, манганаксинит, алабандин, марганцовистые карбонаты, марганцовистые разновидности амфиболов тремолит-ферроактинолитового и куммингтонит-грюнеритового ряда и др. [5].

В фрагментах триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня, присутствующих в меланжевых комплексах аккреционных призм Таухинского и Самаркинского террейнов, распространены обогащенные Au, Pt, Pd и другими металлами контактово-метаморфизованные металлоносные осадки — марганцево-силикатные породы и кремни с дисперсным родохрозитом, тальк-, тальк-хлорит- и актинолит-магнетитовые руды и яшмы [7]. Они известны в Ольгинском, Кавалеровском, Дальнегорском (Таухинский) и Малиновском (Самаркинский террейн) рудных районах (см. рис. 1). Марганцево-силикатные породы сложены родонитом, пироксмангитом, спессартином, тефроитом, Ва-содержащим флогопитом, гялофаном, цельзианом и другими минералами [5, 8]. Они содержат до 47 мас. % MnO, до нескольких десятков граммов на тонну Au, 106 г/т Ag, 11.27 г/т Pt и 5.333 г/т Pd, а также разнообразные минералы этих металлов. Силикатно-магнетитовые руды имеют тальк-магнетитовый (с обильными кристаллами касситерита и шеелита), манганактинолит-магнетитовый и хлорит-магнетитовый состав. Они содержат 49.26–91.37 мас. % (FeO + Fe₂O₃), обогащены MnO (до 0.82 мас. %), SnO₂ (до 0.65), Au (до 2.534 г/т), Pt (4.47) и Pd (0.18) [7].

В изучение месторождений Дальнегорского и Ольгинского рудных районов, традиционно относимых к скарновой формации, заметный вклад внесли многие геологи. К настоящему времени усилиями геологов производственных и научных организаций (В. А. Баскиной, Н. С. Благодаревой, И. С. Бурдюговым, Г. П. Василенко, Г. П. Воларович, И. Н. Говоровым, Т. Я. Гуляевой, М. П. Добровольской, Б. В. Кузнецовым, Г. М. Лобановой, Е. А. Радкевич, В. В. Раткиным, Л. И. Рогулиной, Ф. И. Ростовским, А. Н. Свешниковой, Л. Ф. Симаненко, С. С. Смирнова, И. Н. Томсона, Л. Н. Хетчикова и многих других) накоплен бесценный материал по геологическим условиям их залегания, минералогии, физико-химическим условиям образования, а также по геологии и магматизму Дальнегорского и Ольгинского рудных районов. Вместе с тем, генезис этих месторождений до последнего времени рассматривался, главным образом, в рамках классической теории скарнообразования.

Остались без внимания присутствие в Самаркинском и Таухинском террейнах аллахтонов габброидов калиновского, владими́ро-александровского и сергеевского комплексов, а на площадях месторождений — геохимически родственных марганцовистым скарнам (в статье используется традиционное название этих пород, несмотря на то, что изложенный ниже материал противоречит генетическому содержанию термина) более древних метаморфизованных богатых Mn и Fe осадков триасовой кремневой формации. К ним относятся яшмы и стратифицированные силикатно-магнетитовые руды, а также кремнисто-родохрозитовые и марганцево-силикатные породы, распространение которых, как правило, контролируется офиолитами [9]. В этой связи не было проведено геохимическое сопоставление метаморфизованных металлоносных осадков, скарнов и магматических пород основного и ультраосновного состава. Кроме того, не учитывались существовавшие в триасе климатические условия и, как следствие, возможность образования залежей с характерными для скарнов ассоциациями, горизонтов яшм, силикатно-магнетитовых руд, кремнисто-родохрозитовых и марганцево-силикатных пород в результате метаморфизма и частичной регенерации богатых Mn и Fe осадков, накапливавшихся в результате размыва латеритной коры выветривания габброидов. Без внимания осталась последовательность геологических событий в триасе, обусловившая смену характера осадконакопления к позднему анизию (резкое уменьшение в кремнистых осадках количества углеродистого и глинистого материала), появление яшм и глубоководных богатых Mn и Fe осадков (в нынешнем виде, кремней с дисперсным родохрозитом, марганцево-силикатных пород и силикатно-магнетитовых руд) и последующее (карний — норий) образование рифовых массивов Дальнегорского района (рис. 2).

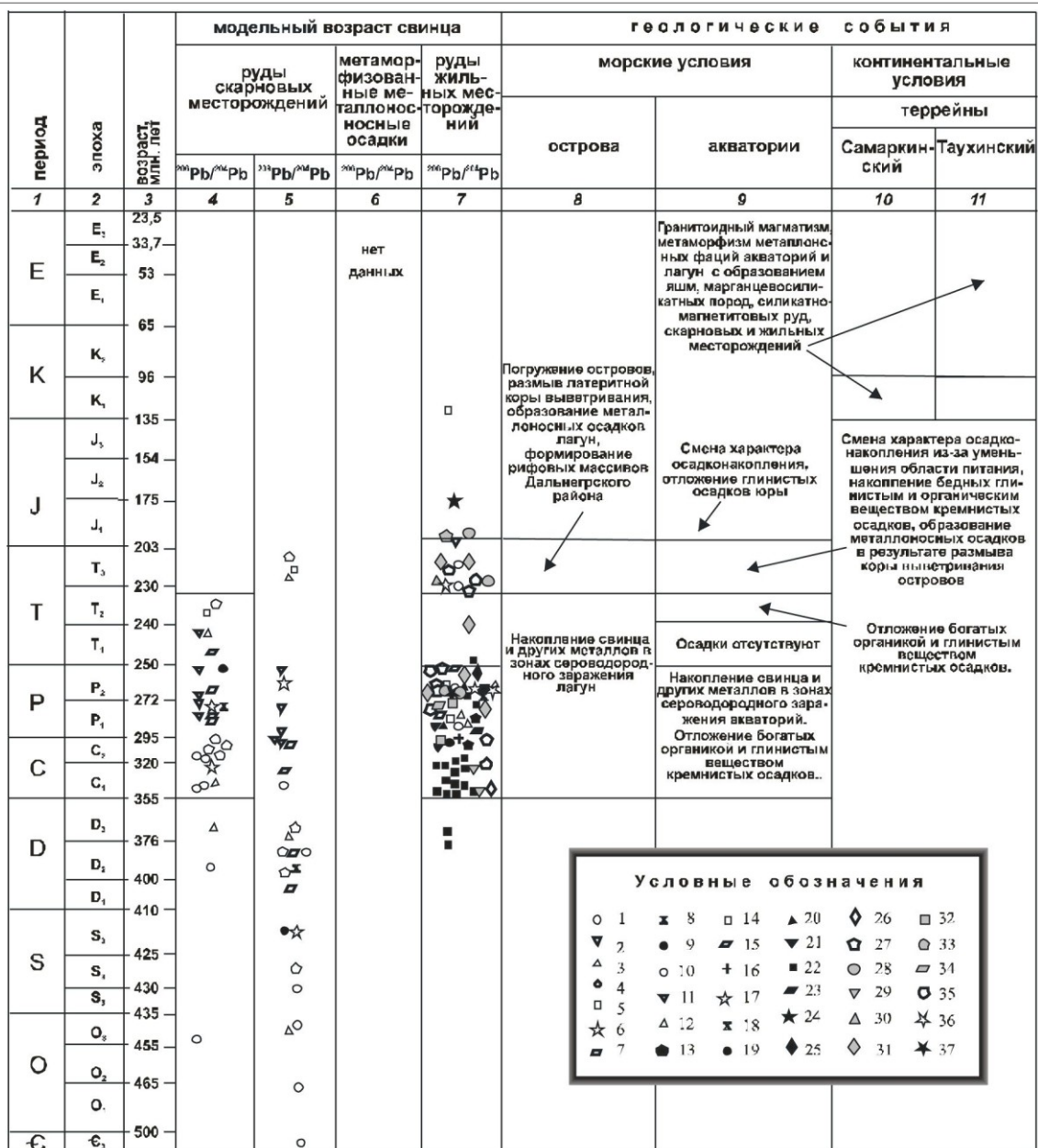


Рис. 2. Модельный возраст свинца галенита из руд скарново-полиметаллических и жильных оловянных, оловянно-полиметаллических (с серебром) и серебро-свинцово-цинковых (с Sn и Au) месторождений Таухинского и Журавлевского террейнов:

1–9 — скарново-полиметаллические месторождения: Николаевское (1), Верхнее (2), Первое Советское (3), Партизанская группа (4), Восточный партизан (5), Второе Советское (6), Садовое (7), залежь Мартовская (8), Бородинское (9); 10–37 — жильные месторождения: Тигриное (10), Таборное (11), Голубое (12), Арминское (13), Дальнетаежное (14), Зимнее (15), Великое (16), Звездное (17), Ветвистое (18), Верхне-Молодежное (19), Ивановское (20), Ноябрьское (21), Смирновское (22), Встречное (23), Дальнее (24), Южное (25), Левецкое (26), Арсеньевское (27), Хрустальное (28), Высокогорское (29), Верхне-Цинковое (30), Силинское (31), Перевальное (32), Лево-Павловское (33), Нижнее (34), Рудное (35), Щербаковское (36), Фасольное (37). Исходные данные заимствованы из сводки Ф. И. Ростовского [10]

Перечисленные выше обстоятельства не позволили найти удовлетворительное объяснение модельному возрасту свинца из руд скарновых и жильных месторождений Таухинского и Журавлевского террейнов, который, согласно Ф. И. Ростовскому [10], оказался гораздо более

древним, чем возраст содержащих его рудных тел (см. рис. 2), а также некоторых других важных в генетическом отношении фактов. К ним относятся, в частности, отсутствие типичной для скарновых залежей метасоматической зональности и текстуры скарнов, которые в большей мере отвечают метаморфизованным и частично регенерированным экзогенным образованиям.

С учетом особенностей геологического строения Сихотэ-Алиня можно предположить, что, по меньшей мере, с девона до конца триаса вблизи окраины Ханкайского массива существовали две цепочки островов, сложенных габброидами калиновского, владими́ро-александровского и сергеевского комплексов. Фрагменты островов прослеживаются на современной геологической карте вдоль западной и восточной границ Самаркинского террейна (см. рис. 1), а также присутствуют в Таухинском террейне [11]. Габброиды и прилежавшие к островам акватории служили источниками глинистого и органического вещества, которыми обогащена нижняя часть триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня. С позднего анизия до конца триаса происходило погружение островов, сопровождавшееся интенсивным размывом коры выветривания габброидов, латеритный характер которой согласуется с существовавшим в то время аридным климатом [12]. Этот период фиксируется по упомянутой выше смене характера осадконакопления, по появлению в триасовом разрезе Сихотэ-Алиня горизонтов богатых Mn и Fe осадков (в нынешнем виде, яшм, силикатно-магнетитовых руд и марганцево-силикатных пород) и по образованию рифовых построек Дальнегорского рудного района. Такие же богатые Mn и Fe осадки (в нынешнем виде, скарны) накапливались, очевидно, и в лагунах островов.

Можно предположить, что накопление В и Рb происходило в мелководных (периодически пересыхавших) и в относительно глубоководных (с зонами сероводородного заражения) лагунах островов, соответственно. Предположение об осадочной природе бора Дальнегорского боросиликатного месторождения подтверждается его изотопным составом [13]. Заимствованные из сводки Ф. И. Ростовского [10] значения модельного возраста Рb галенита скарновых месторождений Сихотэ-Алиня, определенные по $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, свидетельствуют о его концентрировании в период от нижней границы карбона примерно до середины среднего триаса (см. рис. 2). Нижний предел не противоречит геологическим данным о возрасте габброидов (см. ниже), а верхний близок ко времени начала погружения островов (поздний анизий) [14]. Модельный возраст, определенный по $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, отличается большим разбросом значений и, очевидно, в меньшей степени соответствует реальному времени накопления этого металла.

Изложенные выше представления, согласующиеся с геологическими данными, в некоторой своей части требуют дополнительного обоснования. Это касается, прежде всего, получения прямых доказательств присутствия вещества габброидов и, возможно, продуктов экзогенного разрушения пород окраины Ханкайского массива в скарнах, силикатно-магнетитовых рудах и марганцево-силикатных породах, а также выяснения источников свинца в скарновых месторождениях Сихотэ-Алиня. В данной статье предпринята попытка решения этих вопросов с использованием геохимических и изотопных характеристик габброидов калиновского, владими́ро-александровского и сергеевского комплексов, триасовых метаморфизованных металлоносных осадков Сихотэ-Алиня, а также скарнов Ольгинского и Дальнегорского рудных районов.

Методика исследований

Определение содержаний элементов-примесей в скарнах (табл. 1–3) выполнено в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Technologies, США). Особенностью пробоподготовки являлось сплавление навески с метаборатом лития. Определение содержаний элементов-примесей в триасовых металлоносных осадках Сихотэ-Алиня (табл. 4–6) производилось в ХИАЦ ИТИГ методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе ICP-MS Elan DRC II Perkin Elmer (США).

Содержание некоторых второстепенных элементов
в скарнах Дальнегорского боросиликатного месторождения, г/т

Элемент	Проба								
	Бс-09-1	Бс-09-2	Бс-09-3	Бс-09-4	Бс-09-6	Бс-09-7	Бс-09-8	Бс-09-9	Бс-09-10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	9.644	22.219	15.899	12.794	13.264	10.649	8.364	37.034	10.389
Y	2.579	2.485	1.509	2.410	3.783	2.418	1.628	29.558	0.6050
Zr	1.518	6.589	2.367	2.234	8.894	3.880	1.249	0.9105	1.971
Nb	0.2300	0.4329	0.1822	0.1169	0.7913	0.2912	0.1292	0.1182	0.09268
La	0.2825	0.7505	1.622	0.3770	1.087	1.731	1.109	12.211	0.4850
Ce	1.573	2.889	5.299	1.674	2.407	10.449	1.659	26.349	0.7545
Pr	0.2323	0.4075	0.7079	0.2165	0.3837	1.702	0.2548	3.128	0.07043
Nd	0.8742	1.750	2.482	0.7827	1.651	6.325	1.015	11.420	0.1720
Sm	0.1782	0.3187	0.3992	0.2056	0.4699	0.7490	0.3421	3.130	0.03528
Eu	0.3212	0.3504	0.6850	0.3026	0.1937	1.267	0.1502	1.051	0.1140
Gd	0.2914	0.3675	0.2294	0.2118	0.7370	0.7470	0.3372	4.095	0.06896
Tb	0.02856	0.05206	0.03375	0.03191	0.07906	0.04634	0.03640	0.6215	0.00477
Dy	0.2906	0.3190	0.1564	0.2264	0.4411	0.2206	0.2090	4.663	0.03894
Ho	0.06282	0.04767	0.02775	0.04977	0.1236	0.06232	0.04757	0.8999	0.01349
Er	0.2534	0.1671	0.1081	0.2019	0.3245	0.1681	0.1262	2.410	0.01257
Tm	0.03343	0.03145	0.03022	0.02126	0.04235	0.02829	0.02281	0.3047	0.00635
Yb	0.1307	0.08790	0.07755	0.1737	0.3142	0.1721	0.1679	2.104	0.01302
Lu	0.02152	0.02775	0.02051	0.02233	0.04182	0.02876	0.02393	0.2127	0.00701
Ta	0.01403	0.2602	0.01546	0.01543	0.05158	0.02089	0.01526	0.01285	<0.01
Th	0.09837	0.4391	0.1287	0.1336	0.5363	0.3618	0.09797	1.054	0.07992
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	–	–	–	–	–	0.073576	–	0.153722	–
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	–	–	–	–	–	0.512314	–	0.512269	–
Err	–	–	–	–	–	6	–	7	–
Элемент	Бс-09-11	Бс-09-12	Бс-09-13	Бс-09-14	Бс-09-15	Бс-09-17	Бс-09-18	Бс-09-19	Бс-09-20
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
V	12.379	12.309	27.104	29.414	25.739	32.999	18.034	12.869	17.414
Y	3.513	2.649	11.438	15.388	9.993	12.258	3.506	3.145	1.747
Zr	2.175	0.6660	5.344	11.584	2.933	8.129	1.925	2.010	1.475
Nb	0.1925	0.07548	0.4417	0.8638	0.1699	0.5998	0.1152	0.1103	0.07353
La	0.5710	0.4700	0.2800	1.105	0.4755	1.166	1.025	0.4385	1.821
Ce	1.376	0.8585	0.8720	2.624	1.269	2.476	4.476	2.093	6.559
Pr	0.2104	0.1359	0.1079	0.4025	0.2776	0.3551	0.7039	0.3503	0.8984
Nd	0.9792	0.5692	0.6917	2.044	1.369	1.763	3.025	1.360	3.649
Sm	0.2025	0.1304	0.3568	0.6675	0.4237	0.6505	0.5920	0.3464	0.4480
Eu	0.1062	0.08065	0.1207	0.1784	0.2142	0.09365	0.5085	0.3873	0.7970
Gd	0.2994	0.2524	0.3819	1.051	0.6295	0.7035	0.4915	0.3254	0.2889
Tb	0.03164	0.02669	0.09016	0.1468	0.09121	0.1307	0.07206	0.04609	0.03975
Dy	0.3028	0.2346	0.7363	1.208	0.7838	0.8673	0.3253	0.3270	0.1856
Ho	0.04208	0.02707	0.2125	0.2683	0.1788	0.2551	0.08362	0.07917	0.05207
Er	0.1202	0.1514	0.7155	0.9900	0.5350	0.8670	0.2843	0.2333	0.1585
Tm	0.01919	0.01487	0.1044	0.1373	0.07440	0.1410	0.04906	0.04309	0.01900
Yb	0.1677	0.1223	0.6777	1.095	0.5392	1.006	0.2745	0.2070	0.09815
Lu	0.02095	0.01726	0.1005	0.1520	0.1013	0.1747	0.03346	0.03184	0.01557
Ta	0.01355	0.01080	0.02846	0.05783	0.01221	0.08128	0.02319	0.02289	0.01697
Th	0.1559	0.04347	0.3955	1.437	0.1692	1.066	0.2115	0.1572	0.1245
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	–	–	–	0.059669	–	0.099327	–	–	0.079763
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	–	–	–	0.511918	–	0.512186	–	–	0.512346
Err	–	–	–	20	–	13	–	–	6

Примечание. Аналитики: Н. В. Зарубина, М. Г. Блохин, Е. В. Еловский

Таблица 2

Содержание некоторых второстепенных элементов в скарнах Белогорского железорудного месторождения, г/т

Элемент	Проба									
	Б-79-2 1	Б-79-16 2	Б-79-26 3	Б-79-28 4	Б-79-31 5	Б-79-32 6	Б-79-33 7	Б-79-37 8	Б-79-38 9	Б-79-48 10
V	2.368	8.677	2.866	12.204	11.109	7.609	5.839	24.154	5.950	4.418
Y	8.512	1.836	3.199	4.478	4.556	8.968	1.575	34.928	6.278	8.198
Zr	9.240	7.775	11.459	8.749	4.629	11.549	5.854	15.624	12.026	14.666
Nb	0.3729	0.2850	0.2157	0.3173	0.2402	0.5978	0.2669	0.8828	0.4238	0.9572
La	0.6283	0.3408	5.435	3.218	1.418	3.459	1.104	2.400	3.659	1.150
Ce	1.008	0.8480	5.698	5.154	2.426	6.329	3.842	3.388	8.704	2.507
Pr	0.1204	0.09133	0.4727	0.5289	0.4368	1.074	0.3973	0.3887	1.025	0.2489
Nd	0.5618	0.2389	1.452	1.690	2.140	4.633	1.202	1.557	3.006	0.9643
Sm	0.1857	0.09758	0.1187	0.3583	0.3223	0.5180	0.2798	0.3490	0.3187	0.2996
Eu	0.07446	0.03916	0.2354	0.1886	0.0849	0.06150	0.07155	0.0797	0.3061	0.0771
Gd	0.3483	0.1004	0.2887	0.4199	0.3073	0.5045	0.2462	0.5750	0.6198	0.3789
Tb	0.06912	0.03192	0.03153	0.04310	0.0542	0.06726	0.04144	0.2181	0.08145	0.0751
Dy	0.6678	0.1720	0.3185	0.3346	0.3068	0.4329	0.1725	2.328	0.5987	0.6212
Ho	0.1362	0.04198	0.04257	0.06603	0.0687	0.1257	0.06347	0.9004	0.1308	0.1496
Er	0.4638	0.1083	0.1874	0.2401	0.1805	0.4180	0.09395	4.164	0.3579	0.4697
Tm	0.05058	0.02487	0.02665	0.03937	0.0289	0.04907	0.02265	0.8180	0.05288	0.0702
Yb	0.3496	0.1646	0.2128	0.2724	0.1590	0.3367	0.09140	6.103	0.3629	0.3640
Lu	0.04653	0.02765	0.02987	0.04003	0.0226	0.04867	0.02008	0.8710	0.03296	0.0382
Ta	0.03963	0.07632	0.07463	0.02035	0.0904	0.2580	0.03349	0.0539	0.01683	0.0668
Th	0.5055	0.1367	0.2675	0.3330	0.9728	1.920	0.2319	0.4898	0.3220	0.5313
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	—	—	0.033367	—	—	0.063517	—	—	—	—
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	—	—	0.512478	—	—	0.512422	—	—	—	—
Err	—	—	19	—	—	16	—	—	—	—
Элемент	Б-79-55	Б-79-59	Б-79-62	Б-79-84	Б-79-85	Б-79-88	Б-79-92	Б-79-94	Б-79-96	Б-79-98
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	4.014	5.579	5.449	4.177	3.890	2.832	5.512	11.846	3.318	7.849
Y	23.881	7.723	18.409	1.049	12.193	15.409	27.952	9.206	11.383	12.785

Окончание таблицы 2

Элемент	Б-79-55	Б-79-59	Б-79-62	Б-79-84	Б-79-85	Б-79-88	Б-79-92	Б-79-94	Б-79-96	Б-79-98
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zr	12.978	9.534	18.810	12.639	14.938	13.802	22.510	32.954	1.803	2.314
Nb	0.9186	0.6621	3.997	0.1617	2.276	0.9646	1.157	0.3603	0.2838	0.8486
La	2.353	1.335	1.888	0.4368	1.490	8.463	8.534	5.215	1.723	1.323
Ce	4.818	1.978	9.645	0.6320	2.541	28.733	22.512	10.354	3.318	3.723
Pr	0.7310	0.2298	1.632	0.04884	0.2649	3.785	2.734	1.140	0.4903	0.5730
Nd	2.897	1.016	6.965	0.2012	1.041	12.506	10.572	3.469	1.887	2.066
Sm	0.8939	0.1764	1.937	0.06731	0.3332	1.838	2.326	0.5363	0.5445	0.6313
Eu	0.3284	0.08460	0.1680	0.03712	0.0994	0.1990	0.4858	0.5449	0.1822	0.1436
Gd	1.350	0.3336	1.886	0.09236	0.4288	1.543	2.963	0.6682	0.5990	0.8115
Tb	0.2176	0.07341	0.3195	0.01741	0.09590	0.1987	0.4127	0.1247	0.1117	0.1240
Dy	1.904	0.5238	2.286	0.1065	0.7452	1.282	3.460	0.8920	0.7083	0.8898
Ho	0.4497	0.1356	0.4924	0.02251	0.1958	0.2656	0.6183	0.1916	0.1819	0.2043
Er	1.172	0.3904	1.354	0.1174	0.6191	0.8592	2.009	0.7158	0.5155	0.6701
Tm	0.1798	0.04100	0.2115	0.01797	0.1056	0.1055	0.3160	0.09767	0.06410	0.09570
Yb	0.8609	0.2868	1.410	0.05083	0.6821	0.5084	1.559	0.8032	0.4292	0.6110
Lu	0.1277	0.04172	0.1338	0.01655	0.08408	0.06684	0.1930	0.1009	0.05000	0.05456
Ta	0.1406	0.04422	0.4023	0.01207	0.1244	0.03436	0.08655	0.01425	0.01305	0.01297
Th	0.4629	0.1903	0.6209	0.1163	0.4057	0.7541	1.918	1.203	0.1133	0.1772
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.176334	–	–	–	–	0.086207	0.151279	–	–	–
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512560	–	–	–	–	0.512560	0.512572	–	–	–
Err	11	–	–	–	–	11	18	–	–	–

Примечание. Аналитики: Н. В. Зарубина, М. Г. Блохин, Е. В. Еловский.

Таблица 3
Содержание некоторых второстепенных элементов в скарнах Николаевского полиметаллического месторождения, г/т

Элемент	Проба													
	H-09-1	H-09-5	H-09-6	H-09-7	H-09-8	H-09-9	H-09-10	H-09-11	H-09-12	H-09-13	H-09-14	H-09-15	H-09-16	H-09-17
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
V	5.629	17.784	121.134	4.110	6.539	4.314	1.938	5.059	5.849	3.416	6.239	44.074	4.072	4.384
Y	1.457	18.478	26.748	2.893	1.470	1.797	1.680	2.588	4.463	1.852	1.209	11.878	3.487	2.456
Zr	4.909	59.764	194.314	3.834	1.319	9.099	10.550	3.112	2.388	5.329	3.312	33.569	2.142	0.5425
Nb	0.1185	6.469	15.044	0.1956	0.07853	0.06683	0.08893	0.1914	0.1175	0.07423	0.1604	3.140	0.1406	0.1131
La	0.3105	9.536	35.121	0.6315	0.1199	0.4130	0.3685	0.7020	0.00	0.3795	0.5300	9.726	0.6280	0.1090
Ce	0.4710	22.089	74.999	0.9390	0.1680	0.4780	0.7750	1.019	0.1769	0.6240	0.7895	20.089	0.9215	0.2881
Pr	0.06438	2.872	8.051	0.1404	0.02199	0.07838	0.1045	0.1802	0.03036	0.1076	0.1149	2.314	0.2146	0.05383
Nd	0.3090	11.415	30.175	0.6427	0.1132	0.3222	0.3079	0.7417	0.2368	0.4227	0.3361	9.040	0.9307	0.2317
Sm	0.1465	2.857	6.420	0.1027	0.06220	0.08965	0.08195	0.1277	0.1116	0.1011	0.1023	1.994	0.2048	0.08275
Eu	0.02499	0.5525	1.093	0.03078	0.02798	0.02307	0.03497	0.02490	0.00896	0.02075	0.02091	0.4670	0.03849	0.01900
Gd	0.1414	3.254	5.261	0.2278	0.09526	0.07076	0.1285	0.2137	0.07601	0.1350	0.08131	2.095	0.1896	0.1365
Tb	0.01533	0.5735	0.8330	0.02728	0.00810	0.01416	0.02525	0.02369	0.01663	0.01927	0.01578	0.3225	0.03149	0.01549
Dy	0.07139	3.370	4.971	0.2195	0.1560	0.0983	0.2079	0.1729	0.2040	0.1644	0.08939	1.989	0.2766	0.1648
Ho	0.02073	0.6889	0.9584	0.05162	0.02577	0.02360	0.03990	0.04610	0.08217	0.03105	0.02506	0.3481	0.07707	0.04937
Er	0.09200	1.776	2.976	0.1929	0.1209	0.09205	0.1177	0.1594	0.3647	0.09240	0.09890	0.9830	0.2025	0.1359
Tm	0.01133	0.2740	0.4819	0.02033	0.01939	0.02732	0.01659	0.01574	0.05110	0.01772	0.00890	0.1389	0.02665	0.02601
Yb	0.1241	1.659	2.939	0.1475	0.09065	0.05950	0.06290	0.1262	0.2537	0.06555	0.07420	0.8287	0.1488	0.09890
Lu	0.01102	0.2378	0.4112	0.02197	0.01047	0.02012	0.01067	0.02649	0.02859	0.01663	0.01183	0.1675	0.01819	0.02122
Ta	0.02145	0.8140	0.9780	0.02647	<0.01	<0.01	0.01408	0.02296	0.00786	<0.01	0.01258	0.2021	0.00946	0.00998
Th	0.1468	12.009	16.374	0.1789	0.1023	0.07437	0.07792	0.2228	0.04067	0.09947	0.1843	2.508	0.1559	0.07187
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	—	0.156906	0.113457	—	—	—	—	0.072598	—	0.058527	—	0.124862	0.034309	—
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	—	0.512364	0.512095	—	—	—	—	0.512161	—	0.512201	—	0.512266	0.512220	—
Err	—	7	7	—	—	—	—	18	—	16	—	5	17	—

Примечание. Аналитики: Н. В. Зарубина, М. Г. Блохин, Е. В. Еловский.

Таблица 4

Содержание некоторых второстепенных элементов в марганцево-силикатных породах
Широкопаднинской площади (Ольгинский рудный район), г/т

Элемент	Проба								
	Мт-81-5	Мт-81-6	Мт-81-9	Мт-81-11	М-81-17	Р-80-100	К-80-11	К-83-21	Ф-04-16
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	25.066	30.123	26.230	22.745	9.714	117.183	58.881	2.063	35.197
Y	2.506	0.7116	3.925	2.474	3.751	17.845	10.834	3.564	5.258
Zr	14.391	6.893	17.031	11.075	1.411	21.240	13.262	1.710	4.606
Nb	2.738	0.9428	3.432	1.535	0.2361	2.834	1.719	0.07544	0.3132
La	1.695	0.5030	4.965	1.187	0.6672	9.546	2.405	5.676	8.132
Ce	4.513	2.155	3.947	2.917	2.438	24.815	5.478	3.301	17.763
Pr	0.4899	0.1473	1.017	0.4025	0.1653	2.519	0.6565	1.070	2.249
Nd	2.274	0.6411	3.329	1.965	1.301	10.296	3.349	4.396	9.533
Sm	0.5168	0.1606	0.6952	0.5137	0.4036	2.334	1.047	0.7951	1.569
Eu	0.09608	0.06769	0.1110	0.1000	0.1872	0.7788	0.4231	0.9103	0.4328
Gd	0.6659	0.2100	0.8238	0.5947	0.7047	3.455	1.855	0.8834	2.379
Tb	0.07888	0.02628	0.1172	0.07952	0.1078	0.4828	0.2919	0.1130	0.2594
Dy	0.4563	0.1631	0.6861	0.4583	0.7356	3.045	2.263	0.6190	1.707
Ho	0.08957	0.02904	0.1383	0.08552	0.1615	0.6109	0.5129	0.1160	0.3521
Er	0.2596	0.08117	0.3959	0.2443	0.4921	1.691	1.473	0.3208	0.9312
Tm	0.04391	0.01147	0.05345	0.03524	0.07561	0.2332	0.2121	0.04507	0.1257
Yb	0.3523	0.07702	0.3347	0.2672	0.5385	1.446	1.340	0.2827	0.7985
Lu	0.06325	0.01110	0.04856	0.04436	0.09201	0.2326	0.2009	0.04186	0.1087
Ta	0.1980	—	0.3045	0.1293	0.06041	0.2265	0.1398	—	—
Th	3.159	0.5562	3.470	3.531	0.2663	2.755	1.544	0.2708	0.4697
Элемент	Ш-86-62	Ш-86-96	Ф-04-3а	Ф-04-5а	Ф-80-2	Ф-80-10	Ф-80-10а	Ф-80-10в	Ш-80-12
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
V	96.105	114.606	64.623	41.153	22.749	50.884	172.713	25.544	27.418
Y	8.308	55.245	14.739	5.850	6.287	3.518	53.310	11.495	8.566
Zr	4.736	48.561	10.029	3.425	9.125	5.020	105.769	11.925	5.333
Nb	0.3776	5.984	2.923	1.452	0.6858	0.3521	15.273	2.063	1.083
La	8.152	18.935	9.379	22.220	9.317	12.732	24.043	4.724	25.529
Ce	16.924	44.534	22.072	38.770	31.349	28.207	62.318	3.631	37.553
Pr	1.391	10.067	2.340	3.641	4.563	2.639	6.541	0.9650	3.572
Nd	5.747	19.173	9.681	11.611	23.165	9.462	28.259	4.451	11.541
Sm	1.437	10.032	2.059	1.460	5.073	1.452	6.777	1.024	1.652
Eu	0.3966	7.959	0.4761	0.5778	0.7211	0.3991	1.667	1.516	0.3360
Gd	2.797	12.051	3.193	2.876	5.095	2.299	10.797	1.605	3.316
Tb	0.3729	8.195	0.3705	0.2006	0.4306	0.1726	1.492	0.2373	0.3006
Dy	2.431	13.528	2.434	1.147	1.920	0.8623	10.687	1.584	1.879
Ho	0.4691	9.034	0.5392	0.2401	0.2823	0.1473	2.343	0.3323	0.3971
Er	1.268	11.795	1.616	0.7275	0.6719	0.4275	6.665	0.9364	1.095
Tm	0.1914	7.906	0.2264	0.09632	0.07086	0.05813	0.9391	0.1230	0.1465
Yb	1.417	10.905	1.444	0.6112	0.4551	0.4158	6.250	0.7999	0.9269
Lu	0.2252	7.453	0.2213	0.09169	0.05942	0.05880	0.9287	0.1244	0.1373
Ta	—	1.742	0.1322	—	—	—	1.325	0.02968	—
Th	0.3132	15.534	2.475	2.592	0.5108	0.3066	7.125	1.542	0.7303
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.158921	0.142987	—	—	—	—	—	—	0.088468
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512312	0.512385	—	—	—	—	—	—	0.512311
Err	4	7	—	—	—	—	—	—	5

Примечание. Аналитики: Д. В. Авдеев, Л. С. Боковенко.

Таблица 6
Содержание некоторых второстепенных элементов в марганцево-силикатных породах Горной площади (Малиновский рудный район), г/т

Элемент	Проба										
	ЭВ-01-58	ЭВ-06-1	ЭВ-06-2	ЭВ-06-3	ЭВ-06-4	ЭВ-06-5	ЭВ-06-6	ЭВ-06-7	ЭВ-06-8	ЭВ-06-9	ЭВ-06-10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	6.679	52.136	69.219	54.635	42.553	60.002	68.855	50.509	92.554	19.025	43.359
Y	4.560	2.874	3.934	4.474	4.532	1.474	4.464	3.613	4.712	2.865	3.857
Zr	8.762	4.960	7.895	9.683	5.414	2.858	9.947	7.946	7.188	4.799	8.577
Nb	0.7072	0.7915	1.590	0.7853	1.435	0.2484	0.9568	0.7921	1.177	0.5564	0.9132
La	6.298	3.389	4.872	5.545	2.774	2.146	4.777	3.695	3.708	2.889	4.595
Ce	16.183	12.913	19.304	19.131	10.412	7.683	18.582	13.479	17.728	9.333	19.359
Pr	1.809	0.9756	1.692	1.316	0.6221	0.2264	1.021	0.7503	0.8551	0.5420	1.171
Nd	7.783	4.551	6.632	6.740	3.888	2.172	5.476	4.466	5.227	3.586	5.933
Sm	1.647	1.063	1.428	1.464	0.9143	0.4568	1.205	1.026	1.583	0.7721	1.276
Eu	0.3581	0.2382	0.2839	0.3644	0.3312	0.1501	0.3391	0.2551	0.3701	0.1406	0.3298
Gd	1.953	1.320	2.013	1.884	1.284	0.6470	1.765	1.484	2.139	1.057	1.820
Tb	0.1969	0.1676	0.2264	0.2208	0.1641	0.07311	0.1974	0.1749	0.2484	0.1217	0.1950
Dy	0.9556	0.9329	1.250	1.275	0.9659	0.4260	1.090	1.025	1.285	0.6700	1.048
Ho	0.1700	0.1622	0.2292	0.2460	0.1765	0.07936	0.2062	0.1906	0.2115	0.1242	0.1796
Er	0.4572	0.4454	0.6269	0.7040	0.4521	0.2327	0.5842	0.5078	0.5431	0.3308	0.4885
Tm	0.06199	0.05655	0.08995	0.09982	0.05808	0.03577	0.07920	0.06548	0.07362	0.04121	0.06777
Yb	0.4205	0.3871	0.6116	0.6730	0.3666	0.2758	0.5230	0.4031	0.5329	0.2641	0.4886
Lu	0.06571	0.04707	0.08717	0.09540	0.04734	0.04340	0.07013	0.05284	0.08037	0.03605	0.07085
Ta	0.04223	0.05801	1.018	0.04900	0.06192	0.00626	0.07278	0.05496	0.06608	0.00704	0.06269
Th	1.601	0.8286	1.582	1.117	0.7882	0.3954	1.230	0.9756	1.214	0.6122	1.247
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	—	—	—	—	—	—	0.138279	0.136132	0.190578	—	—
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	—	—	—	—	—	—	0.512323	0.512315	0.512371	—	—
Err	—	—	—	—	—	—	3	5	8	—	—
Элемент	ЭВ-06-11	ЭВ-06-12	ЭВ-06-13	ЭВ-06-14	ЭВ-06-15	ЭВ-06-16	ЭВ-06-17	ЭВ-06-18	ЭВ-06-19	ЭВ-06-20	ЭВ-06-21
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
V	57.034	54.084	131.793	51.809	24.482	52.802	33.760	39.716	10.807	51.808	37.589
Y	3.602	4.009	7.880	3.450	2.010	3.663	2.462	3.308	0.8968	6.767	1.966
Zr	5.720	7.217	10.541	5.502	4.534	5.629	4.870	6.499	1.323	4.772	4.850
Nb	0.8373	0.8688	2.360	0.5928	0.4103	0.8460	0.6240	0.7999	0.08222	0.4730	0.4505
La	3.166	4.529	7.943	2.313	2.019	3.311	3.448	2.609	1.481	5.645	1.720
Ce	13.332	16.742	27.628	11.189	7.537	12.420	14.065	12.710	3.202	10.897	6.356
Pr	1.007	1.384	2.126	0.8014	0.5990	1.184	0.8693	0.8835	0.3214	1.538	0.5449

Окончание таблицы 6

Элемент	ЭВ-06-11	ЭВ-06-12	ЭВ-06-13	ЭВ-06-14	ЭВ-06-15	ЭВ-06-16	ЭВ-06-17	ЭВ-06-18	ЭВ-06-19	ЭВ-06-20	ЭВ-06-21	ЭВ-06-22
Nd	4.649	6.310	9.440	3.887	2.802	4.668	3.974	4.265	1.335	6.293	2.290	
Sm	1.075	1.426	2.091	0.9973	0.5920	1.061	0.8330	1.029	0.2829	1.310	0.4761	
Eu	0.2744	0.3876	0.6878	0.2495	0.1029	0.2051	0.1424	0.2195	0.06025	0.3270	0.08946	
Gd	1.442	2.204	3.260	1.263	0.7081	1.326	0.9647	1.546	0.3823	1.833	0.6710	
Tb	0.1626	0.2524	0.3576	0.1537	0.08536	0.1684	0.1075	0.1761	0.04502	0.2284	0.07650	
Dy	0.9018	1.383	1.965	0.8408	0.4792	0.9978	0.5761	0.9695	0.2623	1.329	0.4432	
Ho	0.1576	0.2755	0.3831	0.1463	0.08168	0.1734	0.1017	0.1903	0.05134	0.2596	0.08853	
Er	0.4590	0.7906	1.116	0.4046	0.2305	0.4624	0.3117	0.5427	0.1428	0.6857	0.2472	
Tm	0.05756	0.1191	0.1606	0.04953	0.02524	0.05742	0.03966	0.07554	0.01959	0.08690	0.03293	
Yb	0.4025	0.7918	1.173	0.3637	0.1991	0.4085	0.2921	0.4786	0.1300	0.5661	0.2156	
Lu	0.05221	0.1239	0.2118	0.04948	0.02389	0.04982	0.03769	0.06746	0.01710	0.08525	0.02715	
Ta	0.1497	0.05371	0.2025	0.06174	0.02294	0.05647	0.1163	0.09810	–	–	0.01175	
Th	0.1785	1.041	2.237	0.6406	0.4470	0.7944	0.7290	0.9083	0.07860	0.3905	0.4468	
Элемент	ЭВ-06-22	ЭВ-06-23	ЭВ-06-24	ЭВ-06-25	ЭВ-06-26	ЭВ-06-27	ЭВ-06-28	ЭВ-06-29	ЭВ-83-35			
V	44.966	32.028	32.108	39.721	85.205	40.695	48.845	56.772	58.157			
Y	2.853	5.410	2.473	2.310	38.713	3.003	6.805	8.627	4.655			
Zr	4.495	8.182	4.857	4.707	51.499	5.416	11.284	13.051	6.517			
Nb	0.2227	1.345	0.4848	0.8138	0.6061	0.4892	1.688	2.165	1.032			
La	1.797	6.511	3.053	2.581	9.110	2.935	6.926	8.136	5.016			
Ce	8.250	21.109	11.445	10.105	9.066	10.491	22.784	23.246	12.574			
Pr	0.6353	2.000	0.7456	0.7790	2.600	0.8492	2.180	2.323	1.110			
Nd	2.845	8.519	3.501	3.115	12.621	3.520	8.747	9.794	6.036			
Sm	0.7297	1.749	0.7739	0.6639	3.423	0.7731	1.840	2.113	1.263			
Eu	0.2010	0.2401	0.2448	0.1377	0.9329	0.1815	0.4675	0.5138	0.3176			
Gd	0.9856	2.369	0.9232	0.9100	5.102	1.114	2.543	2.887	1.705			
Tb	0.1247	0.2544	0.1052	0.1109	0.7301	0.1246	0.2886	0.3326	0.2128			
Dy	0.7051	1.477	0.6195	0.6481	4.693	0.7571	1.619	1.903	1.262			
Ho	0.1274	0.2754	0.1092	0.1197	1.065	0.1516	0.2873	0.3562	0.2355			
Er	0.3407	0.6779	0.2997	0.3360	3.200	0.4241	0.7676	0.9513	0.6018			
Tm	0.04684	0.08360	0.03475	0.05144	0.4572	0.06255	0.1036	0.1288	0.07771			
Yb	0.3304	0.5288	0.2302	0.3436	3.096	0.4136	0.6977	0.8741	0.5280			
Lu	0.04969	0.07455	0.02657	0.04890	0.4807	0.06048	0.1039	0.1352	0.07283			
Ta	–	0.1345	0.02879	0.05696	0.1274	0.03349	0.1374	0.1533	0.07251			
Th	0.4656	1.243	0.5900	0.6414	0.7792	0.5064	1.629	1.925	1.065			

Примечание. Аналитики: Д. В. Авдеев, Л. С. Боковенко.

Пробоподготовка и измерения изотопного состава Nd и Sm в скарнах и триасовых метаморфизованных металлоносных осадках (табл. 1–6) выполнены в Геологическом институте Кольского научного центра РАН. Анализы выполнялись на 7-канальном твердофазном масс-спектрометре Finnigan-MAT 262 (RPQ) в статическом двухленточном режиме с использованием рениевых и танталовых лент. Среднее значение отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте La Jolla за периоды измерений составило 0.511835 ± 18 ($N=15$). Ошибка в $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношениях составляет 0.3 % (2σ) — среднее значение из семи измерений в стандарте BCR. Погрешность измерения изотопного состава Nd в индивидуальном анализе не превышала 0.004 %. Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd и Sm составляло 0.3 и 0.06 нг соответственно, а точность определения их концентраций — $\pm 0.5\%$. Изотопные отношения нормализованы по $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ и пересчитаны на принятую величину $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте La Jolla = 0.511860.

Результаты исследований

Значительную часть Окраинско-Сергеевского террейна составляют крупные плутоны синкинематических габброидов сергеевского комплекса и гранитогнейсов [15]. В габброидах присутствуют блоки метаморфизованных офиолитов (базальтов, габбро и троктолитов) [11], а в гранитогнейсах — метатерригенных пород. Плутоны интродуцированы раннеордовикскими гранитами [15]. На габброидах сергеевского комплекса с осадочным контактом залегают верхнедевонские туфы [16], а на раннеордовикских гранитах — пермские морские, наземные, вулканические и осадочные отложения [15]. На древних породах Окраинско-Сергеевского террейна, как можно полагать, сформировались карбон-пермские рифовые массивы Таухинского террейна, фрагменты которых встречаются в ассоциации с глубокометаморфизованными граносиенитами (со структурой «антирапакиви»), по изотопным и геохимическим особенностям аналогичными габброидам сергеевского комплекса [11]. Габброиды сергеевского комплекса представлены метагаббро по С. В. Коваленко и И. А. Давыдову [17] или амфиболовыми габбро-, диоритогнейсами по А. И. Ханчуку [15]. Габброиды сергеевского комплекса, по мнению С. М. Синицы, имеют додевонский возраст, так как в некоторых местах выступают из-под базальных девонских отложений [16]. На юге Окраинско-Сергеевского террейна присутствуют выходы дунитов, троктолитов и анортозитов Владимиро-Александровского массива и серпентинитового меланжа (бухты Мелководная, Каплунова и др.), а в северной части расположен базит-гипербазитовый массив ключа Кириенкова. По данным Р. А. Октябрьского [18], породы Владимиро-Александровского массива прорывают габброиды сергеевского комплекса. Фрагменты Окраинско-Сергеевского террейна прослеживаются также вдоль Центрального Сихотэ-Алинского разлома. Самый северный из них — Хорский блок [19]. Фрагмент Окраинско-Сергеевского террейна, как отмечалось выше, присутствует и в Таухинском террейне. Аллохтоны относимого к среднему палеозою калиновского комплекса (Самаркинский, Чугуевский, Бреевский и др.) в Самаркинском террейне состоят из сильноизмененных кортландитов, верлитов, вебстеритов, пироксенитов, габбро-норитов, норитов, габбро, дунитов, троктолитов и лерцолитов [18].

Датировки методами абсолютной геохронологии габброидов сергеевского комплекса варьируют от 200 до 2106 млн лет [17, 20]. Имеющиеся датировки калиновских габброидов колеблются от 100 до 410 млн лет [21]. Результаты изучения петрографии, петрохимии и минералогии габброидов калиновского и сергеевского комплексов изложены в работе Р. А. Октябрьского [18]. Дополнительные сведения приведены в работах С. В. Коваленко и И. А. Давыдова [17], С. Н. Синицы [16], А. И. Ханчука и И. В. Панченко [22] и других авторов. Результаты геохимических и изотопных исследований габброидов калиновского, сергеевского и владими́ро-александровского комплексов приведены в работе авторов [11].

Габброиды сергеевского и калиновского комплексов, а также породы Владимиро-Александровского массива имеют общий мантийный источник магматического материала — примитивную мантию (BSE) — и образовались в результате взаимодействия плюма с осадочными породами океанической коры, предположительно, судя по геохимическим особенностям и

изотопному составу свинца, в основании островной дуги (габброиды и гранитогнейсы Окраинско-Сергеевского террейна и его фрагментов и ультрабазиты Владимиро-Александровского массива) или океанических плато (габброиды калиновского комплекса) [11]. Они различаются между собой химическим составом присутствующей в них осадочной компоненты и, вероятно, возрастом.

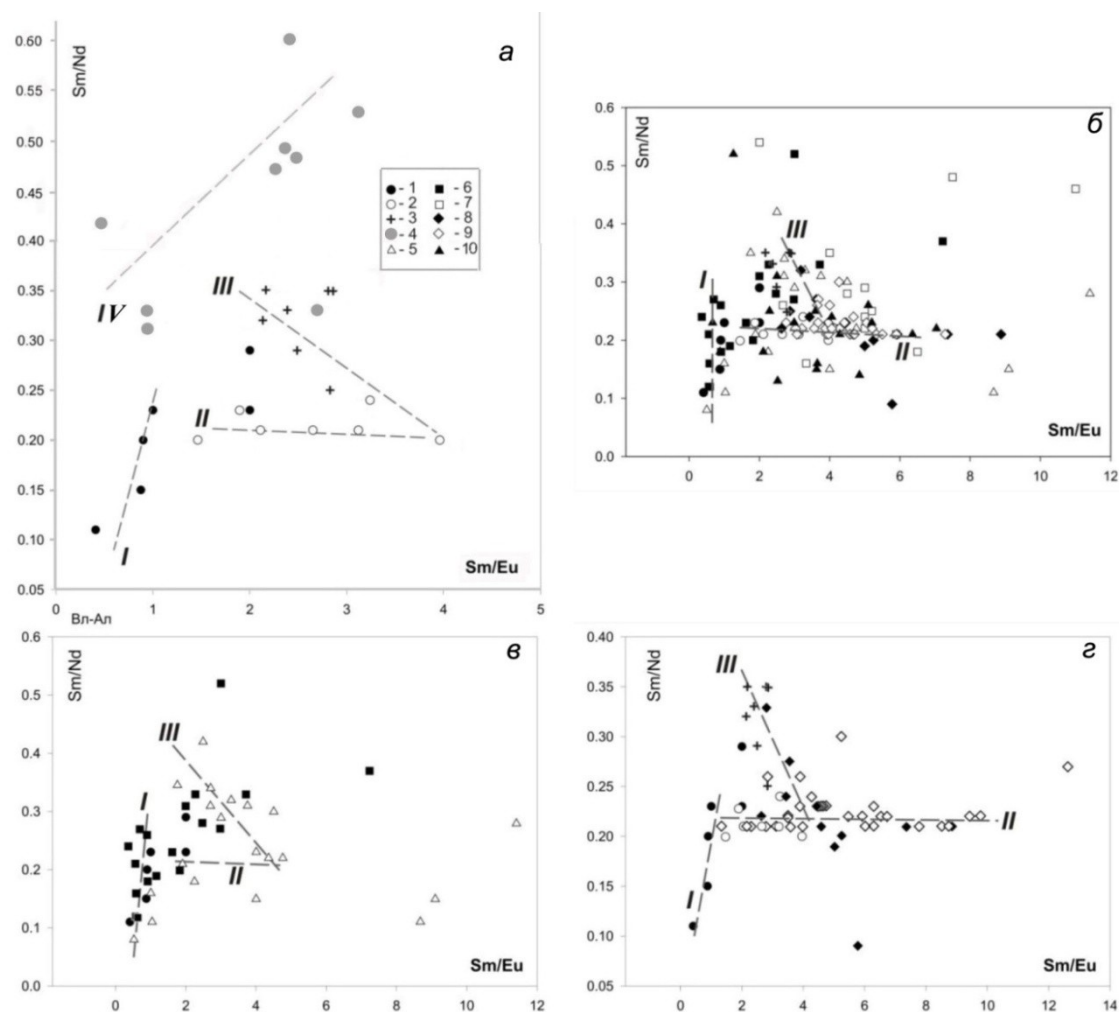


Рис. 3. Положение точек габброидов и офиолитов (а), габброидов, офиолитов, скарнов и триасовых контактово-метаморфизованных металлогенных осадков Сихотэ-Алиня (б–г) на диаграмме Sm/Nd-Sm/Eu.

Магматические породы (1–5): ультрабазиты Владимиро-Александровского массива (1) (владими́ро-александровский комплекс); каменские (Самарки́нский террей́н, окрестности с. Каменка) и сергеевские (Окраинско-Сергеевский террей́н, окрестности с. Сергеевка) габброиды (сергеевский комплекс) (2) и офиолиты (3), бреевские габброиды (Самарки́нский террей́н, окрестности с. Верхняя Бреевка) (калиновский комплекс) (4). Скарны (5–7): Белогорского железорудного (5), Дальнегорского боросиликатного (6) и Николаевского полиметаллического (7) месторождений.

Триасовые контактово-метаморфизованные осадки Сихотэ-Алиня (8–10): силикатно-магнетитовые руды (8) и марганцево-силикатные породы (10) Широкопаднинской площади Ольгинского рудного района и марганцево-силикатные породы Горной площади Малиновского рудного района (9).

Тренды (I–IV): ультрабазитов Владимиро-Александровского массива (I), сергеевских и каменских габброидов с REE-спектрами IAB-типа (II) и офиолитов с REE-спектрами MORB-типа (III), бреевских габброидов (IV).

Исходные данные для магматических пород на этом и других (см. ниже) рисунках приведены в работе [11]

На диаграмме Sm/Nd-Sm/Eu (рис. 3, а) точки габброидов Окраинско-Сергеевского террейна (включая Владимиро-Александровский массив) и его фрагментов (Каменский аллохтон), а также метаморфизованных офиолитов образуют три тренда. Тренд I соответствует

владими́ро-але́ксандровским ультраба́зита́м с REE-спектрами IAB-типа. На тренде II размещены точки сергеевских и каменных габброидов (сергеевский комплекс) с REE-спектрами IAB-типа. На тренде III располагаются точки метаморфизованных офиолитов со спектрами MORB-типа. Точки бреевских габброидов (калиновский комплекс) образуют самостоятельный тренд, располагающийся выше трендов габброидов и офиолитов Украинско-Сергеевского террейна. Точки скарнов и метаморфизованных металлоносных осадков Сихотэ-Алиня на диаграммах (рис. 3, б-г) с разбросом группируются вдоль трендов магматических пород Украинско-Сергеевского террейна.

Из диаграмм (см. рис. 3) следует, что в скарнах и метаморфизованных металлоносных осадках присутствует вещество габброидов и офиолитов Украинско-Сергеевского террейна и его фрагментов (включая Владимиро-Александровский массив и Каменский аллохтон). Напрашивается также вывод о том, что вещество пород калиновского комплекса в скарнах и контактово-метаморфизованных металлоносных осадках отсутствует. Однако этот вывод не соответствует действительности (см. ниже).

Большинство точек офиолитов на диаграмме Nb/Y–Zr/Y (рис. 4, а) размещено вблизи точки верхней деплетированной мантии (в поле N–MORB), что хорошо согласуется с их природой. Точки габброидов сергеевского, владими́ро-але́ксандровского и калиновского комплексов, в зависимости от состава присутствующей в них осадочной компоненты, образуют несколько трендов, исходящих из точки примитивной мантии [11]. Положение точек скарнов (см. рис. 4, б) вблизи «островодужного» тренда I и в поле N–MORB свидетельствует об определяющем влиянии на Nb–Y и Zr–Y отношения (в соответствующих пробах), также как и на значения Sm/Nd и Sm/Eu (см. выше), продуктов разрушения габброидов и офиолитов Украинско-Сергеевского террейна и его фрагментов. Однако размещение значительной части точек скарнов всех изученных (различных по составу руд) месторождений на тренде III бреевских ультрабазитов указывает на присутствие в соответствующих пробах вещества пород калиновского комплекса. Точки метаморфизованных металлоносных осадков на диаграмме (см. рис. 4, в) тоже приурочены к трендам магматических пород.

На диаграмме $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ –Y/Nb (рис. 5, а) габброиды и офиолиты образуют единый тренд, в пределах которого $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ изменяется от значений, близких к таковым для РМ и DM, до среднего значения (0.12) в коре, что, очевидно, связано с влиянием вещества коровой природы. На диаграмме $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ –Y/Nb (см. рис. 5, б) точки владими́ро-але́ксандровских и каменных габброидов располагаются на тренде, начинающемся в точке РМ (BSE) и протягивающемся в сторону EM1, а точки сергеевских габброидов занимают близкое к нему положение. С другой стороны, представлению о смещении вещества BSE и EM1 или EM2 в сергеевских, каменных и владими́ро-але́ксандровских габброидах противоречит положение точек этих пород на диаграммах Nb/Y–Zr/Y (см. рис. 4, а) и Zr/Nb–Nb/Th, которые образуют тренды, протягивающиеся в поля базальтов островных дуг, в том числе и в сторону, противоположную EM1 и EM2 (на диаграмме Zr/Nb–Nb/Th) [11]. Большинство точек сергеевских и каменных офиолитов с некоторым разбросом группируются на диаграмме (см. рис. 5, б) вблизи точки DM, что соответствует их природе. На диаграммах (рис. 5, а, б) все точки метаморфизованных металлоносных осадков, а также часть точек скарнов Николаевского и Дальнегорского боросиликатного месторождений расположены вблизи точек сергеевских и каменных габброидов или несколько смещены вниз. В этих образцах значения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ и Y/Nb определялись продуктами экзогенного разрушения габброидов Украинско-Сергеевского террейна (и его фрагментов) и, очевидно, некоторой примесью инородного осадочного вещества, связанного с «фоновым» осадконакоплением. Остальные точки скарнов Николаевского, Дальнегорского боросиликатного и Белогорского месторождений смещены вправо, в сторону более высоких Y–Nb-отношений. На диаграмме (см. рис. 4, б) им соответствуют точки этих же проб, расположенные на тренде бреевских габброидов или вблизи точек офиолитов. Таким образом, в этих пробах Y–Nb-отношения определялись веществом бреевских габброидов, сергеевских или каменных офиолитов (точки которых на рис. 4, а, тяготеют к полю N–MORB, а на рис. 5, а, расположены вблизи DM), а величины $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ — веществом габброидов Украинско-Сергеевского террейна и отчасти, вероятно, инородным осадочным материалом.

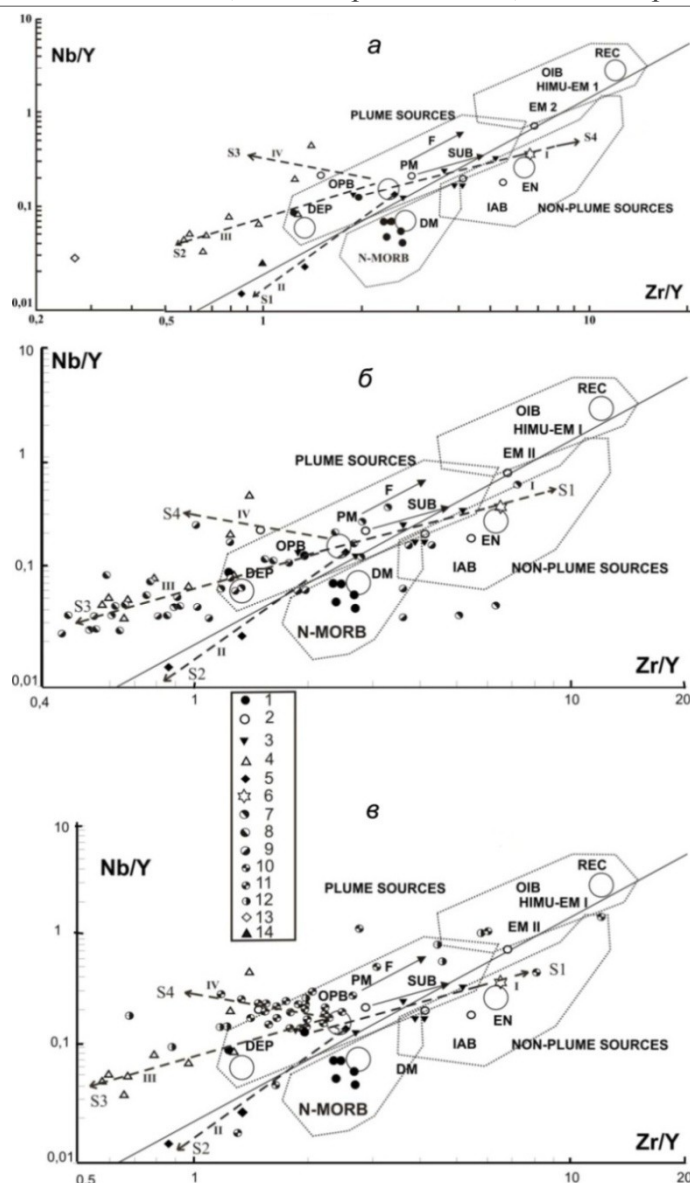


Рис. 4. Положение точек габброидов (а), скарнов (б) и метаморфизованных металлоносных осадков (в) на диаграмме Zr/Y–Nb/Y [23]

Магматические породы (1–6): сергеевские и каменные офиолиты (1), сергеевские габброиды (сергеевский комплекс) (2) и габброиды владими́ро-александровские (3) (владими́ро-александровский комплекс), габброиды бреевские (4) и Дальнего Кута (5) (калиновский комплекс), диорит бухты Мелководной (6) (сергеевский комплекс).

Скарны (7–9): Николаевского (7), Дальнегорского боросиликатного (8) и Белогорского (9) месторождений.

Метаморфизованные металлоносные осадки (10–12): силикатно-магнетитовые руды Широкопаднинской площади (10), марганцево-силикатные породы Горной (11) и Широкопаднинской (12) площадей.

Меловые пелагические отложения п-ова Камчатский Мыс по средним содержаниям [24] (13, 14): известняки и кремнистые известняки (13), яшмы и известковистые яшмы (14).

Пунктирными линиями со стрелками показаны тренды состава пород и, одновременно, векторы изменения состава выплавов из PM в результате контаминации осадочным веществом. Римские цифры соответствуют номерам трендов (см. текст). S1–S4 — осадочные породы разной фациальной принадлежности.

Поля пород и точки составов по К.С. Конди [23]: OIB — плюмовые внутриплитные базальты океанических островов, OPB — базальты океанических плато, MORB — базальты срединно-океанических хребтов, IAB — островодужные базальты, REC — рециклированная компонента, EN — обогащенная компонента, EM1 и EM2 — обогащенная мантия двух типов, HIMU — обогащенная U+Th/Pb мантия; PM — примитивная мантия, DM — верхняя деплетированная мантия, DEP — нижняя деплетированная мантия

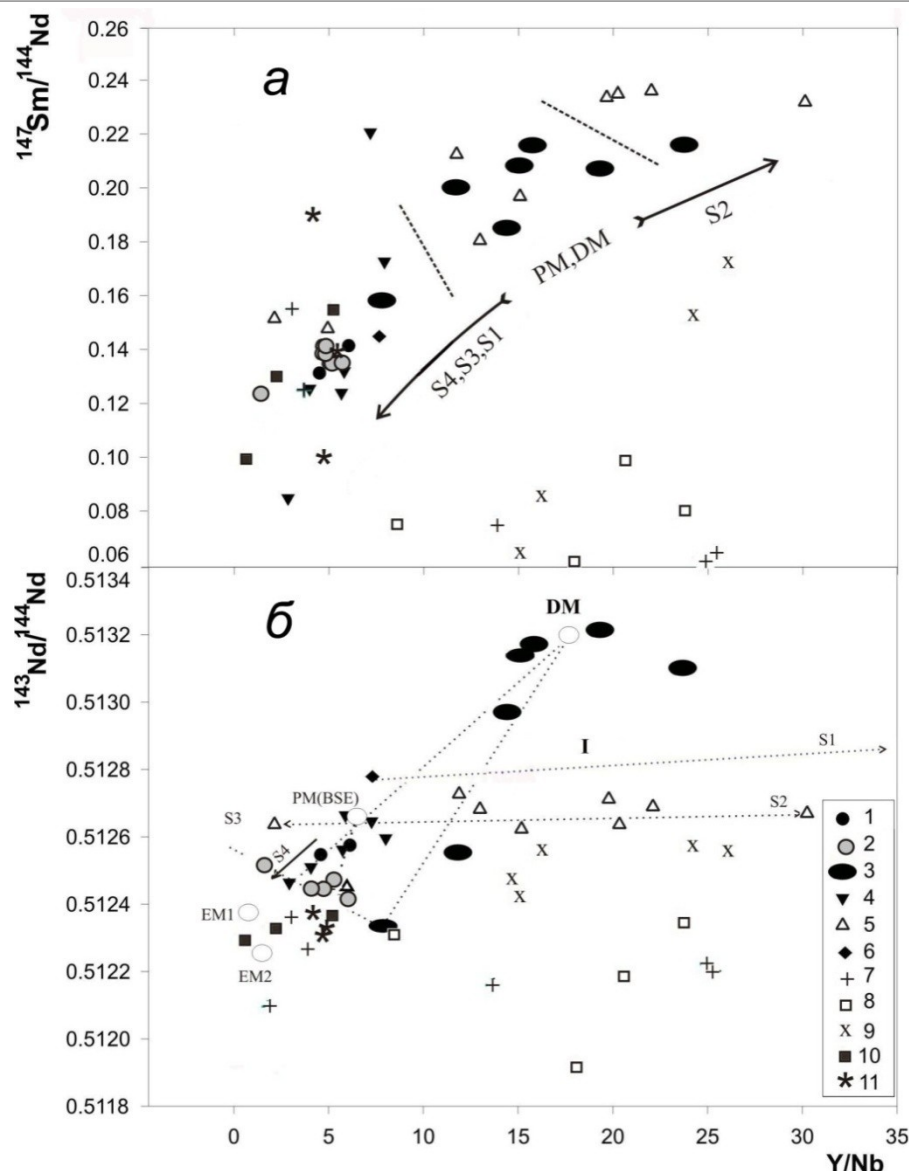


Рис. 5. Положение точек габброидов, скарнов и триасовых метаморфизованных металлоносных осадков Сихотэ-Алиня на диаграммах $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ -Y/Nb (a) и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ -Y/Nb (б).

Магматические породы (1–6): каменные (1) и сергеевские (2) габброиды, офиолиты (3), габброиды владимиро-александровские (4), бреевские (5) и Дальнего Кута (6).

Скарны (7–9): Николаевского (7), Дальнегорского боросиликатного (8) и Белогорского (9) месторождений.

Контактово-метаморфизованные осадки (10, 11): силикатно-магнетитовые руды Широкопаднинской площади (10) и марганцево-силикатные породы Горной площади (11).

Две точки габброидов Дальнего Кута расположены на тренде IV за пределами рис. 5, а и б (в области высоких Y–Nb-отношений). Положение точек EM1 и EM2 на диаграмме показано приблизительно, так как, судя по литературным данным, им свойственны значительные пределы колебаний значений, по меньшей мере $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$

На диаграммах Th/Yb–Ta/Yb (рис. 6) поля сергеевских и владимиро-александровских габброидов, одной стороны, и калиновских, с другой, имеют разную ориентацию, что обусловлено разным химическим составом присутствующей в них ассимилированной осадочной компоненты [11]. Положение точек скарнов, марганцево-силикатных пород и силикатно-магнетитовых руд Сихотэ-Алиня на этих диаграммах свидетельствует о смешении вещества сергеевских и владимиро-александровских габброидов и вещества континентальной окраины,

вероятно, Ханкайского массива. Присутствие вещества калиновских габброидов (см. ниже), очевидно, из-за низкого содержания в них используемых элементов не фиксируется. В случае скарнов наблюдается более значительное влияние на величины Th/Yb и Ta/Yb вещества габброидов (большинство точек скарнов также, как и часть точек сергеевских и владимиро-александровских габброидов, расположены в поле базальтов островных дуг) (см. рис. 6, а), а в случае триасовых метаморфизованных осадков прилегавших к островам акваторий — вещества континентальной окраины (см. рис. 6, б).

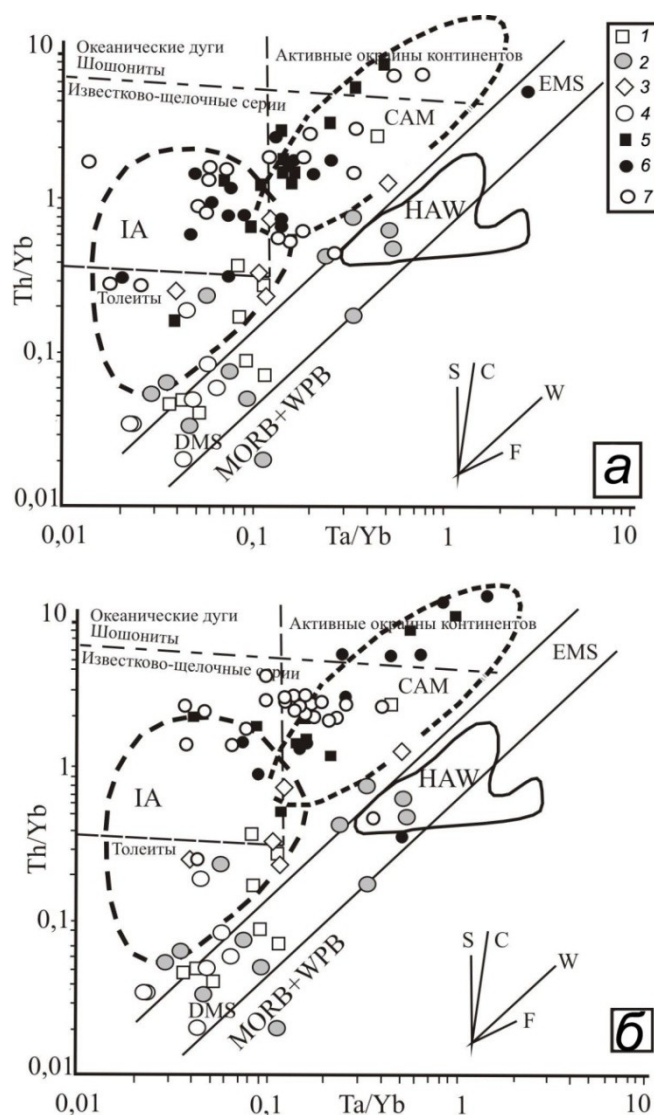


Рис. 6. Положение точек состава габброидов, скарнов и триасовых метаморфизованных металлонесущих осадков на диаграмме Th/Yb – Ta/Yb [25]:

1–3 — габброиды сергеевского (1), калиновского (2) и владимиро-александровского комплексов (3); 4 — офиолиты (блоки в сергеевских габброидах); 5–7: на рис. 6, а — скарны Николаевского (5), Дальнегорского боросиликатного (6) и Белогорского (7); на рис. 6, б — марганцево-силикатные породы Широкопаднинской площади (5) и силикатно-магнетитовые руды (6) Таухинского террейна, марганцево-силикатные породы Горной площади Самаркинского террейна (7).

IA — базальты островных дуг; CAM — базальты активных континентальных окраин; HAW — базальты Гавайских островов; DMS — деплетированная мантия; EMS — обогащенная мантия; MORB + WPB — тренд базальтов несубдукционных обстановок. Справа показаны тренды изменения состава пород за счет субдукционных компонентов (S), контаминации (C), компонентов внутриплитных плюмов (W) и фракционирования (F)

На диаграмме (рис. 7) точки Pb габброидов, руд скарновых и жильных (не вынесены из-за загруженности диаграммы) месторождений Сихотэ-Алиня и Pb островной дуги Хонсю приурочены к общему протяженному тренду, начинающемуся в точки BSE. Исключение составляют точки офиолитов, а также несколько точек сергеевских габброидов, в которых, вероятно, из-за метаморфизма существенно возросли значения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$.

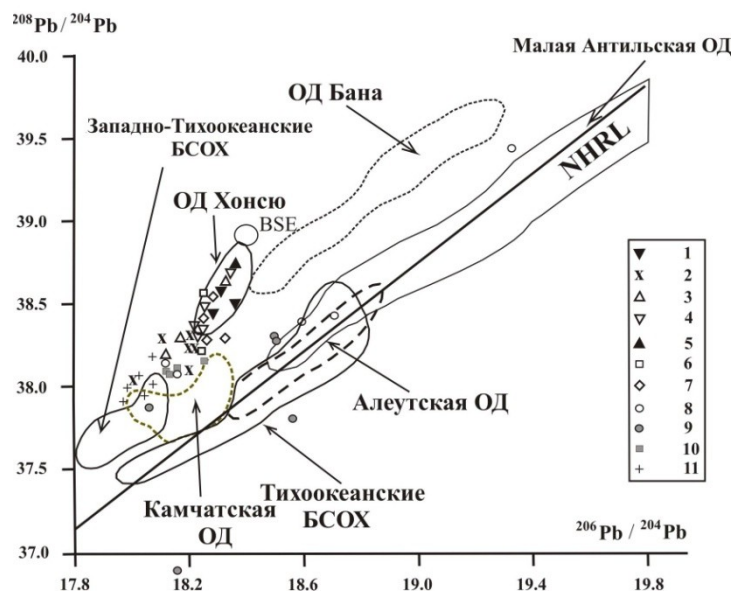


Рис. 7. Особенности изменения изотопных отношений Pb габброидов и руд скарновых месторождений Сихотэ-Алиня.

Свинец скарновых месторождений (1–7): Верхнего (1); Николаевского (2); Первого Советского (3); Партизанского (4); Восточный Партизан (5); Второго Советского (6); Садового (7).

Магматические породы (8–11): сергеевские габброиды (8) и офиолиты (9); владими́ро-але́ксандровские (10) и бреевские (11) габброиды.

Изотопные данные для Pb галенита руд скарновых месторождений заимствованы из сводки Ф. И. Ростовского [10]. Поля на диаграмме показаны по Р. Р. Альмееву [26], BSE по Х. Р. Роллинсону [27]

Накопление Pb скарновых месторождений происходило в лагунах (с начала карбона до позднего анизия) и прекратилось с началом погружения островов (поздний анизий) (см. рис. 2) [14]. Свинец жильных месторождений накапливался в течение двух периодов. Первый, главный период включает начало карбона — конец перми. Этот Pb при образовании жильных месторождений заимствован из литифицированных металлоносных осадков (предположительно, полиметаллических залежей) карбона-перми. Второй период, начавшийся сразу после завершения накопления Pb в лагунах (поздний анизий), соответствует периоду погружения островов, размыва коры выветривания и образования триасовых металлоносных осадков. Этот Pb и другие металлы, по-видимому, заимствованы из триасовых металлоносных отложений.

В последнее время в результате применения изотопных исследований в публикациях стали появляться и другие доказательства осадочной природы вещества некоторых скарновых месторождений Дальнегорского рудного района. К ним относится, в частности, изотопный состав бора и кислорода в рудных залежах Дальнегорского боросиликатного месторождения [13].

Заключение

Таким образом, в скарнах, триасовых контактово-метаморфизованных металлоносных осадках и в рудах скарновых и жильных месторождений Сихотэ-Алиня фиксируются геохимические и изотопные «метки» габброидов сергеевского, калиновского и владими́ро-але́ксандровского комплексов, офиолитов, а также, вероятно, вещества континентальной

окраины, предположительно Ханкайского массива. Габброиды этих комплексов имеют общий мантийный источник магматического материала — примитивную мантию (BSE) и образовались в результате взаимодействия плюма с осадочными породами океанической коры, предположительно, в основании островной дуги (габброиды и гранито-гнейсы Окраинско-Сергеевского террейна и его фрагментов и ультрабазиты Владимиро-Александровского массива) или океанических плато (габброиды калиновского комплекса). Они различаются между собой химическим составом присутствующей в них осадочной компоненты и, вероятно, возрастом. По меньшей мере, с середины девона упомянутые структуры в виде двух цепочек островов располагались вблизи окраины Ханкайского массива. Триасовые метаморфизованные металлоносные осадки и скарны Сихотэ-Алиня изначально являлись продуктами размытия латеритной коры выветривания (поздний анизий — конец триаса) островов, накапливавшимися в лагунах (в нынешнем виде, скарны) и в прилегавших к островам акваториях (метаморфизованные металлоносные осадки).

Свинец руд скарновых и жильных месторождений Сихотэ-Алиня по изотопным отношениям сопоставим со Pb габброидов владими́ро-александровского, сергеевского и калиновского комплексов, которые и являлись его источниками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волохин Ю. Г., Михайлик Е. В., Бурий Г. И. Триасовая кремневая формация Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2003. 252 с.
2. Перевозникова Е. В. Марганцево-силикатные породы рудных районов Южного Сихотэ-Алиня: минералогия и генезис: дис. ... канд. геол.-минералог. наук. Владивосток, 2010. 192 с.
3. Казаченко В. Т., Перевозникова Е. В., Нарнов Г. А. Акцессорная минерализация в скарнах Дальнегогорского рудного района (Сихотэ-Алинь) // ЗРМО. 2012. № 4. С. 74–96.
4. Золото и платиноиды в скарнах Ольгинского и Дальнегогорского рудных районов Приморья и некоторые вопросы металлогении южной части Сихотэ-Алиня / В. Т. Казаченко [и др.] // ДАН. 2007. Т. 414, № 5. С. 667–671.
5. Казаченко В. Т. Петрология и минералогия гидротермальных марганцевых пород Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2002. 250 с.
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А. И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572.
7. Приморье — новый перспективный регион России с золото-палладий-платиновым оруденением нетрадиционного типа / В. Т. Казаченко [и др.] // ДАН. 2009. Т. 425, № 5. С. 651–655.
8. Бериллийсодержащие марганцевые породы Центрального Сихотэ-Алиня / В. Т. Казаченко [и др.] // ДАН. 2005. Т. 400, № 6. С. 785–788.
9. Mottana A. Blueschist-facies metamorphism of manganiferous cherts: A review of the alpine occurrences. Blueschists and eclogites // Geol. Soc. Amer. Mem. 1986. Vol. 164. P. 267–299.
10. Ростовский Ф. И. Об изотопных отношениях свинца в галенитах рудных месторождений Востока Азии // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24, № 2. С. 33–45.
11. Габброиды сергеевского и калиновского комплексов Сихотэ-Алиня: геохимия и изотопные отношения самария, неодима, стронция и свинца / В. Т. Казаченко [и др.] // Вестник КНЦ РАН. 2015. 3/(22). С. 21–39.
12. Триас и юра Сихотэ-Алиня: в 2 кн. Кн. 2: Вулканогенно-осадочный комплекс, палеобиогеография / отв. ред. П. В. Маркевич, Ю. Д. Захаров. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 307.
13. Баскина В. А., Дубинина Е. О., Авдеев А. С. О природе рудоносных флюидов на Дальнегогорском боросиликатном месторождении (Приморье) // ДАН. 2011. Т. 436, № 3. С. 363–367.
14. Роль офиолитов в металлогении Сихотэ-Алиня / В. Т. Казаченко [и др.] // ДАН. 2012. Т. 444, № 4. С. 412–416.
15. Ханчук А. И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России. Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. 276 с.
16. Синица С. М. О происхождении гнейсовой фации сергеевских габброидов (Южное Приморье) // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23, № 3. С. 32–36.
17. Коваленко С. В., Давыдов И. А. Сергеевский выступ — древняя структура Южного Сихотэ-Алиня // ДАН СССР. 1991. Т. 319, № 5. С. 1173–1177.
18. Октябрьский Р. А. Петрология палеозойских интрузивных базитов Южного Приморья: дис. ... канд. геол.-минералог. наук. Владивосток, 1971. 256 с.
19. Ханчук А. И. Геологическое строение и развитие континентального обрамления северо-запада Тихого океана: автореферат дис. ... докт. геол.-минералог. наук. М., 1993. 31 с.
20. U–Pb, Hf изотопные и REE систематики цирконов из сергеевского комплекса Сихотэ-Алиня: генезис кристаллов минерала-геохронометра и возраст этапов становления пород / А. А. Аленичева [и др.] // Изотопные системы и время геологических процессов: материалы IV Рос. конф. по изотопной геохронологии. СПб., 2009. Т. 1. С. 26–28.
21. Голозубов В. В., Мельников Н. Г. Тектоника геосинклинальных комплексов Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 128 с.
22. Ханчук А. И., Панченко И. В. Гранатовое габбро в офиолитах Южного Сихотэ-Алиня // ДАН СССР. 1991. Т. 321, № 4. С. 800–803.
23. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 491–504.
24. Савельева О. Л. Ритмичность осадконакопления и следы аноксических событий в меловых (альб-сеноманских) отложениях Восточной Камчатки: автореферат дис. ... канд. геол.-минералог. наук. М., 2009. 25 с.
25. Pearce J. A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins // Continental basalts and mantle xenoliths / ed. by C. J. Hawkesworth, M. J. Norry. Nantwich. Cheshire: Shiva Publications, 1983. P. 230–249.
26. Альмеев Р. Р. Геохимия магматизма вулкана Безымянный: признаки мантийного источника и условия фракционирования исходной магмы: автореферат дис. ... канд. геол.-минералог. наук. М., 2005. 26 с.
27. Rollinson H. R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Essex: Longman Group UK Ltd., 1993. 352 p.

Сведения об авторах

Казаченко Валентин Тимофеевич — доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Дальневосточного геологического института ДВО РАН

E-mail: vkazachenko@mail.ru

Перевозникова Елена Валериевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН

E-mail: elenavalper@yandex.ru

Лаврик Сергей Николаевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН

E-mail: s_lavric@mail.ru

Author Affiliation

Valentin T. Kazachenko — Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Head of Laboratory of the Far East Geological Institute of the Far-Eastern Branch of the RAS

E-mail: vkazachenko@mail.ru

Elena V. Perevznikova — PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher of the Far East Geological Institute of the Far-Eastern Branch of the RAS

E-mail: elenavalper@yandex.ru

Sergei N. Lavrik — PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher of the Far East Geological Institute of the Far-Eastern Branch of the RAS

E-mail: s_lavric@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Казаченко, В. Т. Геохимические и изотопные «метки» древних габброидов в триасовых метаморфизованных металлоносных осадках, скарнах и рудах скарновых месторождений Сихотэ-Алиня / *В. Т. Казаченко, Е. В. Перевозникова, С. Н. Лаврик* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 16–36.

Reference

Kazachenko Valentin T., Perevznikova Elena V., Lavrik Sergei N. Geochemical and Isotopic “Markers” of the Old Gabbroids in the Triassic Metamorphosed Metalliferous Sediments, Skarns and Ores of the Skarn Deposits in the Sikhote-Alin. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 16–36. (In Russ.).

УДК 51-37, 547.022.14, 548

ДВОЙНЫЕ СВЯЗИ НА ФУЛЛЕРЕНАХ C_{60} – C_{100}

Д. Г. Степенщиков, Ю. Л. Войтеховский
ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Найдено 22 IPR-фуллерена из диапазона C_{60} – C_{100} , углеродная решетка которых допускает расположение простых и двойных связей без делокализации. Всего два фуллерена из найденных — $C_{96}(\bar{6}m2)$ и $C_{100}(\bar{5}m)$ — допускают различные варианты размещения связей. Результаты коррелируют с данными по условно-стабильным фуллеренам.

Ключевые слова:

углерод, фуллерен, двойная ковалентная связь.

THE DOUBLE BONDS ON THE FULLERENES C_{60} – C_{100}

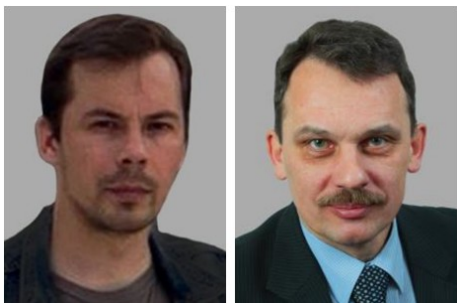
Dmitry G. Stepenshchikov, Yury L. Voytekhsy
Geological Institute of the KSC of the RAS

Abstract:

22 IPR-fullerenes from C_{60} – C_{100} range with structure allowing single and double bonds without bond's delocalization, are found. Two of them — $C_{96}(\bar{6}m2)$ and $C_{100}(\bar{5}m)$ — have several variants of bond arrangement. The results correlate with the data on the potentially stable fullerenes.

Keywords:

carbon, fullerene, double covalent bond.



Введение

Изучение фуллеренов ведется давно и многими специалистами разных областей знаний. На уровне, принятом большинством исследователей, фуллерен представляет собой углеродный каркас, составленный из пяти- и шестичленных циклов (пента- и гексагонов). Авторский подход заключается в отождествлении фуллеренов с полиэдрами (рис. 1, *b*) и поиском их характерных топологических особенностей. С увеличением

числа атомов фуллерен приобретает плоские участки поверхности и становится суперполиэдром (рис. 1, *c*), где гранями являются уже не пентагоны и гексагоны, а протяженные участки графеновой поверхности [1]. С точки зрения симметрии фуллерена (как одного из критериев стабильности) дальнейшим развитием такого подхода является анализ геометрии и комбинаторики получаемых суперполиэдров (рис. 1, *c*, *d*). Симметрия рассматриваемых объектов при этом становится все выше и выше.

В рамках такого подхода от полиэдрической модели (рис. 1, *b*) возможен шаг и в обратную сторону, а именно рассмотрение фуллерена как молекулы с простыми и двойными связями, определенным образом расположенными на углеродной решетке (рис. 1, *a*). Такой подход применен авторами в [2] и привел, в частности, к задаче поиска вариантов расположения связей на произвольно заданном фуллерене.

Существуют правила, ограничивающие число таких вариантов. Одно из них — отсутствие двойных связей в пентагонах [3]. Из этого следует, что при допущении только локализованных

связей (простых и двойных), пентагоны в фуллере не смежны друг с другом. Такие IPR-фуллерены (от Isolated Pentagon Rule) считаются более стабильными [4] и рассматриваются в подавляющем числе работ. Обратного следствия нет — IPR-фуллерены не запрещают двойных связей в пентагонах. Другое правило требует, чтобы расположение связей не понижало симметрию углеродной решетки молекулы [5]. Соответственно, некоторые фуллерены вынуждены содержать делокализованные связи, например, в экваториальных гексагонах C_{70} , или в феналенильных субструктурах, с проходящей через них осью 3 [5–7]. Это правило не затрагивает асимметричные фуллерены, которые, впрочем, считаются нестабильными [4].

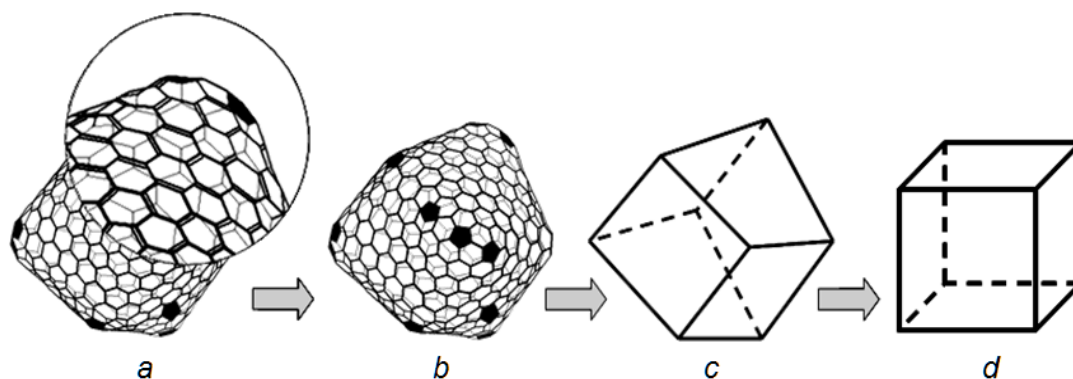


Рис. 1. Различные способы представления фуллере

Оба правила не строги, и ряд авторов, рассматривая расположение связей на фуллеренах, не учитывает их. Число вариантов при этом может быть велико [8–10]. С другой стороны, соблюдение обоих правил иногда требует введения делокализованных связей, что прослеживается в ряде работ по квантово-химическим расчетам электронных структур фуллеренов [5–7, 11–13].

Теоретическая часть

В указанных выше работах выполняется «подгонка» связей к конкретной структуре фуллере с учетом принятых ограничений. Мы будем действовать наоборот: выбирать из широкого диапазона такие фуллерены, которые удовлетворяют принятым правилам расположения связей. Всего таких правил два: наличие на фуллере только простых и двойных связей и отсутствие двойных связей в пентагонах. Первое ограничение запрещает делокализованные связи, которые могут приводить к появлению радикальных субструктур, дестабилизирующих молекулу. Второе ограничение в совокупности с первым сужает диапазон до более стабильных IPR-фуллеренов. В итоге распределение связей приобретает следующий характер: в каждой вершине фуллере сходятся по две простых и одной двойной связи (так как каждый атом углерода четырехвалентен и имеет три соседних атома), при этом все связи в пентагонах простые, а связи, выходящие из вершин пентагонов, — двойные. Кроме смежных пентагонов (рис. 2, *a*), невозможными являются и другие топологические случаи, например, пара пентагонов, разделенных смежным с ними гексагоном (рис. 2, *b*), требующие два пятивалентных атома. В диапазоне фуллеренов от минимально возможного C_{20} до изомеров C_{100} исключение индивидов с фрагментами *a* и *b* катастрофически сокращает список, в том числе полностью вычеркивает фуллерены C_{20} – C_{70} , кроме икосаэдрического C_{60} , поэтому далее уместно говорить о диапазоне C_{60} – C_{100} . Фрагмент, показанный на рис. 2, *c*, приводит к трехвалентному центральному атому. Аналогичная ситуация наблюдается и в более сложных случаях, например рис. 2, *d*, но он не рассматривался, так как фуллеренов только с такими фрагментами (т. е. без случаев *a*–*c*) в диапазоне C_{60} – C_{100} нет.

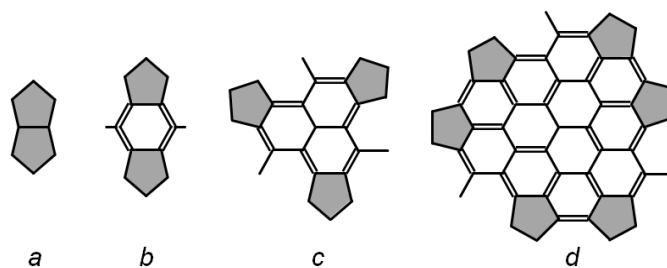


Рис. 2. Запрещенные фрагменты на поверхности фуллерена

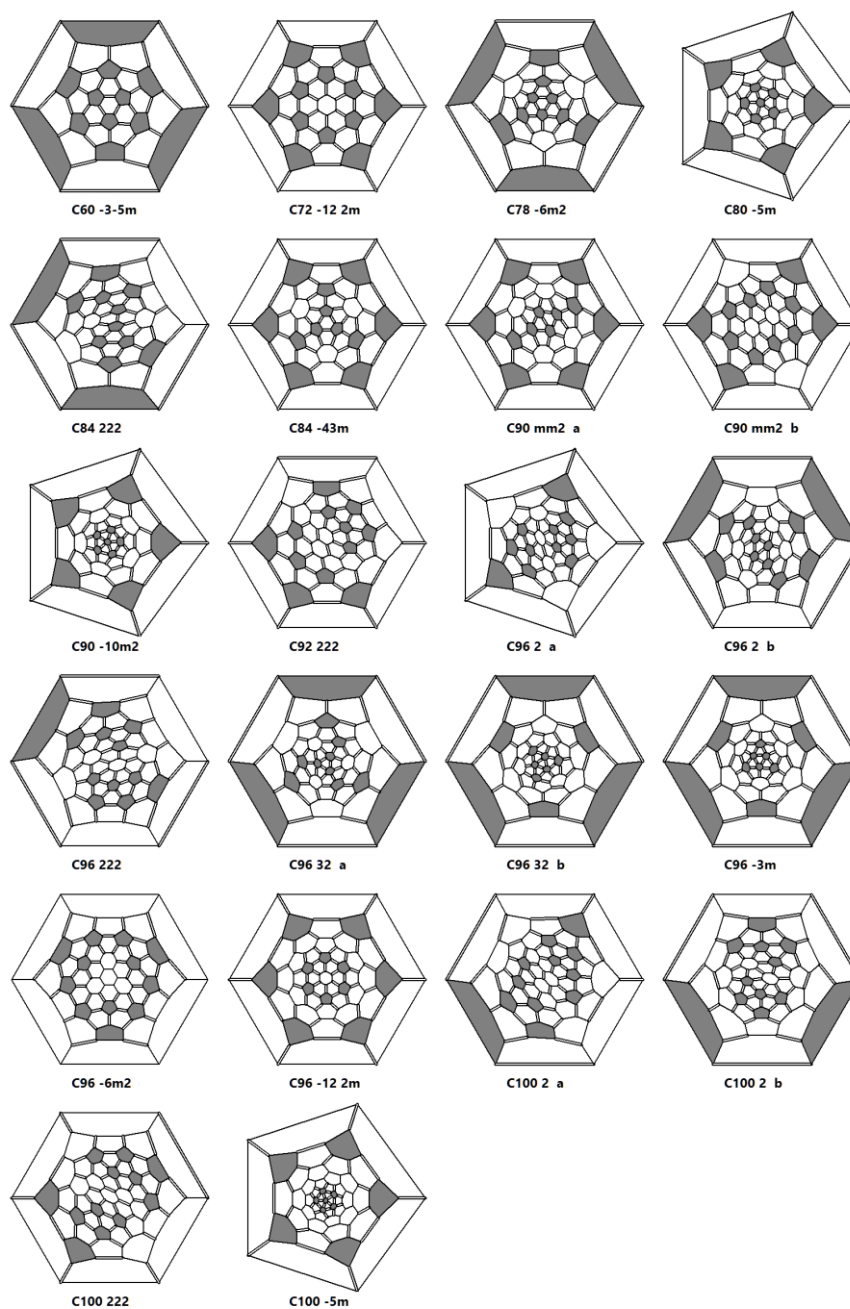


Рис. 3. IPR-фуллерены диапазона C_{60} – C_{100} без делокализованных связей

Результаты и обсуждение

С помощью авторской программы среди почти полутора миллионов фуллеренов из диапазона C_{20} – C_{100} выделены 22 формы, не содержащие фрагменты a – c (рис. 2). Они приведены на рис. 3 с указанием числа атомов и точечной группы симметрии.

Почти все выделенные фуллерены допускают единственный порядок расположения связей. Исключение представляют два из них. Первый — $C_{96} (\bar{6} m 2)$ имеет пару проходящих через ось $\bar{6}$ гексагонов, каждый допускает два варианта расположения связей по типу a [2]. Совокупность этих вариантов всего дает четыре способа, два из которых совпадают при симметрических преобразованиях (рис. 4). У второго — $C_{100} (\bar{5} m)$ — экваториальная область поверхности (перпендикулярно оси $\bar{5}$) допускает два не совпадающих даже с учетом симметрии варианта (рис. 5). За исключением $C_{96} (\bar{6} m 2)$, порядок расположения связей (в том числе два варианта для $C_{100} (\bar{5} m)$) не нарушает симметрию структуры для всех найденных фуллеренов. У $C_{96} (\bar{6} m 2)$ варианты b и c (рис. 4) понижают симметрию молекулы до $3m$.

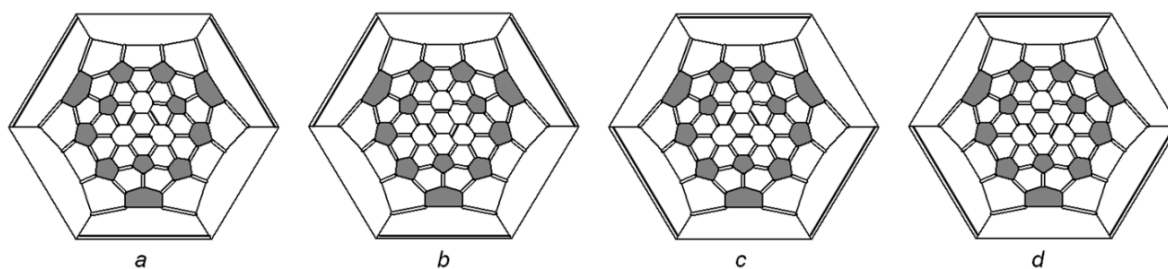


Рис. 4. Фуллерен $C_{96} (\bar{6} m 2)$ (см. рис. 3) с четырьмя вариантами расположения двойных связей. Варианты b и c эквивалентны с точностью до симметрии. Ось $\bar{6}$ проходит через центр диаграмм перпендикулярно плоскости рисунка

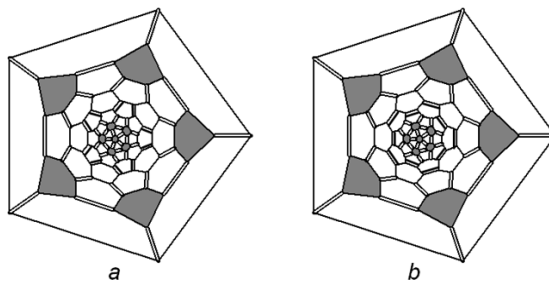


Рис. 5. Фуллерен $C_{100} (\bar{5} m)$ (см. рис. 3) с двумя вариантами расположения двойных связей. Ось $\bar{5}$ проходит через центр диаграмм перпендикулярно плоскости рисунка

Максимально возможная симметрия $\bar{3}5m$ среди найденных форм принадлежит C_{60} , минимальная 2 — двум изомерам C_{96} и двум изомерам C_{100} . Наблюдаемые порядки групп автоморфизмов (п. г. а.) приводятся по возрастанию с указанием в скобках числа индивидов: 2(4), 4(6), 6(2), 12(3), 20(3), 24(3) и 120(1). Согласно [4], высокая симметрия способствует более равномерному распределению напряжений по углеродной решетке и служит признаком устойчивости фуллерена. Двенадцать из 22 найденных форм низкосимметричны с п. г. а. ≤ 6 и с точки зрения этого критерия потенциально неустойчивы. Высокосимметричные формы с п. г. а. ≥ 20 попадают в число потенциально устойчивых, указанных ранее в [14]: $C_{60} (\bar{3}5m)$, $C_{72} (\bar{1}2 2m)$, $C_{80} (\bar{5} m)$, $C_{84} (\bar{4} 3m)$, $C_{90} (\bar{1}0 m 2)$, $C_{96} (\bar{1}2 2m)$ и $C_{100} (\bar{5} m)$. Остальные IPR-фуллерены из [14] содержат фрагмент b (рис. 2) и поэтому не попали в список. Примечательно, что у находящегося

в их числе высокосимметричного C_{80} ($\overline{35}m$), согласно [7], делокализованными являются все связи, что приводит к его высокой неустойчивости. Выделенный же нами IPR-фуллерен C_{72} ($\overline{12}2m$) с п. г. а. = 24, имея не нарушающие симметрию локализованные связи, считается нестабильным из-за двух короненовых субструктур, уплощение которых вызывает сильные стерические напряжения [3]. Неустойчивость C_{72} объясняется и другими причинами. Например, в [7] рассмотрен критерий стабильности, суть которого в следующем: составляется кортеж $(h_0, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6)$, где h_i — число гексагонов, смежных ровно с i другими гексагонами. Фуллерен считается стабильным, если в соответствующем кортеже отлично от нуля только одно число h_i или только два подряд идущих числа h_i и h_{i+1} . Для известных стабильных фуллеренов C_{60} и C_{70} соответствующие кортежи равны $(0, 0, 20, 0, 0, 0, 0)$ и $(0, 0, 10, 15, 0, 0, 0)$, а для C_{72} — $(0, 0, 0, 12, 12, 0, 2)$, т. е. последний, согласно данному критерию, нестабиль. Это же касается и остальных (за исключением C_{60}) выделенных авторами настоящей статьи форм. Рассмотренный выше икосаэдрический IPR-фуллерен C_{80} , напротив, стабилен по данному критерию, так как имеет кортеж $(0, 0, 0, 0, 30, 0, 0)$. Отметим, что применительно ко всему множеству фуллеренов данный критерий выделяет большое число низкосимметричных (вплоть до тривиальной симметрии) форм, что делает его сомнительным признаком стабильности.

Заключение

Полученные результаты показывают, как сильно сокращается множество фуллеренов при введении всего двух правил построения их структуры связей. Подобных правил известно гораздо больше, равно как и критериев стабильности. Подчас между этими понятиями не делается различия. Соответственно, наборы «потенциально стабильных» фуллеренов разнятся в зависимости от подходов, пересекаясь только на экспериментально подтвержденных формах, среди которых почти всегда присутствуют известные C_{60} и C_{70} .

Теоретическое многообразие форм фуллеренов опирается на два основных правила: каждый атом молекулы имеет только трех соседей и входит либо в пентагональный, либо в гексагональный цикл. Ослабление этих правил, например разрешение тетра- или гептациклов, влечет еще большее многообразие. Физические ограничения (минимизация энергии напряжения, распределение π -связей и прочее) сильно сужают круг потенциально стабильных форм. Но и эти ограничения могут быть пересмотрены в случае экзо-, и эндоэдральных соединений.

Выделенные в этой работе фуллерены отвечают только одному критерию стабильности — отсутствию смежных пентагонов. Результаты удовлетворяют ряду других критериев, явно не вытекающих из установленных правил, хотя и не включают в себя очевидный и экспериментально подтвержденный фуллерен C_{70} , для структуры которого вынужденно необходимы либо двойные связи на пентагонах, либо делокализация связей в экваториальных гексагонах. Исследование взаимосвязи различных критериев стабильности — тема для дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степенщиков Д. Г. Морфология и симметрия гигантских фуллеренов // Российские нанотехнологии. 2016. № 7–8. С. 47–50.
2. Степенщиков Д. Г., Войтеховский Ю. Л. О двойных связях на фуллеренах // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/1. С. 138–141.
3. Taylor R., Walton D. R. M. The chemistry of fullerenes // Nature. 1993. Vol. 363. P. 685–693.
4. Kroto H. W. The stability of the fullerenes C_n , with $n = 24, 28, 32, 36, 50, 60$ and 70 // Nature. 1987. Vol. 329. P. 529–531.
5. Kovalenko V. I., Khamatgalimov A. R. Open-shell fullerene C_{74} : phenalenyl-radical substructures // Chemical Physics Letters. 2003. Vol. 377. P. 263–268.
6. Хаматгалимов А. Р., Коваленко В. И. Характерные причины нестабильности фуллеренов на примере C_{72} и C_{74} // Структура и динамика молекулярных систем. 2003. Вып. 10, ч. 3. С. 186–189.
7. Хаматгалимов А. Р., Коваленко В. И. Эндоэдральные высшие фуллерены: структура и свойства // Рос. хим. журн. 2004. Т. XLVIII, № 5. С. 28–36.
8. Vukićević D., Kroto H. W., Randić M. Atlas of Kekulé valence structures of Buckminsterfullerene // Croat. Chem. Acta. 2005. Vol. 78 (2). P. 223–234.
9. Vukićević D., Gutman I., Randić M. On instability of fullerene C_{72} // Croat. Chem. Acta. 2006. Vol. 79 (3). P. 429–436.
10. Randić M., Vukićević D. Kekulé structures of fullerene C_{70} // Croat. Chem. Acta. 2006. Vol. 79 (3). P. 471–481.
11. Khamatgalimov A. R., Kovalenko V. I. Electronic structure and stability of C_{80} fullerene IPR isomers // Fullerenes, Nanotubes, and Carbon

Nanostructures. 2011. Vol. 19. P. 599–604. **12.** *Khamatgalimov A. R., Kovalenko V. I.* 24 IPR isomers of fullerene C_{84} : cage deformation as geometrical characteristic of local strains // International Journal of Quantum Chemistry. 2012. Vol. 112. 4. P. 1055–1065. **13.** *Khamatgalimov A. R., Kovalenko V. I.* Stability of isolated-pentagon-rule isomers of fullerene C_{76} // Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. 2015. Vol. 23. P. 148–152. **14.** *Войтеховский Ю. Л., Степеничиков Д. Г.* Фуллерены как потенциальные коллекторы благородных металлов в углеродистых геологических формациях // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 228–234.

Сведения об авторах

Степеничиков Дмитрий Геннадьевич — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: stepen@geoksc.apatity.ru

Войтеховский Юрий Леонидович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Геологического института КНЦ РАН

E-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Dmitry G. Stepenshchikov — PhD (Mineralogy & Crystallography), Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: stepen@geoksc.apatity.ru

Yury L. Voytekhovsky — Dr. Sci. (Mineralogy & Crystallography), Professor, Director of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Степеничиков, Д. Г. Двойные связи на фуллеренах C_{60} – C_{100} / *Д. Г. Степеничиков, Ю. Л. Войтеховский* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 37–42.

Reference

Stepenshchikov Dmitry G., Voytekhovsky Yury L. The Double Bonds on the Fullerenes C_{60} – C_{100} . *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 37–42. (In Russ.).

УДК 622.253.33; 51.74

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА И ТЕМПЕРАТУРЫ ХЛАДОНОСИТЕЛЯ НА СКОРОСТЬ СОЗДАНИЯ СПЛОШНОГО ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

П. В. Амосов, С. В. Лукичев, О. В. Наговицын
ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

Представлены результаты исследования влияния пористости влажного породного массива и температуры хладоносителя на скорость образования сплошного ледопородного ограждения вокруг проектируемого вертикального ствола, выполненные на базе численного моделирования. Описаны геометрические и теплофизические параметры численной модели. На основе анализа результатов численных экспериментов прослежена скорость образования сплошности в породном массиве для диапазона пористости 0–20 % при вариации температуры хладоносителя в замораживающих скважинах от -25 до -10 °С. Предпринята попытка описать время замораживания породного массива через простейшую функцию, содержащую в качестве варьируемых переменных пористость породного массива и температуру хладоносителя. В зависимости от параметров модели прогнозное время создания ледопородного ограждения при ненулевой пористости массива изменяется от 0.05 до 0.28 лет.

Ключевые слова:

ледопородное ограждение, сплошность, пористость породного массива, температура хладоносителя, численное моделирование.

INFLUENCE OF ROCK MASSIF' POROSITY AND COOLANT'S TEMPERATURE ON VELOCITY OF SOLID ICE WALL CREATION

Pavel V. Amosov, Sergey V. Lukichev, Oleg V. Nagovitsyn
Mining Institute of the KSC of the RAS

Abstract

The paper gives research results on wet rock massif's porosity and coolant's temperature effect on velocity of solid ice wall creation around a vertical shaft designed; the studies have been based on numerical modelling. Geometric and thermal-physical parameters of a numerical model have been described. Analysis of numerical tests has identified the velocity of formation of continuity in the rock massif for porosity's range 0–20 %, at variation of coolant's temperature in freezing boreholes from -25 to -10 °C. The authors have made an attempt to describe time for rock massif freezing through an elementary function which takes porosity of rock massif and coolant's temperature as variables. Depending on the model's parameters the forecast time for ice wall creation at nonzero porosity of the rock massif varies from 0.05 till 0.28 years.

Keywords:

ice wall, continuity, rock massif's porosity, coolant's temperature, numerical modeling.



Введение

Искусственное замораживание горных пород — универсальный, надежный и давно известный способ проведения вертикальных шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях. Его суть подробно описана в целом ряде широко известных

монографических, справочных и статейных материалах [1–11]. В указанных (список далеко неполный и может быть существенно дополнен) публикациях описаны способы определения технологических параметров скважин, колонок и хладоносителя, прогнозирования скорости формирования ледопородного ограждения (ЛПО) по всему периметру шахтного ствола и его толщины, вопросы ползучести и прочности ЛПО. Вместе с тем, как справедливо указывается в работе [12], эти способы разрабатывались в середине XX в. и основываются, как правило, на упрощенных формулах и эмпирических коэффициентах. Развитие вычислительной техники и современного программного обеспечения открыли новую страницу в исследованиях методами численного моделирования процессов замораживания горных пород, подтверждением чему является появление ряда публикаций российских и иностранных специалистов [12–15].

Не остались в стороне от указанной проблемы и специалисты Горного института КНЦ РАН, предпринявшие на данном этапе попытку исследовать влияние на скорость формирования ЛПО таких параметров, как пористость породного массива и температура хладоносителя. Следует отметить, что определенный опыт численного моделирования процессов, сопровождающихся либо переменным влагонасыщением в пористых средах [16], либо фазовым переходом 1-го рода «лед — вода» [17–20], у авторов имеется.

Цель исследования, постановка задачи и модельное представление

Достаточно очевидно, что создание полноценной компьютерной модели нестационарного процесса создания ЛПО в водонасыщенном породном массиве в объемной постановке является сложной и трудоемкой задачей. Обсуждаемая модель в общем случае включает в себя набор гео- и теплофизических параметров, перечисленных ниже, выбор численных значений которых на самом деле также является не самой тривиальной задачей.

Для цели исследования, заключающейся в оценке влияния пористости влажного породного массива на скорость образования сплошного ЛПО при вариации температуры в охлаждающих скважинах и принятых модельных представлений, рассматривается упрощенный аналог модели, представленной в графическом виде на рисунках работ [11, 12]: в породном массиве имеем проектируемый вертикальный шахтный ствол со слоем обделки и оконтуривающие его замораживающие скважины (рис. 1). При этом исключительно с целью сокращения затрат процессорного времени для моделирования процесса замерзания поровой воды выбирается элемент в форме прямоугольного параллелепипеда изначально влажного породного массива (например песчаника или известняка), ограниченный размерами 50 x 50 x 10 м.

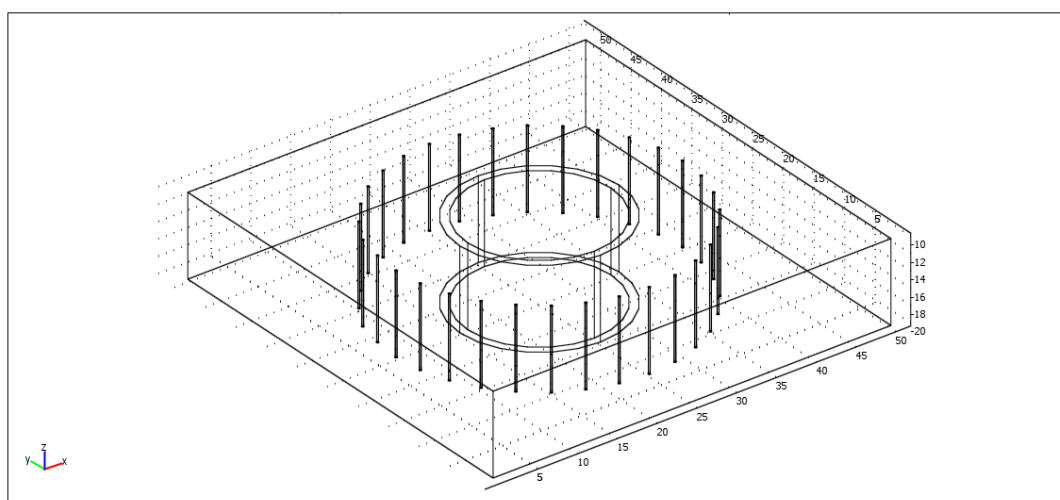


Рис. 1. Схема модели (шахтный ствол и замораживающие скважины)

Теплофизические характеристики породного массива были заимствованы из примеров тепловых расчетов широко известной работы специалистов Института технической теплофизики Украины и Ленинградского горного института [21]. В частности, в нашем случае были использованы значения (песчаник): $\rho_r = 2500 \text{ кг/м}^3$; $c_r = 840 \text{ Дж/(кг·К)}$; $\lambda_r = 2.6 \text{ Вт/(м·К)}$.

В центре модели располагается проектируемый вертикальный ствол радиусом $R_s = 9 \text{ м}$ и толщиной слоя обделки $\delta_w = 1 \text{ м}$. Вокруг ствола на линии окружности с радиусом $R_f = 18 \text{ м}$ от центра модели равномерно размещены 32 замораживающие скважины радиусом $r_f = 0.125 \text{ м}$.

В анализируемой ситуации в качестве начальных и граничных условий приняты следующие распределения температуры:

- для породного массива начальная средняя температура $T_r = 8 \text{ °C}$ (при геотермическом градиенте $\gamma_t = -0.02 \text{ °C/м}$);

- температура на стенках замораживающих скважин поддерживается постоянной и принимает (первый параметр варьирования) значения $T_f = -10; -15; -20; -25 \text{ °C}$.

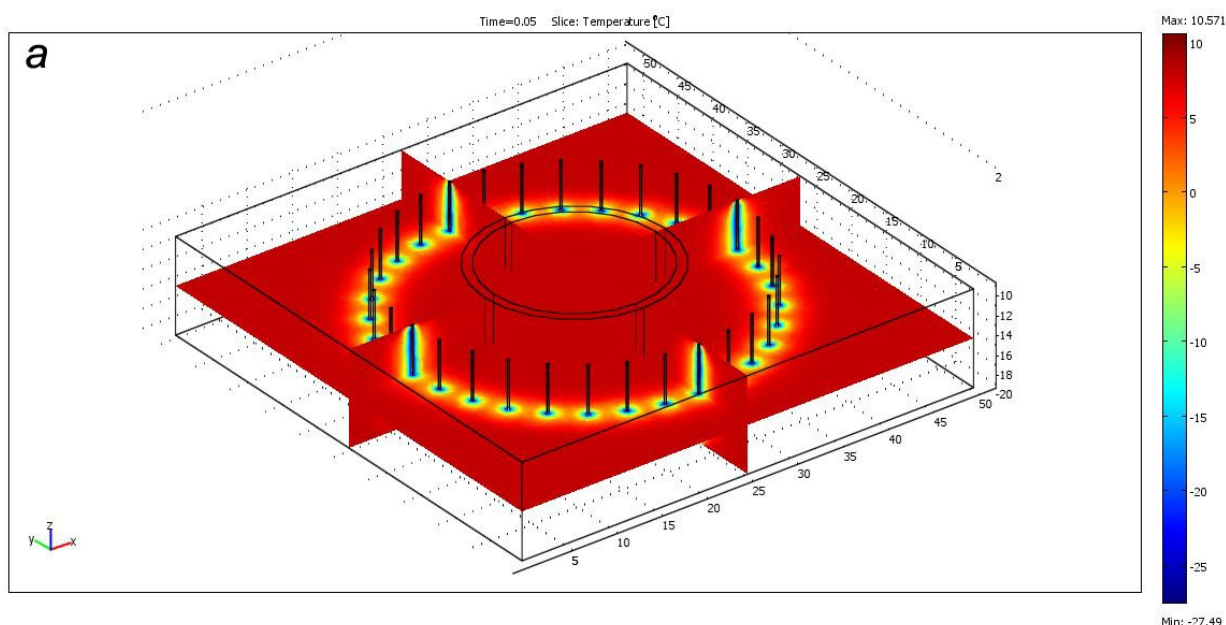
На внешних боковых границах модели использовано условие нулевого потока. На верхней и нижней границах модели — условие Дирихле с учетом указанного геотермического градиента. На внутренних границах модели (замораживающие скважины, внутренний и внешний слой виртуальной обделки) «работает» условие неразрывности.

Вторым варьируемым параметром модели выбрана пористость породного массива ϵ_r . Принятые в расчетах значения этого параметра, который определяет содержание влаги в массиве, а значит, и продолжительности достижения сплошности ЛПО, следующие: $\epsilon_r = 0.00; 0.05; 0.10; 0.15; 0.20$.

В качестве «инструмента» исследования использован прекрасно себя зарекомендовавший в ранее выполненных научно-исследовательских темах [17–20] программный продукт COMSOL. Задействован модуль программы, позволяющий моделировать процессы теплопереноса с учетом фазового перехода «лед — вода». Физическая модель кода построена на общепринятом допущении: поровое пространство окружающей среды первоначально заполнено водой, а после фазового перехода — льдом.

Анализ результатов моделирования

Типичные картины распределения расчетных температурных полей в форме изоповерхностей представлены на рис. 2, а, б.



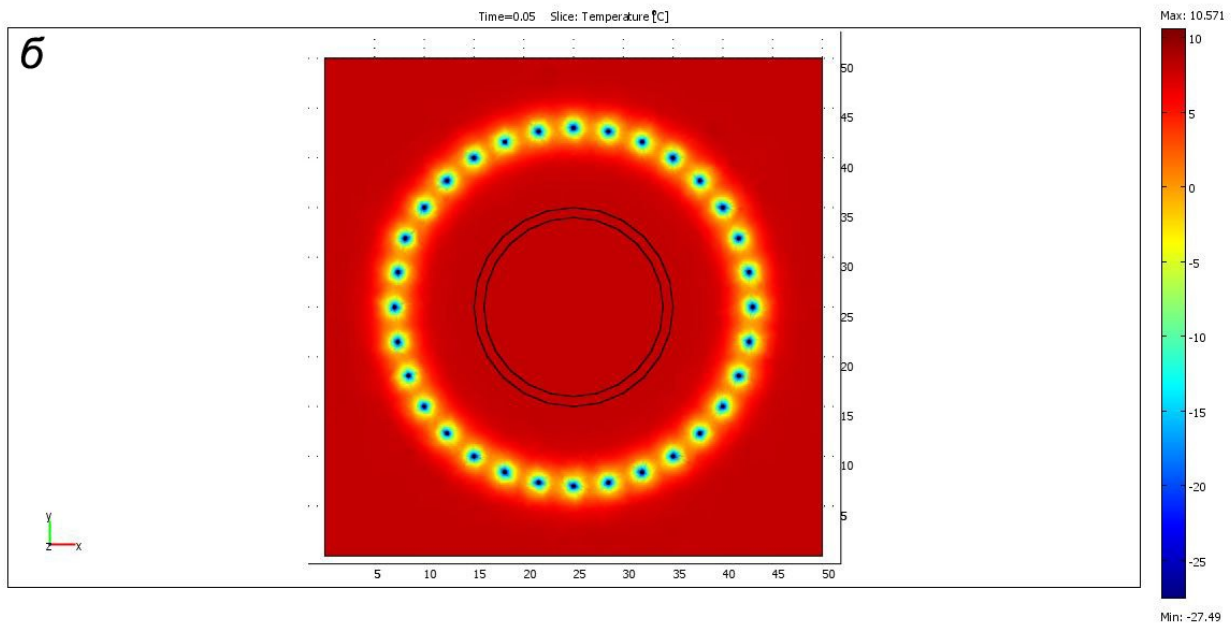


Рис. 2. Исоповерхности пространственного распределения температурных полей:
 а — в характерных сечениях модели; б — в сечении XOY , проходящем через центр модели

В частности, на рис. 2, а приведены пространственные распределения температуры в различных сечениях модели, а на рис. 2, б в сечении XOY (все сечения проходят через центр модели). В данном случае изображены распределения температуры вблизи момента времени (примерно 0.05 года при температуре хладагента -25°C и пористости породного массива 0.05), когда происходит сплошное образование льда в ЛПО.

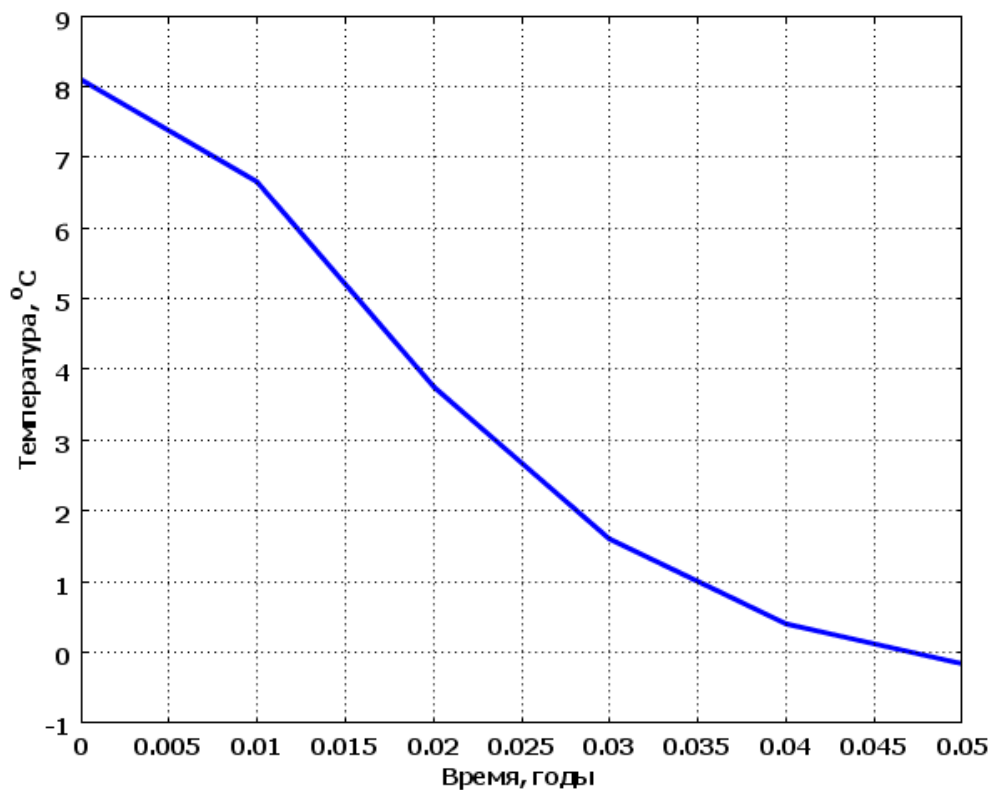


Рис. 3. Типичное поведение графика динамики температуры в точке контроля

С целью фиксации времени сплошного образования льда контролировалась динамика температуры породного массива в точке, расположенной посередине между соседними замораживающими скважинами на линии окружности их расположения. Типичная кривая динамики температуры в точке контроля сплошности ЛПО представлена на рис. 3. Как видно из графика рис. 3, пересечение кривой нулевой температуры происходит менее чем за 0.05 года, т. е. примерно за 20 дней работы замораживающих скважин.

Обобщенные графические результаты обработки расчетных данных времени образования сплошного ЛПО как функции пористости породного массива при вариации температуры в замораживающих скважинах представлены на рис. 4. Качественный анализ поведения кривых времени создания сплошного ЛПО свидетельствует, что поведение представленных графиков физично. В частности, с ростом температуры хладоносителя будет расти и время замораживания массива, а увеличение пористости (рост массы воды, которую надо превратить в лед) приводит также к увеличению времени заморозки массива в районе расположения замораживающих скважин. Естественно, что минимальное время выхода на образование сплошного ЛПО аналогично кривой рис. 3 имеют место при нулевой пористости.

С коэффициентами достоверности выше 0.99 представленные на рис. 4 кривые времени образования сплошности ЛПО хорошо описываются линейными функциями вида:

$$\tau(T_f, \varepsilon_r) = a(T_f) \varepsilon_r + b(T_f), \quad (1)$$

где коэффициенты a и b являются функциями температуры замораживающей скважины (табл.).

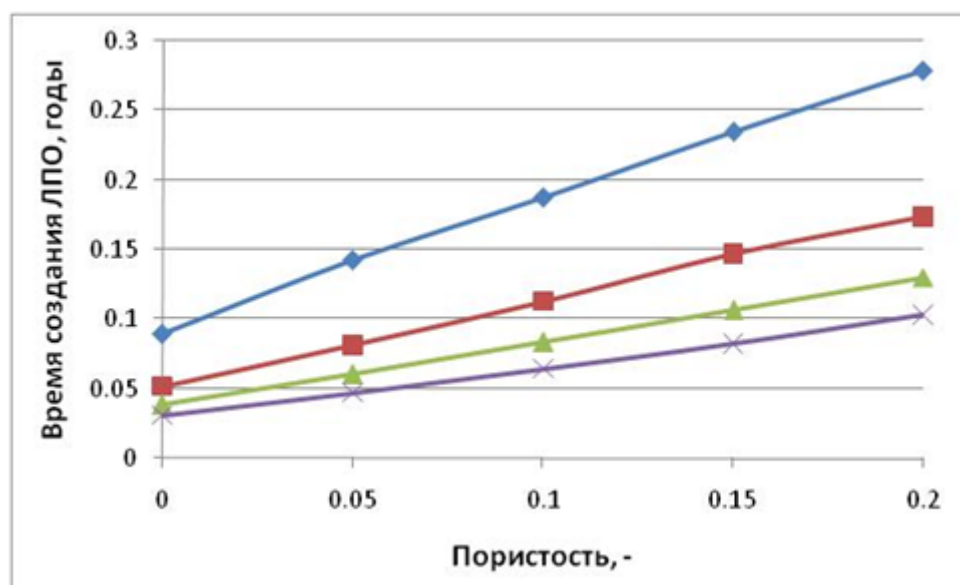


Рис. 4. Графические зависимости времени создания сплошного ЛПО от пористости породного массива при вариации температуры (°C) хладоносителя:

ромб — -10; квадрат — -15; треугольник — -20; крестик — -25

Таблица

Значения коэффициентов аппроксимации кривых рисунка 4 для различных значений температуры замораживающих скважин

Температура T_f , °C	Коэффициент a	Коэффициент b
-25	0.3600	0.0296
-20	0.4688	0.0380
-15	0.6160	0.0516
-10	0.9438	0.0921

Оказалось, что приведенные в таблице значения коэффициенты a и b с коэффициентами достоверности выше 0.99 описываются квадратичными функциями температуры замораживающих скважин. Обобщая полученные результаты можно констатировать, что при принятых параметрах модели, а также условий вариации пористости породного массива ($0 \leq \varepsilon_r \leq 0.20$) и температуры замораживающих скважин ($-25 \leq T_f \leq -10$) °C, оценку времени образования сплошного ЛПО можно выполнять на основе выражения:

$$\tau(T_f, \varepsilon_r) = (0.0023 \cdot T_f^2 + 0.1183 \cdot T_f + 1.8924) \cdot \varepsilon_r + (0.0003 \cdot T_f^2 + 0.0153 \cdot T_f + 0.2115). \quad (2)$$

На рис. 5 представлена форма поверхности времени создания сплошного ЛПО, построенная с использованием выражения (2). Авторы подчеркивают, что предлагаемое для оценок выражение следует трактовать именно как оценочное, что обусловлено недостаточной строгостью модельных представлений. Речь идет об ограниченности по пространственным параметрам модели, что при продолжительном времени моделирования приводит к влиянию в первую очередь граничных условий на боковых поверхностях модели.

Вместе с тем, описанный подход можно рассматривать как алгоритм для построения более сложных модельных представлений и выполнения более аккуратных оценок для подобных задач. Особый эффект может быть получен при тесном сотрудничестве «модельеров» со специалистами в области заморозки грунтов и массивов.

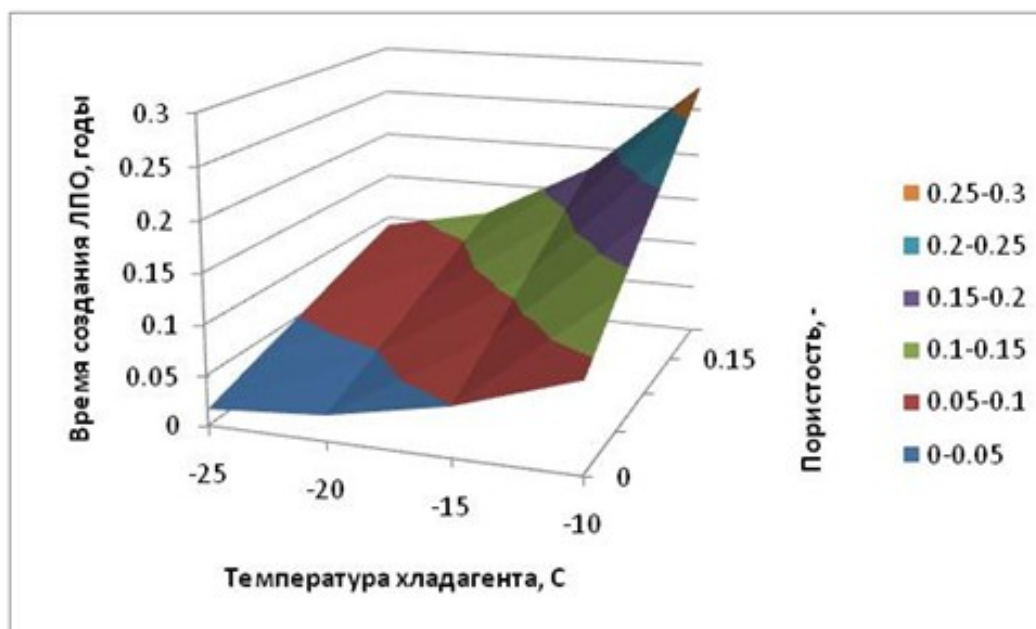


Рис. 5. Форма поверхности времени создания сплошного ЛПО, соответствующая выражению (2)

Заключение

Таким образом, в статье представлены результаты применения методов численного моделирования к решению сложной проблемы горного дела, возникающей при проходке во влажных породных массивах. Авторами рассмотрена задача по замораживанию влажного породного массива посредством размещения вокруг проектируемого вертикального ствола системы замораживающих скважин. В частности, исследовано влияние пористости влажного породного массива и температуры хладоносителя на скорость образования сплошного ледопородного ограждения вокруг виртуального вертикального ствола.

На основе анализа результатов численных экспериментов прослежена скорость образования сплошности в породном массиве для диапазона пористости 0–20 % при вариации

температуры хладоносителя в замораживающих скважинах от -25 до -10 °С. Предпринята попытка определения посредством аналитической функции двух переменных (пористость породного массива — линейная зависимость и температура хладоносителя — квадратичная зависимость) времени образования сплошного ледопородного ограждения. При ненулевой пористости массива в зависимости от параметров модели прогнозируемое время создания ледопородного ограждения будет варьировать от 0.05 до 0.28 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бельферман М. У. Оптимальное проектирование технологии замораживания пород при проходке вертикальных стволов шахт: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 1984. 375 с.
2. Трупаков Н. Г. Замораживание грунтов при строительстве подземных сооружений. М.: Недра, 1979. 344 с.
3. Трупаков Н. Г. Замораживание пород при сооружении вертикальных стволов шахт. М.: Недра, 1983. 170 с.
4. Картозия Б. А. Исследование механических процессов в породных массивах с искусственной неоднородностью и разработка методов их прогнозирования в подземном строительстве: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1979. 372 с.
5. Картозия Б. А., Долгов О. А., Роменский А. А. Определение параметров для проектирования ледопородного ограждения // Шахтное строительство. 1962. № 5. С. 12–15.
6. Либерман Ю. М. Методика расчета толщины стенки ледопородного цилиндра. Замораживание горных пород при проходке стволов шахт. М.: АН СССР, 1962. 24 с.
7. Насонов И. Д., Шуплик М. Н. Закономерности формирования ледопородного ограждения при сооружении стволов шахт. М.: Недра, 1976. 237 с.
8. Роменский А. А. Обоснование параметров проходческого цикла и ледопородного ограждения при строительстве вертикальных стволов: дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 225 с.
9. Белый В. В. Справочник инженера-шахтостроителя: в 2 т. Т. 2. М.: Недра, 1983. 423 с.
10. Булычев Н. С., Комаров Д. С., Лукашин С. Б. Расчет необходимых параметров ледопородного ограждения в замковой части // Известия ТулГУ. Естественные науки. Вып. 1, ч. 2. Тула: ТулГУ, 2012. С. 54–60.
11. Перспективы замораживания грунтов в подземном строительстве / М. Н. Шуплик [и др.] // Подземное пространство мира. 2001. № 4. С. 28–38.
12. Левин Л. Ю., Зайцев А. В., Семин М. А. Контроль теплового режима породного массива на основе применения оптоволоконных технологий мониторинга температур в скважинах // Горное эхо. 2016. № 1. С. 35–37.
13. Николаев П. В., Шуплик М. Н. Математическое моделирование процесса искусственного замораживания грунтов с применением твердого диоксида углерода // ГИАБ. 2015. № 11. С. 243–251.
14. Математическое моделирование искусственного замораживания грунтов / П. Н. Вабищев [и др.] // Вычислительные технологии. 2014. 19 (4). С. 19–31.
15. Хайден Т. В., Вегнер Б. Современная технология замораживания пород на примере двух объектов, находящихся на стадии строительства, состоящих из пяти вертикальных стволов // Горный журнал. 2014. № 9. С. 65–68.
16. Амосов П. В. Численное моделирование процесса осушения пористого материала // Информационные технологии в горном деле: сб. докл. всерос. науч. конф. с междунар. участием (Екатеринбург, 12–14 октября 2011 г.). Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. С. 13–19.
17. Amosov P. V., Novozhilova N. V., Lukichev S. V. Methodological approaches to numerical modeling of phase transitions (case study of tailing and dump handling) // Proceedings of the XXI International Scientific and Professional Meeting "Ecological Truth", Eco-Ist'13 (Bor, Serbia, 4–7 June 2013). Bor: University of Belgrade, 2013. P. 83–89.
18. Амосов П. В., Новожилова Н. В. Воздействие остаточного энерговыделения отработавшего ядерного топлива на многолетнемерзлые горные породы // Математические методы в технике и технологиях ММТТ–27: сб. трудов XXVII междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 7. Секции 4, 9 / под общ. ред. А. А. Большакова. Тамбов: Тамбовск. гос. техн. ун-т, 2014. С. 16–20.
19. Применение встроенных систем замораживания для обеспечения тепловой безопасности подземной атомной станции малой мощности (на базе численного моделирования) / Н. Н. Мельников [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 3 (22). С. 40–47.
20. Экология подземных объектов ядерной энергетики в условиях криолитозоны / Н. Н. Мельников [и др.]. Ярославль: ООО «Принтхаус-Ярославль», 2015. 119 с.
21. Теплофизические расчеты объектов народного хозяйства, размещаемых в горных выработках / Ин-т техн. теплофизики АН УССР; Ленингр. горный ин-т им. Г. В. Плеханова. М.: Стройиздат, 1989. 80 с.

Сведения об авторах

Амосов Павел Васильевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: vosoma@goi.kolasc.net.ru

Лукичев Сергей Вячеславович — доктор технических наук, врио директора Горного института КНЦ РАН

E-mail: lu24@goi.kolasc.net.ru

Наговицын Олег Владимирович — кандидат технических наук, заведующий лабораторией теории комплексного освоения и сохранения недр Горного института КНЦ РАН

E-mail: nagovitsyn@goi.kolasc.net.ru

Author Affiliation

Pavel V. Amosov — PhD (Engineering), Leading Researcher of the Mining Institute of the KSC of the RAS
E-mail: vosoma@goi.kolasc.net.ru

Sergey V. Lukichev — Dr. Sci. (Engineering), Acting Director of the Mining Institute of the KSC of the RAS
E-mail: lu24@goi.kolasc.net.ru

Oleg V. Nagovitsyn — PhD (Engineering), Head of Laboratory of Complex Processing Theory and Mineral Resources Saving of the Mining Institute of the KSC of the RAS
E-mail: nagovitsyn@goi.kolasc.net.ru

Библиографическое описание статьи

Амосов, П. В. Влияние пористости породного массива и температуры хладоносителя на скорость создания сплошного ледопородного ограждения / *П. В. Амосов, С. В. Лукичев, О. В. Наговицын* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 43–50.

Reference

Amosov Pavel V., Lukichev Sergey V., Nagovitsyn Oleg V. Influence of Rock Massif Porosity and Coolant's Temperature on Velocity of Solid Ice Wall Creation. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 43–50. (In Russ.).

УДК 622.7

СОТРУДНИЧЕСТВО ГОРНОГО ИНСТИТУТА КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН С ДРУГИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Т. Н. Мухина, В. В. Марчевская
ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

В 2016 г. исполнилось 100 лет с начала научно-исследовательской деятельности в области обогащения полезных ископаемых в России. Активные партнерские связи Горного института Кольского научного центра РАН с ведущими научно-исследовательскими и специализированными организациями России, обеспечивающие проведение опытно-промышленных испытаний технологий обогащения полезных ископаемых, способствуют разработке наиболее эффективных и наименее затратных технологий обогащения различных видов минерального сырья.

Ключевые слова:

обогащаемость, обогащение минерального сырья, флотация, магнитная сепарация, рентгенорадиометрическая сепарация, гравитационные методы, эффективная технология.

COOPERATION OF MINING INSTITUTE OF THE KOLA SCIENCE CENTRE OF THE RAS WITH DIFFERENT ORGANIZATIONS FOR NEW TECHNOLOGIES DEVELOPMENT

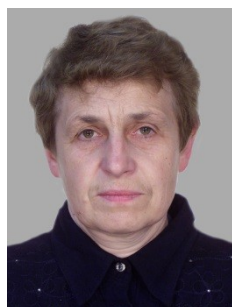
Tatyana N. Mukhina, Valentine V. Marchevskaya
Mining Institute of the KSC of the RAS

Abstract

2016 is the year of the 100th anniversary of the Russian research on mineral processing activity. Strong partner relations between the Mining Institute of the Kola Science Centre of the RAS and the Russian leading research and specialized organizations, providing pilot testing of mineral processing technologies, contribute to development of the most effective and profitable concentration technologies for various mineral raw materials.

Keywords:

dressability, mineral processing, flotation, magnetic separation, X-ray radiometric separation, gravity methods, effective technology.



Введение

Опытно-промышленная обогатительная установка является одной из важнейших составляющих экспериментальной базы Горного института (рис. 1). Установка создана в середине 1970-х гг. и первоначально использовалась для оценки обогащаемости апатит-нефелиновых руд текущей добычи и перспективных хибинских месторождений как на «свежей» воде, так и в условиях водооборота.

В настоящее время опытно-промышленная установка обеспечивает апробацию разрабатываемых в Институте обогатительных технологий, а также проведение испытаний технологий и наработку опытных партий концентратов руд многих месторождений Мурманской области и других регионов России совместно с ведущими научно-исследовательскими и специализированными организациями России (ЗАО «Механобр инжиниринг», ООО «Институт

Гипроникель», АО «Кольская ГМК», АО «Апатит», МХК «ЕвроХим», АО «Ковдорский ГОК», АО «Полиметалл» и др.).

В состав опытно-промышленной установки входят закрытый рудный склад, технологические участки дробления, измельчения, флотационного, гравитационного, магнитного, электрического и радиометрического обогащения, приготовления реагентов, пробоподготовки.

При опытно-промышленных испытаниях технологий обогащения природного и техногенного минерального сырья за последние годы получены следующие результаты.

Апробирована технология флотационного обогащения комплексных малосульфидных благороднометалльных руд Федорово-Панского массива. Результаты опытных плавов, проведенных на одном из металлургических предприятий Кольского полуострова, установили возможность металлургической переработки данных концентратов с высокими технико-экономическими показателями. Результаты опытно-промышленных испытаний использованы при подсчете запасов трех месторождений.

Установлена возможность получения апатитового и нефелинового концентратов из апатит-нефелиновых руд текущей добычи месторождения Олений Ручей.

Оценена обогатимость апатит-магнетитовых руд глубоких горизонтов Ковдорского месторождения и отходов обогащения, складированных во втором поле хвостохранилища ОАО «Ковдорский ГОК».



Рис. 1. Общий вид опытно-промышленной обогатительной установки

В 2000-х гг. проведены совместные опытно-промышленные испытания:

- обогатимости фосфоритных руд одного из месторождений Каратау;
- обогатимости медно-никелевых руд Кингашского рудного узла на материале укрупненных технологических проб разных месторождений;
- обогащения медно-никелевых руд текущей добычи Кольской ГМК по трем технологическим схемам;
- магнито-флотационной технологии обогащения золотосодержащих железо-медных руд трех месторождений Быстринского рудного поля с получением кондиционного медного концентрата, содержащего золото, и попутно магнетитового;
- обогатимости золото-медьсодержащих руд Быстринско-Ширинского месторождения с получением исходных данных для составления Технологического регламента;
- обогатимости золотосульфидных руд Попутнинского месторождения по флотационно-гравитационной схеме с наработкой концентратов для проведения металлургических исследований;
- обогащения титаномagnetит-ильменитовых руд месторождения Большой Сейим по магнитно-гравитационно-флотационной технологической схемы, включающей получение титаномagnetитового и ильменитового концентратов;
- обогащения первичной руды золоторудного месторождения Майское по двум технологическим схемам с наработкой флотационного концентрата для проведения металлургических исследований;
- испытания гравитационного обогащения алмазосодержащей руды месторождения им. В. П. Гриба;
- испытания обогатимости платиносодержащих руд Гальмознанского месторождения гравитационными методами;
- испытания по обогащению сидеритовых руд Бакальского месторождения различными физическими методами с оценкой их технико-экономической эффективности;
- опытно-промышленные испытания технологии обогащения титано-циркониевых песков россыпных месторождений Центральное и Бешпагир с наработкой ильменитового, рутилового и цирконового концентратов;
- обогащения редкометалльных руд Зашихинского месторождения по гравитационно-магнитной схеме с наработкой колумбитового и цирконового концентратов для проведения металлургических исследований.

К наиболее значимым относятся испытания технологий обогащения хромитовых руд месторождения Сопчеозерское, платиносодержащих руд Гальмознанского месторождения, сидеритовых руд Бакальского месторождения, алмазосодержащей руды месторождения им. В. П. Гриба, титано-циркониевых песков россыпных месторождений Центральное и Бешпагир.

Опытно-промышленные испытания

Хромитовая залежь *Сопчеозерского* месторождения приурочена к верхней части дунитового блока Мончегорского плутона. Содержание Cr_2O_3 в рудах изменяется от 10 до 52 % и при бортовом содержании 10 % в среднем составляет 24 % [1].

Гравитационная схема обогащения хромитовых руд включала тяжелосредное разделение кусковых руд в конусном сепараторе и турбоциклоне с получением крупнокусового и мелкокусового концентратов, винтовую сепарацию и концентрацию на столе измельченных промпродуктов тяжелосредного разделения (рис. 2).

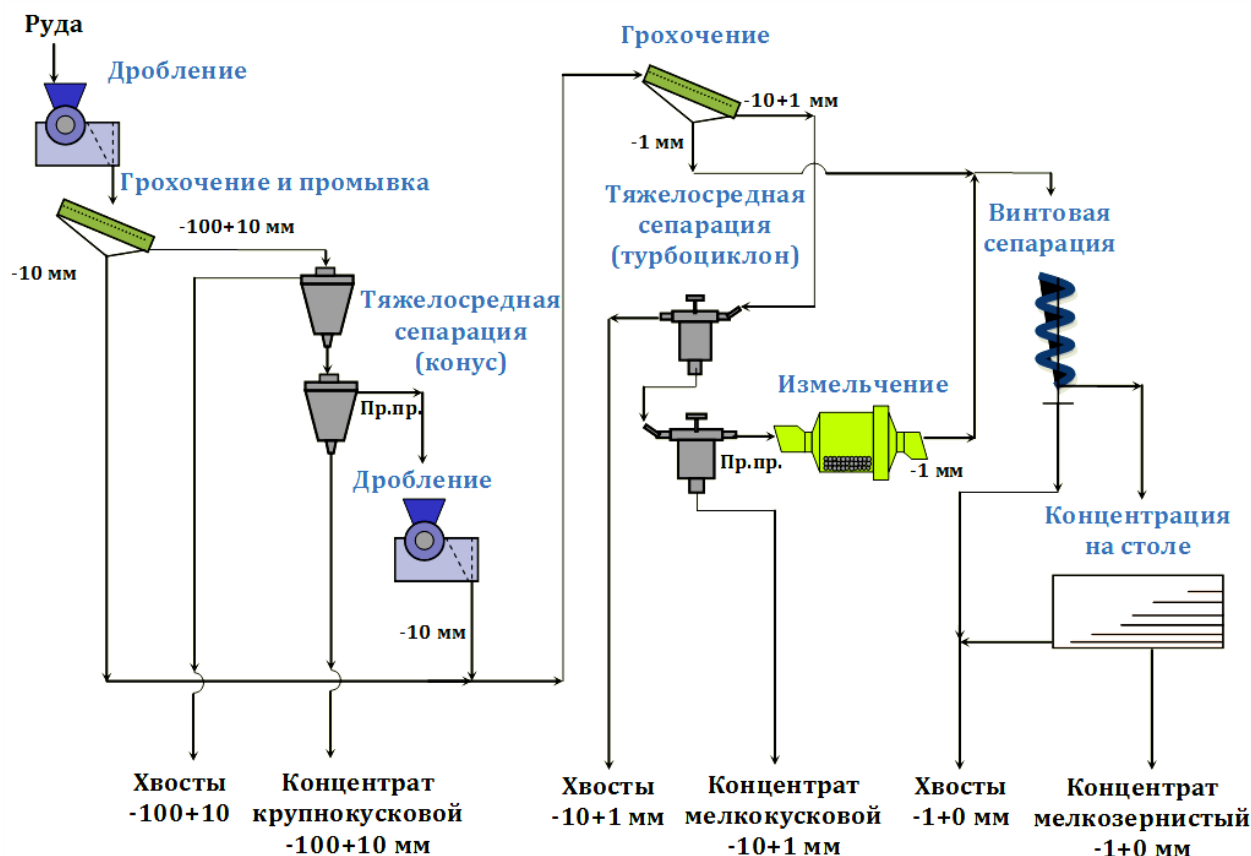


Рис. 2. Гравитационная схема обогащения хромитовых руд Сопчеозерского месторождения

В массиве *Гальмознан* (Камчатский край) установлено наличие двух минеральных ассоциаций металлов платиновой группы (МПГ) — рассеянной и рудной. В рассеянной ассоциации в мелкозернистых дунитах среднее содержание платины составляет около 0.10 г/т. В рудной ассоциации зерна изоферроплатины локализованы преимущественно среди дунитов с прожилково-вкрапленными скоплениями хромитов. Размер выделений изоферроплатины достигает первых сантиметров. Основным примесным элементом изоферроплатины является ирридий. Платиновые металлы рудной ассоциации характеризуются весьма неравномерным распределением в породах, их содержания варьируют от тысячных долей до сотен г/т [2, 3].

Технологическая схема полупромышленных испытаний обогатимости платиносодержащих руд (рис. 3) включала дробление руды до крупности -10 мм, измельчение в стержневой мельнице до крупности -2 мм, обогащение отсадкой по постели из стальной дробы с пересортировкой подрешетного продукта, доводку черного концентрата отсадки в 3 стадии на концентрационных столах с выделением богатого концентрата-1 («головки») и концентрата-1 и хвостов.

Легкие фракции основной и пересортичной отсадок поступали на спиральный классификатор, пески которого направлялись на измельчение в шаровые мельницы, работающие в замкнутом цикле с классификатором, до крупности -0.5 мм, а сливы подавались на вторую стадию классификации в гидроциклонах для сброса шламов. Пески гидроциклонов направлялись на винтовой шлюз, концентрат которого доводился в 2 стадии на концентрационных столах с получением богатого концентрата-2 («головки») и концентрата-2.

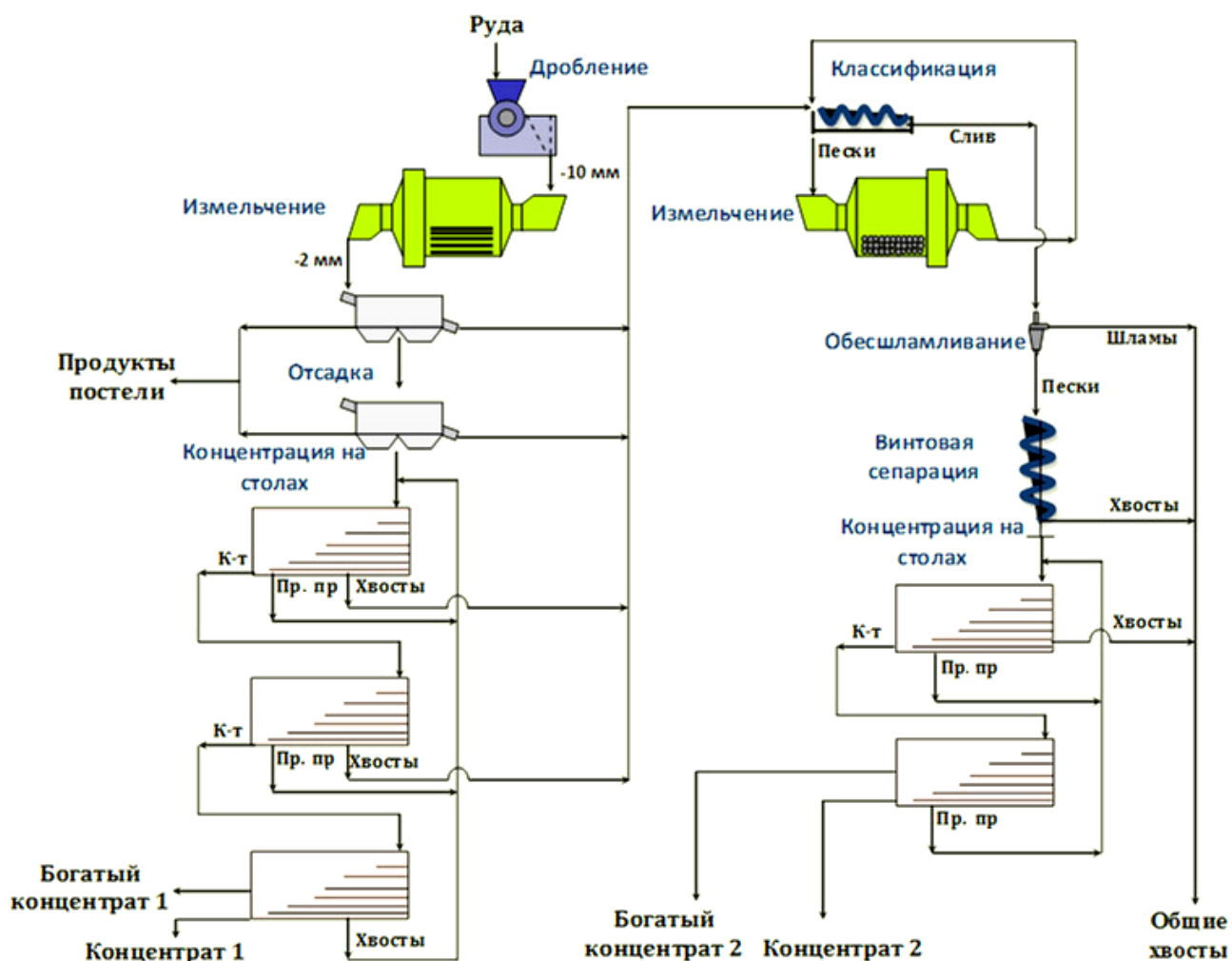


Рис. 3. Гравитационная схема обогащения платиносодержащих руд Гальмознанского месторождения

Бакальская группа месторождений сидеритов и бурых железняков, в которой насчитывается 24 железорудных месторождения, находится в Саткинском районе Челябинской области.

Бакальские сидериты являются ценным сырьем для получения высококачественных сталей в силу высокой стабильности их химического состава, низкого содержания вредных примесей, высокой прочности, а в обожженном состоянии — хорошей восстановимости. По результатам маркетинговых исследований установлена рациональность получения кускового концентрата обожженного сидерита. Благоприятный состав пустой породы дает основание отнести данное комплексное сырье к категории железофлюсов. Технология подготовки руд Бакальского железорудного района к металлургическому переделу заключается в дроблении руды и ее классификации. Кусковая руда идет в доменный передел, а рудная мелочь подвергается агломерации [4, 5].

По результатам предварительных исследований установлено, что при крупности руды менее 100 мм происходит достаточно полное ее фазовое раскрытие, позволяющее использовать физические методы предварительной концентрации и обогащения кусковых руд — тяжелосредное разделение, отсадку, рентгенорадиометрическую и магнитную сепарацию. Оценены возможности методов для гравитационного и рентгенорадиометрического разделения кусковых руд, гравитационного разделения на концентрационном столе и винтовых сепараторах, сухой и мокрой магнитной сепарации рудного отсева. Выявлено, что в руде содержится

значительное количество глинистых шламов, покрывающих куски руды сплошным слоем, поэтому в голове процесса целесообразна операция грохочения с отмывкой.

Месторождение *алмазов имени Владимира Гриба*, второе коренное месторождение алмазов Архангельской алмазоносной провинции, расположенное в 25 км к северо-востоку от месторождения алмазов имени М. В. Ломоносова, приурочено к одноименной кимберлитовой трубке. Это месторождение считается одной из крупнейших разведанных алмазоносных трубок в мире. Запасы алмазов превышают 98 млн карат. Породы трубки характеризуются высоким выходом тяжелой фракции кимберлитов. По особенностям вещественного состава кимберлиты являются аналогом алмазоносных кимберлитов Якутии [6, 7].

Испытания проведены на двух технологических пробах, представленных двумя основными разновидностями пород трубки — массивными кимберлитами и туфо-ксенотуфобрекцией.

Согласно техническому заданию верхний предел крупности руд, подвергаемых тяжелосреднему разделению, был установлен на уровне 30 мм, нижний предел крупности извлекаемых алмазов — 1 мм.

Основными породообразующими минералами кимберлитов являются слоистые силикаты, минералы группы серпентина, на их долю приходится около 90 мас. % горной породы. Вторым по распространенности минерал — флогопит, составляющий около 5 мас. %.

В пробе № 2, представленной туфобрекциями и ксенотуфобрекциями, суммарное содержание минералов группы серпентина и флогопита понижено соответственно до 58 и 1 мас. %. Остальные породообразующие минералы представлены кварцем (28 %), полевыми шпатами (8 %), слюдами мусковитового и биотитового рядов (1.2 %).

Минералы тяжелой фракции проб представлены в основном магнетитом и титаномагнетитом (1.1–1.2 %), ильменитом (0.1–0.15 %) сульфидами (0.1 %), гранатами (альмандин, пироп — около 0.1 %). Суммарное содержание тяжелой фракции в обеих пробах близко — 1.5 и 1.65 мас. %.

Технологическая схема гравитационного обогащения полупромышленных испытаний включала дробление руды до -30 мм, классификацию промытой руды по крупности; обогащение класса -30 + 6 мм в конусном тяжелосреднем сепараторе; дробление легкой фракции до крупности -13 мм; обогащение класса -13 + 6 мм в конусном тяжелосреднем сепараторе; дробление полученной легкой фракции до крупности -6 мм; обогащение всего материала -6 + 1 мм в тяжелосреднем турбоциклоне.

Доводка гравитационных концентратов осуществлялась на рентгенолюминесцентных сепараторах РЛС-Д в НПК «Технологии, оборудование, комплектация» (г. Санкт-Петербург) с перечистками концентратов и контрольными перечистками хвостов; далее алмазы из концентратов сепарации отбирались минералогом визуально. Рентгенолюминесцентная сепарация обеспечила практически полное извлечение алмазов.

Использование магнитной сепарации тяжелых фракций крупностью -6 мм позволило уменьшить выход материала на рентгенолюминесцентную сепарацию до 1.2 % для пробы № 1 и до 1.5 % для пробы № 2.

Центральное титано-циркониевое россыпное месторождение расположено в Тамбовской области, *Бешипагирское* месторождение — в Ставропольском крае. Главными рудными минералами песков обоих месторождений являются ильменит, лейкоксен, рутил и циркон, основными породообразующими — кварц и полевой шпат.

В песках обоих месторождений присутствуют фосфаты и хромшпинелиды, являющиеся вредными примесями.

Ильменит и лейкоксенизированный ильменит — основные минералы титана в песках, на их долю приходится 50–60 % TiO_2 . Подавляющая часть зерен имеет размеры от 20 до 120 мкм, при среднем — 50–60 мкм.

Доля рутила в общем балансе диоксида титана в песках колеблется от 16 до 23 %. В целом зерна рутила имеют средние гранулометрические характеристики, аналогичные ильмениту.

Циркон в песках представляет собой второй по значимости после титановых минералов компонент руд. Из всех минералов тяжелой фракции циркон обладает наименьшими размерами. По химическому составу циркон близок к идеальной формуле. Имеются весомые предпосылки первоочередного вовлечения в промышленное освоение россыпных титаноциркониевых месторождений Ставрополя [8–10].

При обогащении титан-циркониевых песков обоих месторождений использовалась гравитационно-магнито-электрическая технология с получением конечных титансодержащих продуктов — ильменитового и рутилового концентратов, а также цирконового концентрата.

Технологическая схема (рис. 4) получения черного гравитационного концентрата из титан-циркониевых песков на опытно-промышленной установке включала: выделение непродуктивного класса методами грохочения, дезинтеграции и обесшламливания; винтовую сепарацию продуктивного класса $-0.7 + 0.044$ мм.

Исходные пески

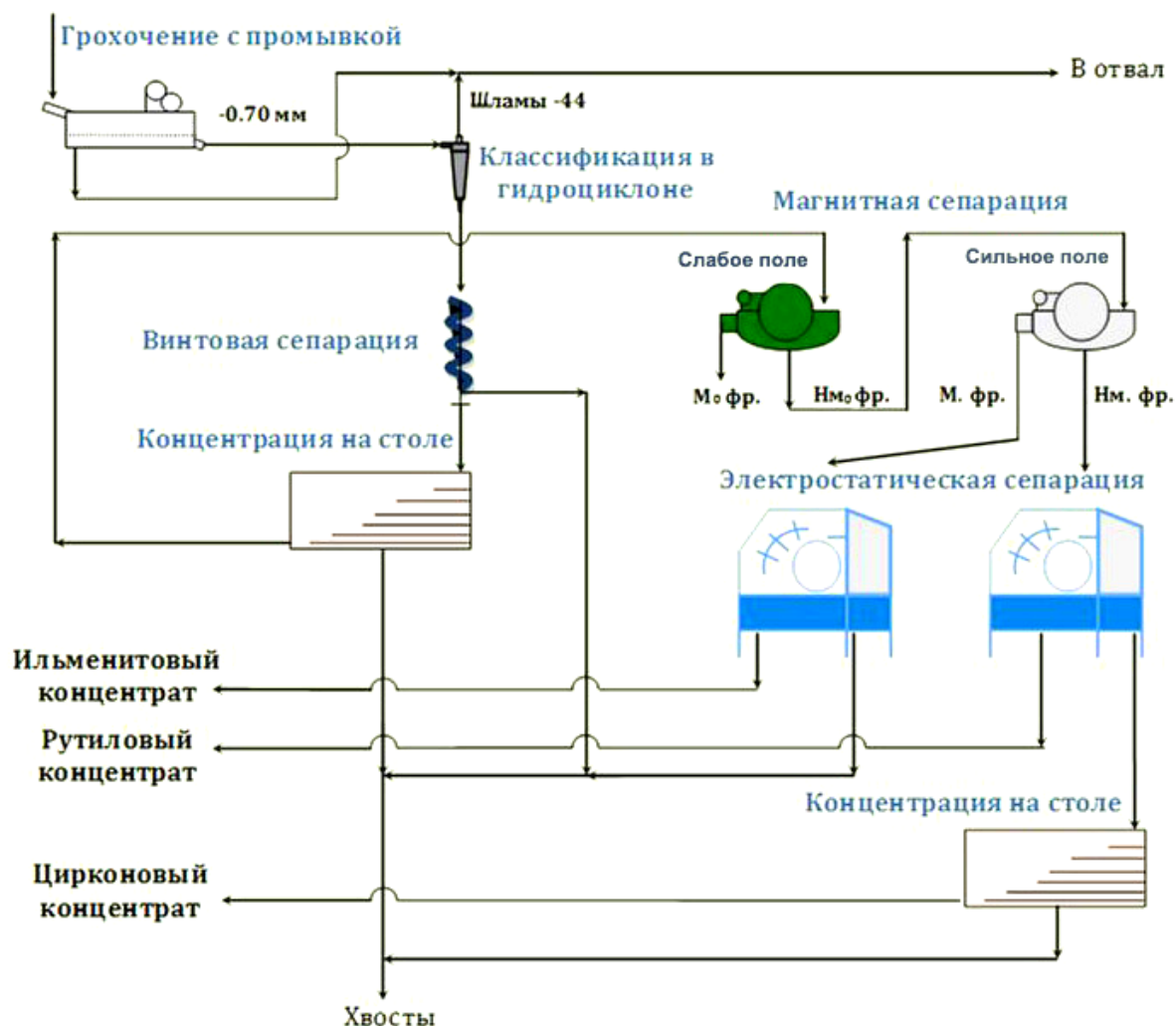


Рис. 4. Гравитационно-магнито-электрическая схема обогащения титан-циркониевых песков

Черновой коллективный концентрат перечищался на концентрационном столе. Концентрат стола подвергался сухой магнитной сепарации в слабом и сильном поле, далее магнитный и немагнитный продукты поступали на электростатическую сепарацию. При электрическом обогащении магнитной фракции получен черновой ильменитовый концентрат, при обогащении немагнитной фракции — черновой рутиловый концентрат и цирконсодержащий продукт. Черновой ильменитовый концентрат подвергался доводке (очистке от хромита) путем электростатической сепарации с предварительным прокаливанием материала, черновой рутиловый концентрат — с помощью магнитной сепарации. Цирконсодержащий продукт для выделения минералов породы обогащался на концентрационном столе.

Анализ результатов опытно-промышленных испытаний

В процессе длительных испытаний на опытно-промышленной установке из хромитовой руды Сопчеозерского месторождения, содержащей в среднем 21 % Cr_2O_3 , получен крупнокусковой концентрат со средним содержанием Cr_2O_3 40.2 % при выходе 32.6 % и извлечении в него 62.4 % оксида хрома с соотношением $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ более 2.5.

По результатам проведенных испытаний установлена возможность обогащения рудного отсева хромитовых руд крупностью $-10 + 1$ мм в тяжелосреднем турбоциклоне с получением мелкокускового концентрата, содержащего около 38 % Cr_2O_3 , при извлечении около 38 % от операции. При этом содержание Cr_2O_3 в хвостах составляет 7.7 % при потерях около 6 %. Почти такие же показатели получены при обогащении отсадкой рудного отсева крупностью $-10 + 2$ мм. Исследования получения мелкокускового концентрата отсадкой из промпродуктов тяжелосреднего обогащения крупностью $-8 + 2$ мм и из шихты рудного отсева с промпродуктами не дали положительных результатов.

Показана возможность получения мелкозернистого концентрата, удовлетворяющего требованиям металлургического передела, из измельченных промпродуктов тяжелосреднего обогащения с применением винтовых сепараторов и концентрационных столов. Содержания компонентов в концентрате в среднем составляют Cr_2O_3 – 50.7 %, FeO – 17.9 % при его выходе около 9 % и извлечении в него Cr_2O_3 около 19 % [11].

В процессе укрупнено-лабораторных испытаний в институте «Гипроникель» из хромитовой руды и крупнокускового концентрата Сопчеозерского месторождения, содержащих соответственно 25 и 38.6 % Cr_2O_3 , получен феррохром, соответствующий требованиям ГОСТа [12].

При полупромышленных испытаниях платиносодержащих руд Гальмознанского месторождения достигнуты достаточно высокие показатели разделения руды по чисто гравитационной технологии. Главным достоинством испытанной схемы является получение бедных отвальных хвостов, а также выделение значительной доли платины в богатые концентраты. Поскольку в руде присутствует значительное количество платины в свободном металлическом виде, проведена тщательная зачистка всего оборудования после испытаний. Наиболее богатыми были продукты, выделенные из постели отсадочной машины и из разгрузочного зумпфа стержневой мельницы. Часть наиболее крупных выделений изоферроплатины была отобрана вручную из «головок» доводки и из продуктов зачистки оборудования. Пробирный анализ показал, что в отобранной металлической фракции содержится 85.0 % платины (табл. 1).

В связи с локализацией рудной ассоциации МПГ (изоферроплатины) вблизи скоплений хромитов показана возможность кускового предварительного обогащения платиносодержащих пород массива Гальмознан на рентгенорадиометрическом сепараторе СРФ-2-100/10 на материале частной пробы крупностью $-50 + 20$ мм.

Испытания обогатимости *бакальских сидеритов*, проведенные на полупромышленной установке, позволили определить показатели обогащения по различным технологическим схемам переработки руд Бакальского месторождения и произвести сравнительный анализ технико-экономической эффективности вариантов обогащения.

Таблица 1

Сводные результаты обогащения платиносодержащей руды Гальмознанского месторождения в полупромышленных условиях

Продукт	Выход		СодержаниеPt, г/т	Извлечение Pt, %
	кг	%		
Исходная руда	8220.0	100	1.69	100
Объединенный концентрат	0.680	0.00827	17952	87.91
В том числе металл ручной отборки	0.00676	0.000082	850000	41.38
Промпродукт	60.047	0.7305	14.10	6.10
Отвальные хвосты	8159.27	99.26	0.102	5.99

Сравнение выполнено по двум качественно-количественным схемам разделения руды крупностью $-100 + 6$ мм (обогащение в тяжелых суспензиях, рентгенорадиометрическая сепарация класса $-100 + 30$ мм с отсадкой класса $-30 + 6$ мм) и двум схемам для обогащения руды -6 мм (отсадка класса $-6 + 2$ мм с магнитной сепарацией класса -2 мм и магнитная сепарация отсева -6 мм).

Вариант тяжелосреднего разделения руд крупностью $-100 + 6$ мм и мокрой магнитной сепарации отсева крупностью $-6 + 0.07$ мм обеспечивает наиболее высокие технологические показатели обогащения сидеритовых руд Бакальского месторождения и наименьшую себестоимость получения 1 т концентратов. Выход крупнокускового концентрата, содержащего 31.4 % железа составил 57.9 %, мелкокускового, содержащего 30.2 % железа, — 18.5 %. Суммарное извлечение железа в концентраты — 32.9 %. При этом содержание железа в отвальных хвостах составляет 7.0 %, в хвостах обогащения отмытой руды — 5.4 %. Потери железа со шламами — 2.2 %, потери с хвостами обогащения отмытой руды — 4.9 %. Рентгенорадиометрическая сепарация руд крупностью $-100 + 30$ мм обеспечивает наиболее высокие показатели разделения, однако при невысоком выходе машинного класса $-100 + 30$ мм (25 % от руды) и необходимости обогащения класса $-30 + 6$ мм отсадкой общие показатели обогащения снижаются. Значительным недостатком отсадки является резкое ухудшение показателей разделения при получении более богатых концентратов.

Таблица 2

Химический состав концентратов, полученных из титан-циркониевых песков

Месторождение	Массовая доля, %						
	TiO ₂	ZrO ₂	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe _{общ}
Ильменитовый концентрат							
Центральное	56.31	0.06	1.17	2.18	1.03	0.35	23.62
Бешпагирское	56.00	0.16	2.10	2.36	2.40	0.26	24.00
Рутиловый концентрат							
Центральное	94.16	0.98	—	2.16	0.37	0.18	0.70
Бешпагирское	95.20	0.68	—	1.60	0.57	0.13	0.77
Цирконовый концентрат							
Центральное	1.77	63.82	—	—	0.59	0.38	0.25
Бешпагирское	1.69	64.35	—	—	0.65	0.24	0.25

При тяжелосреднем обогащении алмазосодержащих руд месторождения им. В. Гриба из проб № 1 и № 2 были выделены тяжелые фракции крупностью $-30 + 6$ мм с выходом от исходной руды 0.98 и 0.16 %, крупностью $-6 + 1$ мм — с выходом 1.8 %. Гравитационный анализ продуктов тяжелосреднего обогащения показал, что в тяжелые фракции плотностью более

3.00 г/см³ из проб № 1 и № 2 извлекается не менее 96.4 и 95 % алмазов от исходной руды. Доизмельчение легких фракций крупностью -6+3 мм позволяет повысить сквозное извлечение алмазов до 98 и 97 %.

В результате рентгенолюминесцентной доводки было выделено 0.674 карата и 0.703 карата алмазов из каждой тонны проб № 1 и № 2. При этом масса самого крупного алмаза составила 0.253 карата и 0.478 карата, их размер 3.5 × 3.2 мм и 6.2 × 3.5 мм соответственно.

В результате проведенных испытаний из *титан-циркониевых песков*, содержащих 1.5–1.8 % TiO₂ и 0.3–0.6 % ZrO₂, получены:

- ильменитовый концентрат с содержанием около 56 % TiO₂ и 0.06–0.16 % ZrO₂ с извлечением TiO₂ от руды около 56 %;

- рутиловый концентрат с содержанием 94–95 % TiO₂ и 0.7–0.9 % ZrO₂ с извлечением TiO₂ от руды 18–19 %;

- цирконовый концентрат с содержанием 63–64 % ZrO₂ и 1.7–1.8 % TiO₂ с извлечением ZrO₂ от руды более 80 %.

Химический состав готовых концентратов приведен в табл. 2.

Заключение

Сотрудничество Горного института КНЦ РАН с ведущими научно-исследовательскими и специализированными российскими организациями, позволяющее осуществлять исследования и испытания обогатимости полезных ископаемых с использованием широкого набора методов в лабораторных и опытно-промышленных условиях, обеспечивает разработку наиболее эффективных и наименее затратных технологий обогащения различных видов минерального сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строение и состав руд Сопчеозерского месторождения хромитов / А. С. Галкин [и др.] // Цветные металлы. 2001. № 2. С. 11–15.
2. Назимова Ю. В., Зайцев В. П., Мочалов А. Г. Минералы платиновой группы габбро-пироксенит-дунитового массива Гальмознан южной части Корякского нагорья (Россия) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45, № 6. С. 547–565.
3. Сидоров Е. Г., Осипенко А. Б., Козлов А. П. Хромитовая минерализация в породах мафит-ультрамафитового массива Гальмознан, Корякия (Россия) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46, № 3. С. 235–252.
4. Рудные месторождения СССР / под ред. В. И. Смирнова. М.: Недра, 1974. Т. 1. 327 с.
5. Богачев И. Г. Бакальскому рудопроявлению — 250 лет // Горный журнал. 2007. № 11. С. 13–16.
6. Веричев Е. М., Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П. Геология, состав, условия образования и методика разведки месторождения алмазов — кимберлитовой трубки им. В. Гриба // Изв. вузов. Геология и разведка. 2003. № 5. С. 3–36.
7. Пенделяк Р. Н., Веричев Е. М., Головин Н. Н. Месторождение им. В. Гриба: геологическое строение и алмазоносность // Горный журнал. 2014. № 3. С. 16–21.
8. Быховский Л. З., Зубков Л. Б., Патык-Кара Н. Г. Перспективы промышленного освоения титано-циркониевых россыпей Русской платформы // Руды и металлы. 1996. № 2. С. 28–38.
9. Петров С. В., Аксенова Г. Я. Вещественный состав титано-циркониевых песков Бешпагирского месторождения и технологические свойства главных рудных минералов // Обогащение руд. 2001. № 4. С. 28–31.
10. Титаноциркониевые россыпи Ставрополя — основа создания крупного металлургического комплекса на юге России / Н. Н. Спорыхина [и др.] // Минеральные ресурсы России. 2016. № 1–2. С. 35–41.
11. Марчевская В. В., Мухина Т. Н. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы хрома в России // Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья / под ред. В. А. Чантурия. М.: Руда и металлы, 2008. С. 193–208.
12. Кормилицын С. П., Войханская Н. Л., Мироевский Г. П. Производство феррохрома из руд и концентратов Сопчеозерского месторождения хромитов // Цветные металлы. 2001. № 2. С. 96–99.

Сведения об авторах

Мухина Татьяна Николаевна — кандидат технических наук, заведующий сектором Горного института КНЦ РАН

E-mail: muhina@goi.kolasc.net.ru

Марчевская Валентина Викторовна — кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: vvm@goi.kolasc.net.ru

AuthorAffiliation

Tatyana N. Mukhina — PhD (Engineering), Head of Section of the Mining Institute of the KSC of the RAS

E-mail: muhina@goi.kolasc.net.ru

Valentine V. Marchevskaya — PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher of the Mining Institute of the KSC of the RAS

E-mail: vvm@goi.kolasc.net.ru

Библиографическое описание статьи

Мухина, Т. Н. Сотрудничество Горного института Кольского научного центра РАН с другими организациями при разработке новых технологий / *Т. Н. Мухина, В. В. Марчевская* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 51–61.

Reference

Mukhina Tatyana N., Marchevskaya Valentine V. Cooperation of Mining Institute of the Kola Science Centre of the RAS with Different Organizations for New Technologies Development. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 51–61. (In Russ.).

УДК 504.4:622(470.21)

ПУТИ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

С. В. Терещенко, В. В. Марчевская, Д. Н. Павлишина
ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

Складированные хвосты обогащения являются источником реальной угрозы химического загрязнения окружающей среды многими токсичными элементами. Для решения проблем накопленного экологического ущерба в Арктической зоне РФ одной из первоочередных задач является минимизация складированных отходов горно-обогатительных комбинатов. В этой связи приоритетными направлениями исследований в области переработки минерального сырья следует считать разработку технологий обогащения апатит-нефелиновых руд с минимально возможным складированием отходов в хвостохранилищах. По результатам исследований установлено, что с использованием предконцентрации рядовых апатит-нефелиновых руд одного из месторождений Хибин объем флотационных хвостов, т.е. масса укладываемых хвостов, за год сокращается. По результатам расчетов установлено, что, например, с условием направления всего рудопотока на предконцентрацию при сохранении производительности фабрики по переработке руды масса укладываемых за год хвостов уменьшается на 29 %, срок службы хвостохранилища увеличивается на 40 %.

Ключевые слова:

экология, предконцентрация, хвосты апатитовой флотации, хвостохранилище.

WAYS TO REDUCE NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MINING INDUSTRY

Sergei V. Tereshchenko, Valentine V. Marchevskaya, Daria N. Pavlishina
Mining Institute of the KSC of the RAS

Abstract

Stockpiled beneficiation waste tailings are a source of actual chemical hazard for environment contamination through many toxic elements. When solving problems of accumulated ecological damage in the Russian Arctic zone, one of the primary tasks is to minimize stockpiled mining beneficiation waste. In this regard priority study trends in mineral raw material processing should be development of apatite-nepheline ore beneficiation technologies with minimally possible stockpiling of wastes in tailings. By research results it has been established that use of preconcentration of crude apatite-nepheline ore from one Khibiny deposit has reduced the volume of flotation tails, i. e. mass of tails deposited. By calculation results, it has been established that if all the ore pass were directed to preconcentration on retention of the dressing plant's capacity, mass of tails, deposited per year, would decrease by 29 % and service life of the tailing increase by 40 %.

Keywords:

ecology, preconcentration, apatite flotation tails, tailing.



Складированные хвосты обогащения, как и прочие минеральные отходы горнодобывающих и горно-обогатительных предприятий, следует рассматривать с двух позиций: как техногенные месторождения легкодоступного сырья для извлечения многих ценных компонентов и как

источник реальной угрозы химического загрязнения окружающей среды многими токсичными элементами [1].

Физико-химические воздействия хвостохранилищ на природную среду выражаются в литосферном, гидросферном, аэровоздушном и биологическом загрязнениях. Литосферное загрязнение является следствием утечек пульпы, складирования строительного мусора, металлолома и т. д. Гидросферное загрязнение связано с аварийным поступлением промышленных вод и пульпы в поверхностные водоемы, сбросом сточных вод, смывом загрязняющих веществ с откосов и дамб атмосферными осадками. Аэровоздушное загрязнение в основном обусловлено пылением сухих откосов и поверхностей хвостохранилищ. Биологическое загрязнение проявляется в накоплении макро- и микроэлементов и выражается в болезнях и гибели растительного и животного мира [2].

По возможности восстановления естественных функций природной среды воздействия подразделяются на обратимые и необратимые. Обратимое воздействие предусматривает возможность самовосстановления элементов природной среды или их восстановления при проведении эффективных природоохранных мероприятий. Необратимое воздействие вызывает практически полное нарушение элементов природной среды с необратимыми последствиями для экосистем.

К необратимым воздействиям из класса гидросферного загрязнения относится фильтрация техногенных вод из хвостохранилища, которая приводит к миграции загрязняющих веществ в подземные водоносные горизонты.

Литосферные загрязнения приводят к формированию искусственных ландшафтов, которые являются источниками вторичного загрязнения поверхностных вод и почвенно-растительного покрова на значительных расстояниях и в некоторых случаях проявляются в виде необратимых воздействий.

Наибольшее аэровоздушное загрязнение обусловлено пылением пляжных зон хвостохранилищ, на которых образуются участки со средневзвешенной крупностью частиц 0.08 мм. Эти частицы в результате ветровой эрозии легко уносятся с поверхности на большие расстояния — на 15 и более километров [3].

Постоянные биоморфологические воздействия относятся к обоим типам — обратимым и необратимым. Первые выражаются в восстановлении растительного покрова, вторые — в угнетении и гибели растений на некоторых прилегающих к хвостохранилищу участках [2].

Работа горно-обогатительных предприятий по разработке и обогащению апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений обуславливает загрязнение ландшафта токсичными соединениями фтора, стронция и бария. С учетом коэффициента местной миграции установлено, что в донных отложениях накопление стронция и бария по сравнению с почвами заметно превышено [4].

В соответствии с классификацией химических веществ, попадающих в почву из выбросов, сбросов, отходов, по классам опасности фтор относится к первому классу, стронций и барий — к третьему [5].

Из-за попадания в воду соединений фосфора оз. Имандра, источник питьевого водоснабжения, находится в зоне экологического риска [6].

Хвостохранилища в технологической схеме горно-обогатительных предприятий, ведущих разработку месторождений апатит-нефелиновых руд, являются наиболее опасными объектами, а самым опасным сценарием развития аварии для предприятия, населения и окружающей природной среды является размыв грунтовой ограждающей дамбы, в результате которого образуются потоки в водных системах и локальные ореолы рассеяния химических элементов в почвах. Например, при аварии на хвостохранилище АНОФ-2 ОАО «Апатит», в зону воздействия которой попадают близрасположенное оз. Имандра, имеющее большое природохозяйственное значение, и другие объекты, возможный ущерб может составить несколько триллионов рублей [7].

В связи с накопленными отходами обогащения в хвостохранилищах за весь 75-летний период освоения и эксплуатации Хибинских месторождений (более 800 млн т) и особенностями природы Арктики, проблема накопленного экологического ущерба — одна из основных экологических проблем Арктического региона, и Хибинского рудного района в частности [8]. Для решения проблем накопленного экологического ущерба в Арктической зоне РФ одной из первоочередных задач является минимизация складированных отходов горно-обогатительных комбинатов.

В этой связи приоритетными направлениями исследований в области переработки минерального сырья следует считать разработку технологий обогащения апатит-нефелиновых руд с минимально возможным складированием отходов в хвостохранилищах.

Необходимая емкость хвостохранилища (m^3) определяется из соотношения [9]:

$$V = \frac{Qn}{\eta\rho(1-m)}, \quad (1)$$

где Q — масса укладываемых хвостов за год, т; n — количество лет эксплуатации обогатительной фабрики; η — коэффициент заполнения хвостохранилища; ρ — плотность твердой фазы хвостов, t/m^3 ; m — пористость отложений хвостов, зависящая от средневзвешенной крупности их частиц.

По результатам исследований установлено, что кусковой материал апатит-нефелиновых руд уже после стадии крупного дробления обладает контрастностью по содержанию P_2O_5 , которая характеризует различие кусков по содержанию в них P_2O_5 . Этот факт позволил определить возможность выделения перед процессами глубокого обогащения части пустых и слабоминерализованных пород, т. е. реализовать процесс предконцентрации апатит-нефелиновых руд.

Технологические показатели предконцентрации рядовых апатит-нефелиновых руд рассчитаны с использованием наиболее эффективного для их разделения метода — рентгенолюминесцентного (РЛ) — метода прямого определения апатита (табл. 1).

Таблица 1

Показатели предконцентрации рядовых апатит-нефелиновых руд

Наименование продукта	Выход от руды, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		P_2O_5	$Al_2O_{3\text{общ.}}$	P_2O_5	$Al_2O_{3\text{общ.}}$
Концентрат РЛ-сепарации	63.10	15.52	11.87	96.87	53.37
Хвосты РЛ-сепарации	36.90	0.86	17.73	3.13	46.63
Исходная руда	100	10.11	14.03	100	100

Анализ табл. 1 свидетельствует, что использование РЛ-сепарации позволяет выделить из технологического потока, направляемого на обогащение, более 30 % пород с содержанием P_2O_5 менее 1 %.

Показано, что использование предконцентрации апатит-нефелиновых руд за счет повышения их качества сокращает объем флотационных хвостов и, в соответствии с уравнением (1), способствует увеличению срока эксплуатации хвостохранилища. Результаты расчета срока эксплуатации хвостохранилища для разных вариантов добычи и переработки апатит-нефелиновых руд приведены в табл. 2.

По результатам расчетов установлено, что с условием направления всего рудопотока на предконцентрацию при сохранении производительности рудника по руде по отношению к существующей технологии обогащения руд выпуск кондиционного апатитового концентрата составляет 95 %, масса укладываемых хвостов за год уменьшается на 48 %, при этом срок службы хвостохранилища увеличивается на 91.7 %. При сохранении количества выпускаемого апатитового концентрата масса укладываемых за год хвостов уменьшается на 45 %, срок службы

хвостохранилища увеличивается на 81.5 %. При сохранении производительности фабрики по переработке руды масса укладываемых за год хвостов уменьшается на 29 %, срок службы хвостохранилища увеличивается на 40 %, при этом выпуск апатитового концентрата повышается на 30 %.

Таблица 2

Увеличение срока эксплуатации хвостохранилища ГОК «Олений Ручей»
по отношению к существующей технологии

Вариант технологии переработки	Объем добычи руд	Выпуск апатитового концентрата	Объем флотационных хвостов	Увеличение срока эксплуатации хвостохранилища
Сохранение производительности рудника по руде, %				
Существующая	100	100	100	91.7
С предконцентрацией	100	95	52	
Сохранение выпуска апатитового концентрата, %				
Существующая	100	100	100	81.5
С предконцентрацией	105.6	100	55	
Сохранение производительности обогатительной фабрики по руде, %				
Существующая	100	100	100	40.0
С предконцентрацией	136.9	130	71	

Таким образом, использование процесса предконцентрации руд приводит к сокращению объема флотационных хвостов, способствующему увеличению срока эксплуатации хвостохранилищ, а следовательно, к снижению затрат в хвостовом хозяйстве и уменьшению негативного воздействия горного производства на экологию, которое в настоящее время относится к числу первоочередных задач в решении проблем накопленного экологического ущерба в Арктической зоне России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грехнев Н. И. Минеральные отходы горных предприятий — экономические и экологические проблемы недропользования в Дальневосточном регионе // ГИАБ. 2014. № 7. С. 337–343.
2. Базоев Х. А., Волянский И. В., Бутюгин В. В. Классификация воздействий хвостохранилищ на окружающую природную среду // Обогащение руд. 2007. № 4. С. 34–37.
3. Иванов А. В. Снижение аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха от производственных объектов ОАО «Ковдорский ГОК»: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015. 206 с.
4. Гуляева Н. Г., Кальева О. П. Эколого-геохимическая оценка северотаежных ландшафтов Карело-Кольского региона // Разведка и охрана недр. 2004. № 3. С. 82–87.
5. Журавлева Н. В., Исмаилов З. Р., Ивановкина О. В. Комплексная оценка токсичности отходов горной промышленности с использованием химических, физико-химических и биологических методов // ГИАБ. 2014. № 7. С. 352–361.
6. Дедков Ю. М., Кельина С. Ю. Загрязнение вод соединениями фосфора: экологические аспекты и способы его предотвращения // Экология промышленного производства. 2004. № 2. С. 44–50.
7. Фундератов Ю. В., Свилин В. С. Промышленная безопасность, рациональное использование и охрана недр в ОАО «Апатит» // Горный журнал. 2004. № 11. С. 7–11.
8. Соколов Ю. И. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2 (10). С. 18–27.
9. Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик. М.: Недра, 1965. 504 с.

Сведения об авторах

Терещенко Сергей Васильевич — доктор технических наук, заведующий лабораторией Горного института КНЦ РАН

E-mail: tereshchenko@goi.kolasc.net.ru

Марчевская Валентина Викторовна — кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: vvm@goi.kolasc.net.ru

Павлишина Дарья Николаевна — кандидат технических наук, научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: shibaeva_goi@mail.ru

Author Affiliation

Sergei V. Tereshchenko — Dr. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of the Mining Institute of the KSC of the RAS

E-mail: tereshchenko@goi.kolasc.net.ru

Valentine V. Marchevskaya — PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher of the Mining Institute of the KSC of the RAS

E-mail: vvm@goi.kolasc.net.ru

Daria N. Pavlishina — PhD (Engineering), Researcher of the Mining Institute of the KSC of the RAS

E-mail: shibaeva_goi@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Терещенко, С. В. Пути снижения негативного воздействия горного производства на окружающую природную среду / *С. В. Терещенко, В. В. Марчевская, Д. Н. Павлишина* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 62–66.

Reference

Tereshchenko Sergei V., Marchevskaya Valentine V., Pavlishina Daria N. Ways to Reduce Negative Environmental Impact of Mining Industry. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 62–66. (In Russ.).

УДК 550.388.2; 551.510.535

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ПОПЕРЕЧНОЙ АНИЗОТРОПИИ
МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В F-ОБЛАСТИ
СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ С МОДЕЛЬЮ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВЕТРА
HWM07***

Н. Ю. Романова, Р. Ю. Юрик

ФГБНУ Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Аннотация

Исследуются мелкомасштабные неоднородности электронной плотности в F-области среднеширотной ионосферы. Ориентация поперечной анизотропии Ψ_A -неоднородностей сопоставлена с направлением HWM07 горизонтального ветра для каждого случая. Показано, что неоднородности в перпендикулярной к магнитному полю плоскости вытягиваются вдоль направления горизонтального ветра.

Ключевые слова:

ионосфера, среднеширотная ионосфера, ионосферные неоднородности.

**INVESTIGATION OF THE SMALL-SCALE IRREGULARITIES IN F-REGION
OF MIDDLE-LATITUDE IONOSPHERE**

Natalya Y. Romanova, Roman Y. Yurik

Polar Geophysical Institute of the KSC of the RAS

Abstract

The small-scale irregularities of electron density in F-region of middle-latitude ionosphere have been investigated by using the method which was developed in the Polar Geophysical Institute. The orientation of cross-field anisotropy Ψ_A of small-scale irregularities has been compared with the horizontal wind direction, calculated by the HWM07 model for many cases. It has been shown that the irregularity cross-field anisotropy agrees quite well with the horizontal neutral wind direction.

Keywords:

ionosphere, middle-latitude ionosphere, ionospheric irregularities.



Введение

В работе исследуются пространственные особенности мелкомасштабных неоднородностей F-области ионосферы. Под мелкомасштабными неоднородностями подразумеваются вытянутые вдоль геомагнитного поля неоднородности электронной плотности в F-области ионосферы с пространственными масштабами в нескольких сотен метров поперек магнитного поля. В работе [1] дана классификация этих неоднородностей согласно их соотношению осей. Приведены три типа неоднородностей:

«стержни» ("rods" — соотношение осей $a : 1 : 1$), «крылья» ("wings" — $a : b : 1$ при $a > b$) и «листы» ("sheets" — $a : a : 1$). Приведены также характерные соотношения осей: $5 : 1 : 1$, $10 : 5 : 1$ и $10 : 10 : 1$. Исходя из физических соображений предполагается, что наблюдение стержней более вероятно в высоких широтах, а наблюдение крыльев и листов — в средних широтах. С использованием метода спутникового радиозондирования и математической обработки

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты РФФИ № 16-05-01024 А и № 15-05-02437 А).

радиосигнала [2], разработанного в Полярном геофизическом институте (ПГИ), в работе [3] описаны случаи наблюдения в среднеширотной ионосфере поперечно-анизотропных неоднородностей. Их параметры схожи с параметрами высокоширотных неоднородностей [4]: они вытянуты преимущественно вдоль геомагнитного поля (α) и в некотором направлении перпендикулярно ему (β), т. е. поперечно-анизотропны. При различных геофизических условиях поперечная анизотропия, так же как и в высоких широтах, имеет различную ориентацию (Ψ_A) относительно направления на север. Это сходство позволило предположить существование в средних широтах некоторого механизма, управляющего ориентацией поперечной анизотропии Ψ_A , аналогичного дрейфу плазмы $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ для высокоширотных неоднородностей. Но электрические поля в средних широтах в спокойных условиях малы (1–5 мВ/м), соответственно, незначителен и электромагнитный дрейф, в то время как величина горизонтального нейтрального ветра в ночное время может достигать 200 м/с [5]. Поэтому цель данной работы — сопоставить полученные в работе [3] экспериментальные данные об ориентации поперечной анизотропии Ψ_A с теоретическими расчетами направления горизонтального нейтрального ветра, выполненными на основе модели HWM07 [6, 7].

Методика исследований

В период с 2008 по 2012 гг. ПГИ проводил регулярный прием спутниковых радиосигналов с применением уникальной научной Радиотомографической установки (РТУ) ПГИ КНЦ РАН. В ходе проводимого исследования использовались данные трех приемных станций, расположенных в средних широтах: г. Острогжск (50.87° с. ш.; 39.06° в. д.), г. Ростов-на-Дону (47.21° с. ш.; 39.70° в. д.) и г. Сочи (43.58° с. ш.; 39.77° в. д.). Несмотря на продолжительность периода наблюдений, итоговое количество данных для сопоставления с моделью HWM07 невелико — 110, что составляет ~ 3 % от общего числа сеансов наблюдений. В основном это связано с освещенностью: амплитудные сцинтилляции в спутниковом сигнале (показатель присутствия мелкомасштабных неоднородностей в ионосфере) наблюдались преимущественно в ночное время суток. Затем, интенсивность сцинтилляций (рис. 1) не всегда была достаточной для применения метода определения параметров анизотропии мелкомасштабных неоднородностей [1, 8].

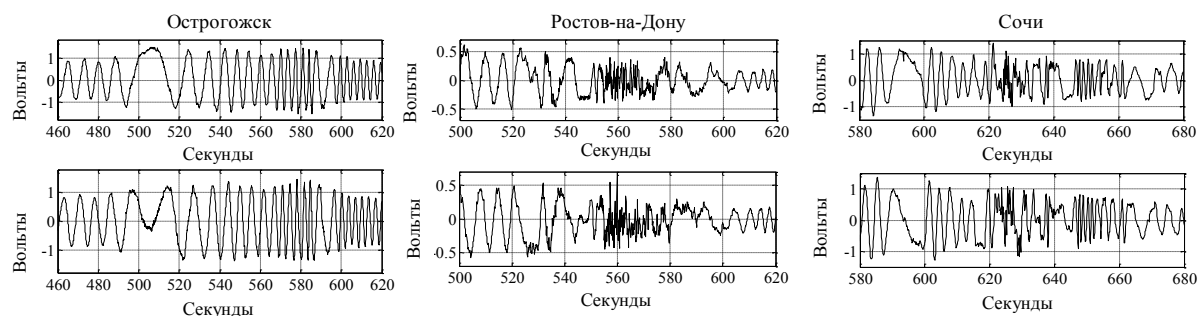


Рис. 1. Участки записи двух квадратурных составляющих спутникового радиосигнала, сделанные тремя станциями во время одного спутникового сеанса 15 июня 2010 г. с началом в 20:38 UT

На рисунке 1 показаны исходные квадратурные составляющие радиосигнала в околосенитной области, по которым можно визуально оценить степень интенсивности сцинтилляций: на станции Острогжск синусоидальная форма радиосигнала практически не искажена, в то время как в радиосигнале станций Ростов-на-Дону и Сочи присутствуют сцинтилляции, существенно искажающие его форму. Вычисленные в этих интервалах и представленные графически значения дисперсии логарифма относительной амплитуды в широтном профиле имеют максимум, в несколько раз превышающий уровень фона (рис. 2, центральный и справа), при интенсивных сцинтилляциях и максимум, близкий к уровню фона (рис. 2, слева), при слабых сцинтилляциях.

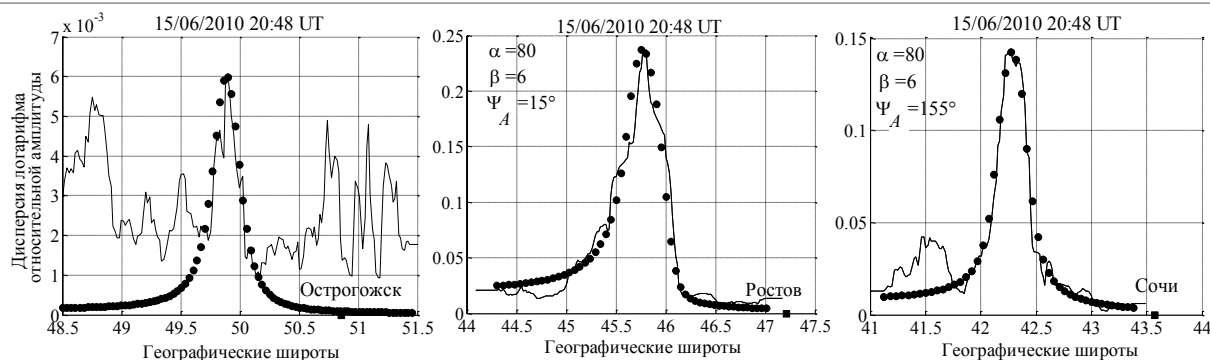


Рис. 2. Экспериментальная (сплошная линия) и теоретическая (кружки) кривые дисперсии логарифма относительной амплитуды, вычисленные по данным рис. 1 для каждой станции. В заголовке указана дата и время регистрации неоднородностей. В левом верхнем углу графиков приведены значения параметров анизотропии

Метод определения параметров неоднородностей состоит в аппроксимации изолированного экспериментального максимума теоретической кривой-моделью путем подбора величин α , β и Ψ_A . Поэтому в первых двух случаях можно достоверно определить параметры неоднородностей, во втором — нет. Аппроксимация показывает, что среднеширотные неоднородности сильнее вытянуты вдоль магнитного поля ($\alpha = 80$), чем поперек ($\beta = 6$). Сходство величин α и β на соседних станциях и небольшое различие между величинами Ψ_A ($\Delta\Psi = 40^\circ$) позволяет предположить однородную структуру ионосферы между станциями Ростов-на-Дону и Сочи.

Рассчитанные в результате анализа сцинтилляций направления ориентации поперечной анизотропии неоднородностей, в дальнейшем сравнивались с направлением нейтрального ветра, рассчитанного моделью HWM07 для этого времени и геофизических условий. Для примера, на рис. 3 показаны результаты сопоставления ориентации Ψ_A мелкомасштабных неоднородностей и направления ветра для данных, полученных на станциях Сочи и Ростов-на-Дону.

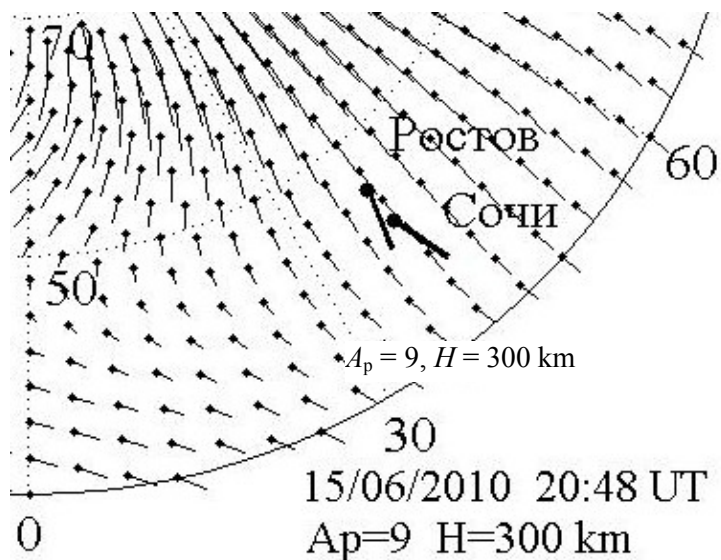


Рис. 3. Случай стационарного потока ветра. Распределение векторов скоростей горизонтального ветра для высоты 300 км, рассчитанное моделью HWM07 (тонкие векторы с точкой в начале вектора), и ориентация поперечной анизотропии (толстые векторы)

В данном случае неоднородности были зарегистрированы в области стационарного потока ветра как в окрестности станций, так и по толщине F -слоя (200–400 км). Различие между ориентацией поперечной анизотропии и направлением ветра в Ростове $\Delta\Psi = 11^\circ$ при $V_W = 86$ м/с и в Сочи $\Delta\Psi = -27^\circ$ при $V_W = 77$ м/с. Очевидно, что модельные векторы соответствуют среднему значению экспериментальных данных. Учитывая этот факт, а также возможные в реальной ионосфере флуктуации потока ветра, приведшие к небольшому различию между значениями Ψ_A соседних станций, можно сделать вывод, что неоднородности вытягиваются вдоль направления ветра.

Результаты

В настоящей работе использован весь объем данных амплитудных сцинтилляций, полученных Радиотомографической установкой в период с июня 2008 г. по март 2012 г. — период проведения исследований в среднеширотной ионосфере. Продолжительность периода исследований была необходима для достоверного определения параметров мелкомасштабных неоднородностей. Из общего числа регистраций были отобраны регистрации, пригодные для дальнейшего анализа сцинтилляций применяемым методом, по которым были исследованы анизотропные мелкомасштабные неоднородности электронной плотности в F -области среднеширотной ионосферы. По результатам численного сопоставления между ориентацией поперечной анизотропии неоднородностей и направлением горизонтального ветра, рассчитанного моделью HWM07, установлено, что в большинстве случаев наблюдается хорошее согласие между экспериментальными и теоретическими данными, т. е. неоднородности ориентированы вдоль направления ветра.

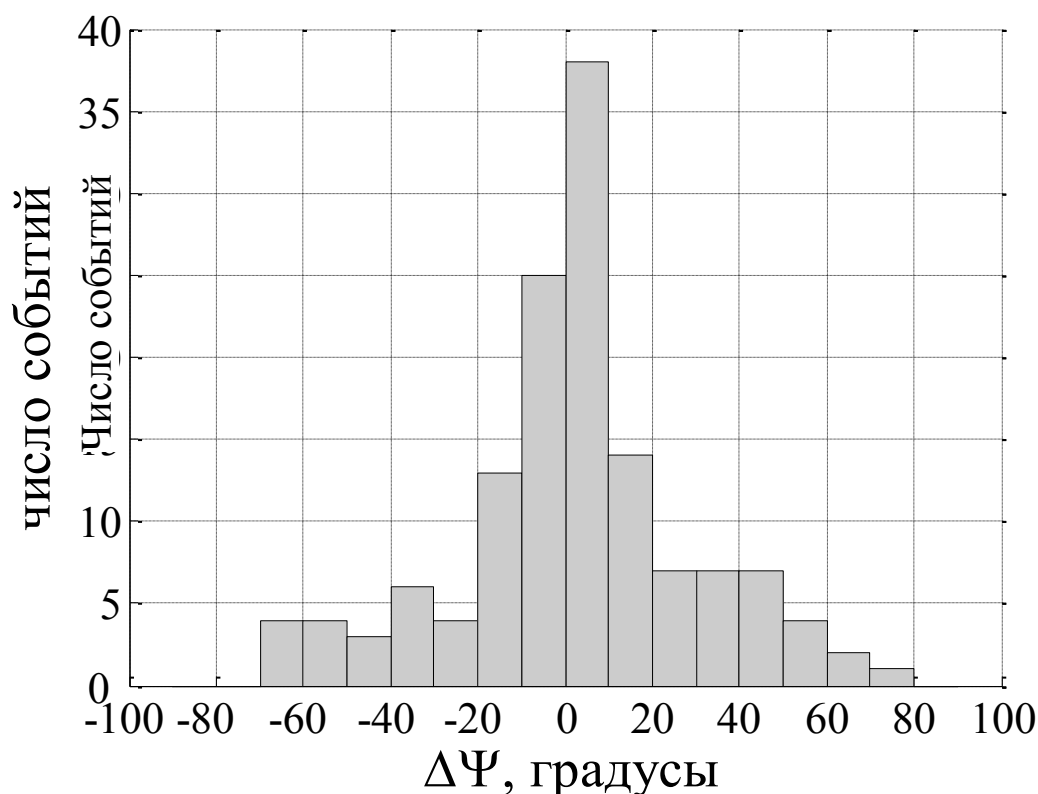


Рис. 4. Гистограмма различий между направлением горизонтального ветра и ориентацией поперечной анизотропии в период с июля 2008 г. по март 2012 г.

На рисунке 4 приведен результат численного сопоставления экспериментальных и теоретических данных за весь период наблюдений. Общее количество сопоставлений 161.

Гистограмма показывает численное различие $\Delta\Psi$ между значением ориентации поперечной анизотропии Ψ_A и направлением горизонтального ветра Ψ_W в каждом конкретном случае. Данные сгруппированы по интервалам с шагом 20° . Положительные величины гистограммы означают, что величина Ψ_A была больше величины Ψ_W . Отрицательные величины означают обратное. Очевидно, что максимум различий находится в интервале $[-20^\circ \div 20^\circ]$ и количество случаев уменьшается с ростом $\Delta\Psi$. Таким образом, наблюдается согласие между направлениями разных явлений, из чего можно заключить, что среднеширотные неоднородности ориентированы вдоль направления ветра.

Выводы

Исследованы мелкомасштабные неоднородности F -области среднеширотной ионосферы с применением уникальной научной установки РТУ ПГИ КНЦ РАН.

Метод определения пространственных параметров неоднородностей, использовавшийся для высокоширотных исследований, применим также в средних широтах. Определены параметры анизотропии ионосферных неоднородностей α , β и Ψ_A .

Показано, что в ряде случаев (в основном в ночных условиях) мелкомасштабные неоднородности в F -области среднеширотной ионосферы поперечно-анизотропны.

Соотношение параметров анизотропии определяется выражением $1 < \beta < \alpha$.

Пространственные параметры неоднородностей варьировали в следующих интервалах: α от 15 до 150; β от 2 до 40.

Соотношение $\beta:\alpha$ варьировалось от 1 : 3 до 1 : 10, в большинстве случаев составляя 1 : 7.

По форме среднеширотные неоднородности схожи с соответствующими высокоширотными неоднородностями.

Благодарности

Авторы благодарны сотрудникам лаборатории радиопросвечивания и уникальной научной установки РТУ Полярного геофизического института за проведение экспериментальных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. The anisotropy of high-latitude nighttime F region irregularities / R. C. Livingston [et al.] // J. Geophys. Res. 1982. Vol. 87, A 12. P. 10519–10526.
2. Anisotropy of ionospheric irregularities determined from the amplitude of satellite signals at a single receiver / E. D. Tereshchenko [et al.] // Ann. Geophysicae. 1999. Vol. 17. P. 508–518.
3. Романова Н. Ю. Определение параметров анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F -области среднеширотной ионосферы // Proc. of XXXVIII Apatity Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena". 2015. P. 157–160.
4. Козлова М. О. Исследование неоднородностей километрового масштаба в F -области высокоширотной ионосферы по данным о мерцаниях спутниковых радиосигналов: дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2002. 120 с.
5. Ишанов С. А., Клевцур С. В., Латышев К. С. Эффекты многомерности в теоретических моделях среднеширотной области F ионосферы // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2011. № 10. С. 33–39.
6. An empirical model of the Earth's horizontal wind fields: HWM07 / D. P. Drob [et al.] // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. doi:10.1029/2008JA013668.
7. DWM07 global empirical model of upper thermospheric storm-induced disturbance winds / J. T. Emmert [et al.] // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. doi:10.1029/2008JA013541.
8. Tereshchenko E. D., Romanova N. Yu., Koustov A. V. VHF scintillations, orientation of the anisotropy of F -region irregularities and direction of plasma convection in the polar cap // Ann. Geophysicae. 2008. Vol. 26. P. 1725–1730.

Сведения об авторах

Романова Наталья Юрьевна — младший научный сотрудник Полярного геофизического института КНЦ РАН

E-mail: romanova@pgi.ru

Юрик Роман Юрьевич — кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией Полярного геофизического института КНЦ РАН

E-mail: roman.yurik@pgi.ru

Author Affiliation

Natalya Y. Romanova — Junior Researcher of the Polar Geophysical Institute of the KSC of the RAS

E-mail: romanova@pgi.ru

Roman Y. Yurik — PhD (Physics and Mathematics), Head of Laboratory at the Polar Geophysical Institute of the KSC of the RAS

E-mail: roman.yurik@pgi.ru

Библиографическое описание статьи

Романова, Н. Ю. Сопоставление ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в *F*-области среднеширотной ионосферы с моделью горизонтального ветра HWM07 / *Н. Ю. Романова, Р. Ю. Юрик* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 67–72.

Reference

Romanova Natalya Y., Yurik Roman Y. Investigations of the Small-Scale Irregularities in *F*-Region of Middle-Latitude Ionosphere. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 67–72. (In Russ.).

УДК 502.64

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИМ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

В. В. Денисов¹, М. В. Светлова²

¹Лаборатория океанографии и радиоэкологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН

²Мурманский арктический государственный университет

Аннотация

Рассмотрен один из подходов к экспертной оценке экологически ориентированного управления морским природопользованием на примере двух наиболее освоенных регионов Западной Арктики — Мурманская и Архангельская (с НАО) области.

Использованы три подсистемы единой природно-экологической системы общего геоэкологического арктического пространства Российской Федерации: природно-экологическая, экономико-экологическая и социально-экологическая. Оценка проведена по альтернативной двухбалльной шкале, результаты обобщены в табличной и графической форме. Использованы современные региональные статистические материалы, выполнен сравнительный анализ возможности экспертного оценивания управления морским природопользованием.

Ключевые слова:

Баренцево море, Мурманская и Архангельская (вместе с НАО) области, социально-экологические системы, геоэкологические координаты, устойчивость социально-экологических систем, управление морским природопользованием.

GEOECOLOGICAL COORDINATES AS AN INSTRUMENT OF EXPERT ESTIMATION OF SUSTAINABILITY IN ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS IN MARINE RESOURCE MANAGEMENT

Vladimir V. Denisov¹, Marina V. Svetlova²

¹ Laboratory of Oceanography and Radioecology of the Murmansk Marine Biological Institute of the KSC of the RAS

² Murmansk Arctic State University

Abstract

An approach to expert estimation of ecosystem-based management has been considered. Two of the most developed West Arctic regions, Murmansk and Arkhangelsk (with Nenets Okrug), were used as a case study. Three subsystems of the united ecological arctic system (natural, economic and social) have been valued on two points alternative score system. The estimation results were generalized using table and graphic forms. The current statistics marine natural management data were used and specified regionally and comparatively.

Keywords:

Barents Sea, Murmansk Oblast and Arkhangelsk (together with NAO) Oblast, social-economic systems, geoecological coordinates, sustainability of social-economic systems, marine resource management.



Введение

Теоретическим основанием для соответствия современным требованиям к управлению природопользованием в прибрежно-морском пространстве может служить понятие социально-экологической системы. Согласно определению, это — многомерная, комплексная система, состоящая из населения и экономики приморских регионов, их управленческих институтов (социальная подсистема) и управляющих ими

процессов (природная подсистема) [1]. Объединение в одном комплексе социальных и природных компонентов в конечном итоге приводит к формированию новых так называемых «обитаемых морских ландшафтов» (peopledseascapes). Их описание требует развития междисциплинарного подхода, который объединил бы экологическую и социальную динамику в постоянно развивающуюся коэволюционную систему, которая необходима для комплексного управления прибрежно-морским природопользованием, что пока остается делом весьма отдаленного будущего.

В настоящей статье на начальном этапе рассмотрения мы предлагаем в рамках адаптивного подхода к управлению морским природопользованием использовать ранее разработанные нами [2] геоэкологические координаты как экспертную оценку геоэкологического пространства (ГП). При этом под ГП мы понимаем комплекс природно-экологических, экономико-экологических и социально-экологических условий и факторов среды. Поскольку комфортная среда обитания человека есть, в идеале, результат устойчивого развития геосистем, т.е. триединого системного целого (природа — экономика — человек), то эколого-географическое положение приморского региона — основа экологически интегрированного управления — рассматривается как степень сравнительной устойчивости развития минимум двух географических объектов (геосистем). При этом эколого-географическое положение региональной геосистемы конкретно определяется с помощью геоэкологических координат — системного показателя комфортности жизни в регионе с позиций сбалансированного развития подсистем природы, экономики, общества (в нашем случае высокоширотных приморских регионах). Область разумного компромисса при этом определяется приоритетами человека как биологического и социального существа при объективных ограничениях, накладываемых на него природой и экономикой.

Методология

Показатели, предложенные нами в качестве геоэкологических координат для Мурманской и Архангельской (вместе с НАО; рис. 1) областей разбиты на три группы, причем для исключения при анализе итоговых суммарных показателей подсистемной неравномерности частных показателей количество координат для каждой из подсистем принято одинаковым (всего по 9 показателей).

Подсистема природы (природно-экологические показатели):

- 1) местоположение региона;
- 2) годовая амплитуда температуры воздуха;
- 3) среднегодовое атмосферное давление, среднегодовая скорость ветра;
- 4) годовая суммарная солнечная радиация;
- 5) биологическая эффективность климата;
- 6) продолжительность безледного периода (в районе крупнейшего порта);
- 7) длина береговой линии (в отношении к длине сухопутной границы);
- 8) водосборная площадь рек и озер (в отношении к общей площади региона);
- 9) доля площади лесов (в отношении к общей площади региона).

Подсистема экономики (экономико-экологические показатели):

- 1) объем валового регионального продукта (ВРП) на душу населения;
- 2) объем инвестиций в основной капитал;
- 3) доля морских отраслей экономики (рыболовство и рыбководство) в объеме ВРП;
- 4) грузооборот крупнейшего порта;
- 5) природоемкость (суммарный объем сбросов, выбросов, отходов в отношении к объему ВРП);
- 6) доля нарушенных земель (в отношении к общей площади региона);
- 7) индекс загрязненности морских вод в районе крупнейшего порта (ИЗВ, класс качества);
- 8) доля отчислений (текущих и капитальных) на охрану окружающей среды (в % от ВРП);

9) доля площади особо охраняемых природных территорий (ООПТ; в отношении к общей площади региона).

Подсистема общества (социально-экологические показатели):

- 1) индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП);
- 2) уровень урбанизации;
- 3) доля населения в приморских поселениях;
- 4) доля населения с высшим образованием;
- 5) доля населения в городах с высоким уровнем загрязнения воздуха;
- 6) доля работников, занятых во вредных и опасных условиях труда (в отношении к общей численности занятых в экономике);
- 7) уровень общей заболеваемости населения (количество случаев на 1 тыс. жителей);
- 8) уровень заболеваемости болезнями органов дыхания (количество случаев на 1 тыс. жителей);
- 9) наличие границ с социально и экономически развитыми, экологически ориентированными странами и регионами.

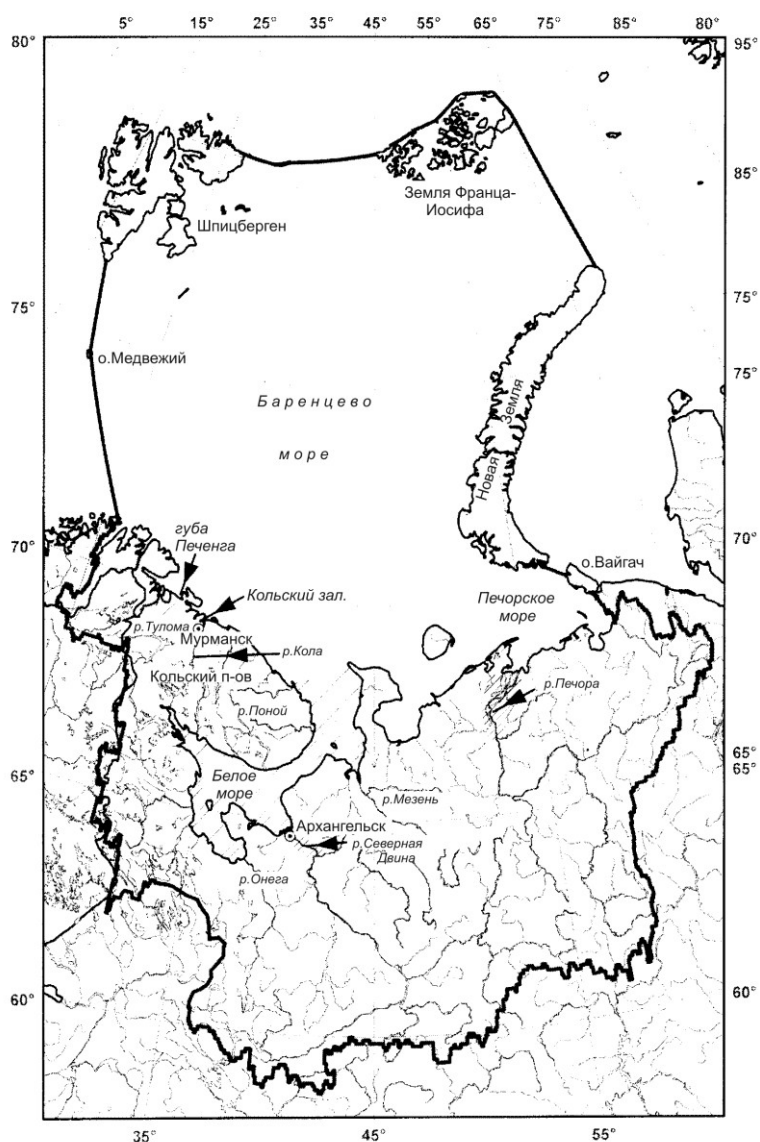


Рис. 1. Географическая область исследования [3]

В первой подсистеме географо-климатические факторы не зависят от деятельности человека и характеризуют объективную реальность. При их количественной оценке использовались в основном среднескользящие характеристики. Строгость и полнота такого описания зависит от содержательного выбора номенклатуры и количества используемых факторов, их информационной доступности, простоты получения и интерпретации. В эту группу входит показатель, характеризующий местоположение региона. Он фиксирует местоположение на земной поверхности и представляет собой физико-математическое определение центра тяжести региона, т. е. точку, в которую условно «сжата» территория региона. Координатами центра тяжести региона являются средняя широта и долгота местности. В качестве экологического данный показатель характеризует широтно-меридиональное расположение.

Во второй и третьей подсистемах рассматривались объективно и субъективно изменяемые индикаторы. Для их количественного выражения применялись данные статистики за конкретный год (как правило и по возможности — на 2014). В группу экономико-экологических показателей нами отнесены экономические и экономико-экологические индикаторы устойчивого развития. В группу социально-экологических показателей отнесены социальные и социально-экологические индикаторы устойчивого развития, среди которых присутствует показатель, отражающий контактную функциональную роль административно-территориальных границ региона.

Для обеспечения возможности сопоставления показателей различных типов они приведены к одинаковому виду путем использования процедуры ранжирования по степени выраженности показателя в баллах с последующим суммированием баллов по подсистемам (X — природа, Y — экономика, Z — общество). Для сравнения двух регионов ранжирование проводилось по двухбалльной шкале. Показатели, отражающие позитивную тенденцию (например доля отчислений на охрану окружающей среды в % от ВРП), ранжировались в прямом порядке, т. е. более высоким (в сравнении двух регионов друг относительно друга) значениям показателя присваивалось 2 балла, более низким значениям — 1 балл, отсутствию значений показателя — 0 баллов. Показатели, отражающие негативную тенденцию (например доля нарушенных земель в отношении к общей площади региона), ранжировались в обратном порядке, т. е. более низким (в сравнении двух регионов) значениям показателя присваивалось 2 балла, более высоким значениям — 1 балл.

Суммарное количество баллов для каждого региона получено путем суммирования баллов по подсистемам.

Экспертная оценка устойчивости региональных эколого-экономических систем проводилась по степени скоординированности значений геоэкологических координат и по степени приближенности региона к цели — устойчивому социально-экономическому развитию.

Степень скоординированности оценивается путем сопоставления максимального отклонения суммарного значения баллов по каждой из подсистем со средним арифметическим.

Степень приближения можно оценить, сопоставляя достигнутый уровень с максимально возможным: по каждой из подсистем он составляет 18 баллов ($9 \times 2 = 18$), а суммарное максимально возможное количество баллов — 54 ($18 \times 3 = 54$). При принятой нами методике ранжирования минимально возможное количество баллов по каждой из подсистем составляет 9 ($9 \times 1 = 9$), а суммарное минимально возможное количество баллов — 27 ($9 \times 3 = 27$). Следовательно, интервал развития находится в промежутке от 27 до 54 баллов. Если этот интервал принять за 100 %, то легко рассчитать какую часть «пути к цели» прошли регионы.

Наиболее благоприятными значениями с точки зрения скоординированности являются равные значения геоэкологических координат по каждой из подсистем (природа, экономика, общество), а идеальная область устойчивого развития представлена значениями координат: $X = 18$, $Y = 18$, $Z = 18$.

Результаты и обсуждение

Значения показателей геоэкологических координат Мурманской и Архангельской (включая Ненецкий автономный округ, архипелаги Новая Земля и Земля Франца-Иосифа) областей и результаты их ранжирования представлены в таблице.

Таблица

Значения и ранги показателей геоэкологических координат Мурманской и Архангельской областей на 2013–2014 гг.

Показатель	Значение показателя	Ранг показателя	Ранг показателя для региона	
			Мурманская обл.	Архангельская обл. (с НАО, арх. ЗФИ и арх. Новая Земля)
Подсистема природы				
Местоположение региона (средняя широта и долгота)	68 ⁰ 30' с. ш. 35 ⁰ 00' в. д.	1	1	2
	65 ⁰ 50' с. ш. 55 ⁰ 00' в. д.	2		
Годовая амплитуда температуры, °С	22.0	2	2	1
	25.0	1		
Среднегодовое атмосферное давление, гПа); среднегодовая скорость ветра, м/с	1001; 6.0	1	1	2
	1009; 4.4	2		
Суммарная солнечная радиация, МДж/м ² в год	2892	1	1	2
	2930	2		
Показатель биологической эффективности климата	12.0	1	1	2
	13.5	2		
Продолжительность безледного периода, дней	365	2	2	1
	189	1		
Длина береговой линии (в отношении к длине сухопутной границы)	1.83	1	1	2
	1.85	2		
Отношение водосборной площади рек к общей площади региона	1.1	2	2	1
	1.6	1		
Доля площади лесов (в отношении к общей площади региона), %	35.4	1	1	2
	37.8	2		
Координата X (суммарное количество баллов)			12	15

Подсистема экономики				
Объем ВРП на душу населения, тыс. руб.	416.6	1	1	2
	454.8	2		
Объем инвестиций в основной капитал, млрд руб.	72.3	1	1	2
	148.1	2		
Доля морских отраслей (рыболовство и рыбоводство) в ВРП, %	8.0	2	2	1
	1.3	1		
Грузооборот крупнейшего порта, млн т	21.9	2	2	1
	4.2	1		
Природоемкость (отношение объемов выбросов, сбросов и отходов в отношении к объему ВРП, кг/руб.	5.93	1	1	2
	1.19	2		
Доля нарушенных земель (в отношении к общей площади региона), %	1.4	1	1	2
	1.2	2		
Индекс загрязненности морских вод в районе крупнейшего порта (ИЗВ, класс качества)	5	1	1	2
	4	2		
Доля отчислений на охрану окружающей среды (в объеме ВРП), %	2.23	2	2	1
	1.12	1		
Доля площади ООПТ, включая морские акватории (в отношении к общей площади территории, %	13.3	1	1	2
	26.3	2		
Координата Y (суммарное количество баллов)			12	15
Подсистема общества				
Индекс развития человеческого потенциала	0.858	1	1	2
	0.869	2		
Уровень урбанизации, %	93	1	1	2
	77	2		

Доля населения в приморских поселениях (в отношении к общей численности населения), %	61.6	1	1	2
	51.4	2		
Доля населения с высшим образованием в общей численности населения, %	22.8	2	2	1
	11.7	1		
Доля населения в городах с высоким уровнем загрязнения воздуха, %	1.57	2	2	1
	32.59	1		
Доля работников, занятых во вредных и опасных условиях труда (в отношении к общей численности занятых в экономике), %	22.8	1	1	2
	22.3	2		
Уровень общей заболеваемости населения, случаев на 1 тыс. жителей	850.3	2	2	1
	1007.5	1		
Уровень заболеваемости населения болезнями органов дыхания, случаев на 1 тыс. жителей	376.2	2	2	1
	440.8	1		
Наличие границ с социально и экономически развитыми, экологически ориентированными странами и регионами	2	2	2	0
	0	0		
<i>Координата Z (суммарное количество баллов)</i>			<i>14</i>	<i>12</i>
Общее количество баллов			38	42

В целом геоэкологические координаты не имеют абсолютных значений, но дают возможность сравнения устойчивости приморских эколого-экономических систем по отношению друг к другу. Наглядно геоэкологическое положение Мурманской и Архангельской областей, зафиксированное при помощи геоэкологических координат, представлено на графике (рис. 2).

Суммарные величины значений показателей геоэкологических координат по подсистемам (природа, экономика, общество) Мурманской и Архангельской областей, а также траектория развития региона (определенная как суммарный вектор по правилу параллелограмма),

отражающая степень сбалансированности развития природной, экономической и социальной составляющих региональной приморской эколого-экономической системы, отражены на рис. 2.

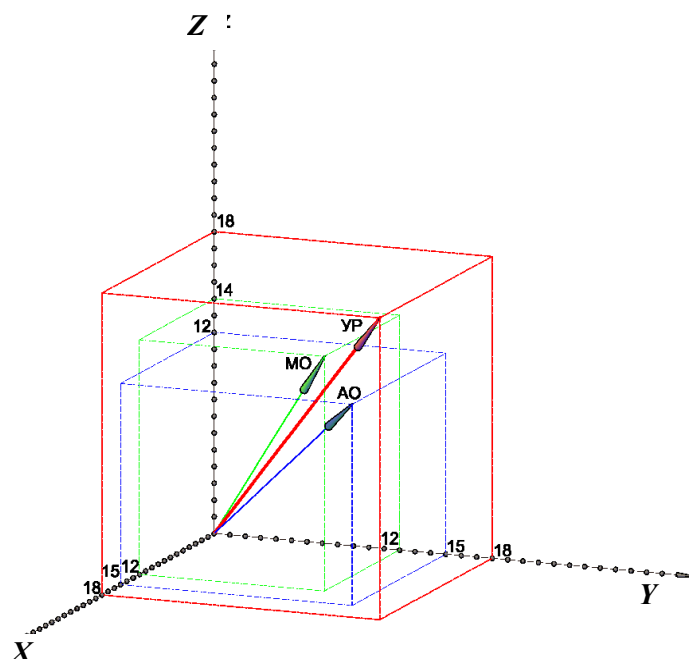


Рис. 2. Графическое представление геозоологического положения Мурманской области по отношению к Архангельской области

Для удобства сравнения показателей геозоологических координат по подсистемам (природа, экономика, общество) Мурманской и Архангельской областей их значения представлены на диаграмме (рис. 3).

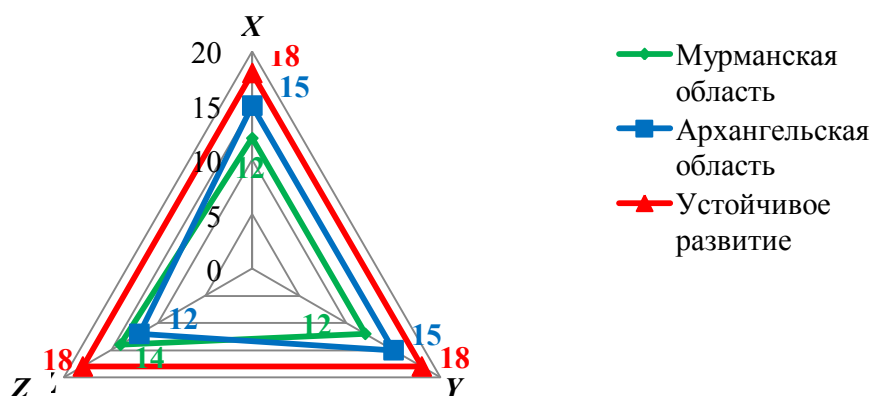


Рис. 3. Графическое представление значений показателей геозоологических координат по подсистемам (природа, экономика, общество) Мурманской и Архангельской областей

Анализ графика (рис. 2) и диаграммы (рис. 3) показал, что при сравнении двух регионов по природно-экологической составляющей Мурманская область отстает от Архангельской.

При этом оба региона находятся в сходных климатических и природных условиях Европейского Севера России.

Так, местоположение и климат Мурманской области не являются благоприятными с точки зрения комфортности природных условий для здоровья человека, но смягчающее влияние теплого течения на климат и отсутствие ледового периода в течение года являются благоприятными с точки зрения хозяйственного освоения территории суши и морских пространств, способствующими социально-экономическому развитию региона. С точки зрения атмосферного и гидроэкологического взаимодействия Мурманской области с ближними и дальними соседями положение области является относительно неблагоприятным. Такое положение обусловлено трансграничным поступлением загрязнений на территорию области и акваторию Баренцева моря посредством воздушной и морской адвекции из районов Европы и Америки. В то же время на территорию области не поступают загрязнения с соседних территорий с речным стоком. Негативным фактором с экологической точки зрения является относительно небольшая площадь лесов по отношению к общей площади области, играющих важную роль в сохранении биоразнообразия региона.

При сравнении двух регионов по экономико-экологической составляющей Мурманская область уступает Архангельской по уровню экономического развития, важнейшими индикаторами которого являются показатели объема ВРП на душу населения и объема инвестиций в основной капитал. Высокие значения данных показателей в Архангельской области в значительной степени обусловлены вкладом нефтегазовой отрасли Ненецкого автономного округа в ВРП региона и ее инвестиционной привлекательностью. Так, в 2013 г. [4, 5] объем ВРП Ненецкого автономного округа по добыче полезных ископаемых составил 95.5 % в объеме ВРП Архангельской области по данному виду экономической деятельности, а в общем объеме ВРП региона — 25.5 %. Объем инвестиций в основной капитал округа оставил более половины от общего объема аналогичного показателя региона в целом. При этом доля инвестиций в основной капитал по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых» в общем объеме инвестиций в основной капитал Архангельской области составила около 40 % (по данным на 2012 г.) [5].

В то же время Мурманская область отличается более высокой долей морского сектора экономики, вносящего значительный вклад в ВРП региона. Морская деятельность является важным фактором устойчивого развития приморских эколого-экономических систем, сопряженным с развитием морского транспорта, рыболовства и рыбоводства, добычей углеводородного сырья шельфовой зоны, туризмом и рекреацией. Для отражения данного показателя нами представлена только одна, но важная, отрасль экономики (рыболовство и рыбоводство) в силу наличия статистических данных. Статистическая информация о морской деятельности РФ входит составными частями в отраслевые разделы ежегодных статистических сборников Росстата, а также в статистические отраслевые издания, в которых явно представлены данные только по двум отраслям морехозяйственного комплекса — морским перевозкам и промышленному рыболовству, и то в виде, неудобно структурированном для исследований общих проблем морской деятельности. Сбор и публикация статистической информации по прочим функциональным направлениям не входит в ежегодный план регулярных работ Росстата [6]. Опосредованным фактором морской деятельности служит показатель «Грузооборот крупнейшего порта», который выбран нами для того, чтобы показать значение морской транспортной отрасли для экономики региона.

Рыбодобывающая отрасль — одна из традиционных отраслей экономики Мурманской области. В видовом составе уловов преобладают донные рыбы — треска и пикша, в небольших количествах, преимущественно в виде прилова, добываются палтус, зубатка, камбала. В 2014 г. [5] показатель добычи (производства) рыбной продукции (рыба живая, свежая или охлажденная) в области составил 41.9 тыс. т (для сравнения: в Архангельской области, включая НАО, — 2.3 тыс. т).

Крупнейший порт области — Мурманский морской порт (ММП) — является единственным незамерзающим глубоководным портом европейской части России (максимальная осадка принимаемого судна не ограничена), обеспечивающим круглогодичную навигацию и прямой выход в Мировой океан на мировые торговые пути. Два других порта Мурманской области — Кандалакшский, специализирующийся на перевалке сыпучих грузов, и Витино, специализирующийся на перевалке нефтепродуктов.

Архангельский морской порт не такой глубоководный и мощный, как Мурманский (максимальная осадка принимаемого судна — 9,2 м). В период, когда море замерзает, поддержание судоходства в Архангельском порту возможно только с помощью ледоколов. Порт Ненецкого автономного округа — Варандей (максимальная осадка принимаемого судна у нефтеналивного терминала — 14 м) — является замерзающим и не имеет связи с железнодорожной сетью России, так как ориентирован на экспорт нефти и нефтепродуктов.

В 2014 г. грузооборот ММП составил 21,9 млн т (для сравнения: грузооборот Архангельского морского порта — 4,2 млн т, порта Варандей — 5,9 млн т). По сравнению с 2013 г. грузооборот ММП снизился на 6,7 млн т, Архангельского морского порта — на 0,3 млн т, порта Варандей повысился на 0,55 млн т. Снижение показателей связано с уменьшением перевалки нефти, а также с тем, что существующей инфраструктуры не достаточно для перевалки угля. Это касается не только портовых мощностей, но и подъездных железнодорожных путей, в результате чего часть грузов уходит в зарубежные порты. Основная причина повышения грузооборота порта Варандей — рост перевалки нефтепродуктов и сжиженного природного газа, направляющегося на экспорт, несмотря на снижение добычи нефти на Варандейском месторождении.

В то же время функционирование промышленности и хозяйства Мурманской области сопряжено с высоким уровнем антропогенного прессинга на окружающую природную среду. Для области характерна высокая природоемкость отраслей промышленности, значительные объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, объемы сбросов сточных вод в водоемы (в том числе в омывающие моря) и объемы отходов производства и потребления, в которых превалирует доля отходов горнопромышленного комплекса (ГПК; 99,8 %) [7]. С деятельностью данных предприятий связана и значительная доля нарушенных земель, большую часть которых представляют техногенные пустоши вокруг предприятий ГПК. Локальными источниками загрязняющих сбросов в Кольский залив являются: портово-промышленный и коммунальный комплексы Кольского залива (нефтяные углеводороды, тяжелые металлы, ПХБ, СПАВ и др.); транспортные, рыбопромысловые и военные суда (нефтяные углеводороды, ПХБ, хозяйственно-бытовые сбросы); инфраструктура морских нефтеперевозок (нефтяные углеводороды, риски аварийных разливов и утечек). По данным на 2014 г. [7], по комплексной шкале оценки воды Кольского залива относятся к пятому классу качества и характеризуются как грязные.

Негативным фактором является также невысокая доля ООПТ в общей площади Мурманского региона. Хотя доля ООПТ в Мурманской области примерно соответствует доле ООПТ в таежной и тундровой зонах мира, однако она в 2–3 раза ниже, чем в регионах развитых стран, расположенных в сходных природно-климатических условиях и ориентированных на развитие природного туризма (губерния Лапландия Финляндии (25 %), северные провинции Канады, Норвегия (30,5 %)) [8]. Более весомая доля ООПТ в Архангельской области обусловлена вкладом обширных территорий и акваторий национального парка «Русская Арктика» (арх. Новая Земля) и комплексного заказника «Земля Франца-Иосифа» (арх. Земля Франца-Иосифа).

В сравнении с Архангельской областью доля затрат на охрану окружающей среды в Мурманской области выше, но размер выделенных отчислений не позволяет пока в должной мере справляться с экологическими проблемами региона, что, несомненно, свидетельствует об актуальности данного вопроса для органов управления регионом.

При сравнении двух регионов по социально-экологической составляющей Мурманская область лидирует, несмотря на незначительное отставание от Архангельской области по ИРЧП.

Известно, что ИРЧП складывается из трех индексов: долголетия, дохода и образования. Более высокие значения ИРЧП в Архангельской области связаны с вкладом НАО в индекс дохода региона, а также с более высокой долей учащихся в возрасте от 7 до 24 лет в регионе, определяющей индекс образования. В то же время ожидаемая продолжительность жизни, а следовательно, и индекс долголетия, в Мурманской области выше, чем в Архангельской.

Уровень общей заболеваемости, в том числе заболеваемости болезнями органов дыхания, в Мурманской области ниже в сравнении с Архангельской. Однако большинство показателей заболеваемости несколько выше при сравнении со среднероссийскими показателями, что связано со значительным уровнем загрязнения окружающей среды. Так, в 2014 г. [5] в Мурманской области общее число заболеваний в 1.08 раз превышало среднероссийские показатели, в том числе болезнями органов дыхания — в 1.12 раз. В то же время в 2014 г. в сравнении с 2013 г. в Мурманской области общее число заболеваний снизилось в 1.06 раз, в том числе число заболеваний болезнями органов дыхания — в 1.02 раза.

Доля населения, проживающего в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, в Мурманской области также ниже, чем в Архангельской.

В целом, по данным наблюдений за 2014 г. [7], промышленные центры и города Мурманской области входят в число городов России с низким уровнем загрязнения, за исключением пос. Никель, в атмосферном воздухе которого отмечалось трислучая высокого содержания диоксида серы, превышающего максимальную разовую концентрацию ПДК в 10 раз. Повышенные и высокие разовые концентрации зарегистрированы преимущественно при НМУ: ветра северо-восточного направления, штили, застои воздуха, обусловленные температурными инверсиями в приземном и приподнятом слоях.

В городах Архангельской области (Архангельске, Коряжме) в 2014 г. [9] отмечалось повышенное содержание в воздухе загрязняющих веществ, выраженных через превышение ПДК по отдельным загрязнителям. Территория Ненецкого АО не относится к территориям риска по высоким уровням загрязнения атмосферного воздуха.

Однако удельный вес численности работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда, в отношении к общей численности населения, занятого в экономике, в Мурманской области несколько выше, чем в Архангельской. При этом в рассматриваемых видах экономической деятельности — добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства; производство и распределение электроэнергии, газа и воды; строительство; транспорт и связь — доля работающих во вредных и опасных условиях труда в Мурманской и Архангельской областях составляет 59.1 и 52.7% соответственно.

Негативным фактором также является высокий уровень урбанизации и значительная доля населения, проживающая в приморских поселениях, обуславливающие повышенный уровень антропогенной нагрузки на прибрежные зоны.

Благоприятным фактором для Мурманской области является соседство с социально и экономически развитыми, экологически ориентированными странами — Норвегией и Финляндией, который способствует ориентации области на высокие стандарты качества жизни и окружающей среды.

Заключение, выводы

Результаты оценки по степени скоординированности развития в сравнении двух регионов показали, что значения геоэкологических координат по подсистемам природы, экономики и общества у Мурманской области незначительно различаются (подсистема природы $X = 12$, подсистема экономики $Y = 12$, подсистема общества $Z = 14$), при этом среднее арифметическое составляет 12.66 баллов, максимальное отклонение от которого — 2 балла ($14 - 12.66 = 1.34$). В то время как у Архангельской области различия более значительные (среднее арифметическое составляет 14 баллов, максимальное отклонение — 2 балла). Однако суммарное значение геоэкологических координат у Мурманской области ниже, чем у Архангельской. Так, сумма значений геоэкологических координат для Мурманской области составляет 38 баллов, для

Архангельской области — 42 балла. При этом степень приближенности к идеальной области устойчивого развития Мурманской области составляет 46.91 %, Архангельской — 51.85 %.

Таким образом, в сравнении двух регионов траектория развития Мурманской области более скоординирована, но менее приближена к цели — устойчивому социально-экономическому развитию.

Предложенный метод имеет свои недостатки. По причине субъективности, что вполне очевидно, для перехода к более сложной, более дробной шкале рассмотрения геоэкологических координат, например перехода с двухступенчатой шкалы на трехступенчатую и далее, необходимо выделить какие-то объективные критерии при дроблении интервалов. При этом возникает потребность соотнесения промежуточных значений геоэкологических координат, например ВРП, с показателями, например, в более развитых странах или со среднестатистическими показателями. В других случаях можно сравнивать с идеальными значениями. Например, доля населения, проживающего в городах с высоким загрязнением воздуха, должна быть нулевая, потому что в идеале воздух должен быть чистым. И так далее.

В общем, метод более объективно работает там, где каждая координата может «опереться» на объективные значения, а не колебаться в ещё более субъективном поле выбора каких-то произвольных значений (суждений). Поскольку суть определения географического положения, а с ним и ориентация в геоэкологическом пространстве вектора направления движения экологически ориентированного управления, более успешно работает не только в тех случаях, когда все геоэкологические координаты рассматриваются как объективные характеристики, но и тогда, когда число рассматриваемых геосистем равняется числу географических регионов. Именно в таких случаях обеспечивается и геоэкологическое, и географическое сравнение отдельных территорий (акваторий).

В целом рассмотренный метод имеет право на существование как первое приближение к оценке очень сложных объектов управления — объединенных морских социально-экологических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ecosystem-based management for oceans / ed. by Karen McLeod and Heather Leslie. Washington: Island Press, 2009. 368 p.
2. Денисов В. В., Светлова М. В. Актуальные проблемы эколого-географического положения Мурманской области // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 20. С. 187–193.
3. Денисов В. В. Комплексное управление прибрежными зонами — КУПЗ // Основные концепции современного берегопользования // Природохозяйственные концепции. 2009. Т. 2. С. 224–286.
4. Доклад губернатора Ненецкого автономного округа Фёдорова И. Г. о социально-экономическом положении в округе, включающий основные направления бюджетной и налоговой политики. 16.07.2016 г. [Электронный ресурс] // Ненецкий автономный округ: офиц. сайт. URL: <http://adm-nao.ru/press/governor/867/> (дата обращения: 12.07.2016).
5. Росстат: офиц. сайт. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 12.08.2016).
6. Теория и практика морской деятельности. Серия научных публикаций / под ред. Г. К. Войтоловского. М.: СОПС. 2007. 304 с.
7. Ежегодные доклады о состоянии окружающей среды Мурманской области Государственного комитета по охране окружающей среды Мурманской области (1997–2015 гг.) [Электронный ресурс] // Правительство Мурманской области: офиц. портал. URL: <http://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения: 10.08.2016).
8. Barentsinfo.org: site. URL: <http://www.barentsinfo.org/Contents/Nature/Protected-areas> (accessed: 10.07.2016).
9. Ежегодные доклады о состоянии и охране окружающей среды Архангельской области [Электронный ресурс] // Правительство Архангельской области: офиц. сайт. URL: <http://old.dvinaland.ru/ecology/monitoring/> (дата обращения: 15.06.2016).

Сведения об авторах

Денисов Владимир Васильевич — доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории океанографии и радиоэкологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН

E-mail: denisov@mmbi.info

Светлова Марина Всеволодовна — кандидат географических наук, доцент кафедры естественных наук Мурманского арктического государственного университета

E-mail: marina-svetlova@bk.ru

Author Affiliation

Vladimir V. Denisov — Dr. Sci. (Geography), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Oceanography and Radioecology of the Murmansk Marine Biological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: denisov@mmbi.info

Marina V. Svetlova — PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Natural Sciences of Murmansk Arctic State University

E-mail: marina-svetlova@bk.ru

Библиографическое описание статьи

Денисов, В. В. Геоэкологические координаты как инструмент экспертной оценки устойчивости эколого-экономических систем при решении задач управления морским природопользованием / *В. В. Денисов, М. В. Светлова* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 73–85.

Reference

Denisov Vladimir V., Svetlova Marina V. Geoecological Coordinates as an Instrument of Expert Estimation of Sustainability in Ecological-Economic Systems in Marine Resource Management. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 73–85. (In Russ.).

УДК 211.98+268(45):210.73:502.35

МОРСКОЕ ПРОСТРАНСТВО ТРАНСАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СЕВМОРПУТИ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ БОЛЬШИХ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Г. Г. Матишов, В. В. Денисов, С. Л. Дженюк, А. П. Жичкин
ФГБУН Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Рассмотрена роль зоны Севморпути как объекта арктического морского пространства в рамках концепции больших морских экосистем (БМЭ) с точки зрения её делимитации и информационного обеспечения. Дана оценка современных изменений ледяного покрова как ведущего природного фактора в зоне Севморпути. Проведен анализ информационных ресурсов по отраслям морской деятельности. Подчеркнута важность концепции БМЭ как начальной стадии функционального анализа и долгосрочного прогноза развития Севморпути.

Ключевые слова:

Арктика, Баренцево и Карское моря, море Лаптевых, Северный морской путь, большие морские экосистемы, информационное обеспечение.

MARINE BODY OF THE NORTHERN SEA ROUTE TRANSARCTIC ZONE WITHIN THE CONCEPT OF LARGE MARINE ECOSYSTEMS

Gennady G. Matishov, Vladimir V. Denisov, Sergey L. Dzhenyuk, Alexander P. Zhichkin
Murmansk Marine Biological Institute of the KSC of the RAS

Abstract

The role of the Northern Sea Route zone as an object of Arctic marine body in the framework of the large marine ecosystems (LME) concept in terms of delimitation and information support, has been considered. The estimation of modern ice cover changes as a leading natural factor in the Northern Sea Route zone is given. Information resources of maritime industry activities have been analyzed. Practical recommendations for the optimization of information support in the Northern Sea Route zone are given. The importance of the LME concept as an initial stage of functional analysis and long-term prognosis of the Northern Sea Route in the upcoming decades has been accented.

Keywords:

the Arctic, Northern Sea Route, ice cover, large marine ecosystems, information support.

Введение

В последние годы развитие Российской Арктики стало одним из приоритетных направлений государственной политики. Это связано с освоением ее ресурсного потенциала, перспективами развития Севморпути как национального и глобального транспортного коридора, обострением геополитических противоречий. Большое значение для Арктики имеют современные климатические изменения, которые существенно сказываются на состоянии ее природной среды, возможностях и эффективности экономической деятельности.

Проблемы Арктики постоянно обсуждаются на экономических и научных форумах разных уровней, по ним вырабатываются (хотя нередко с недопустимыми промедлениями) законодательные и организационные решения. Тем не менее многие вопросы освоения Арктики требует дальнейшего обсуждения. Это, прежде всего, относится к морской деятельности, которая в Арктике тесно смыкается с наземной и в то же время имеет собственную географическую основу — трансарктическую зону Севморпути.

Комплексному изучению природы и хозяйства Севморпути посвящен ряд работ, среди которых наиболее полной является монография [1]. Научно-экспедиционный мониторинг в зоне

Севморпути длительное время проводится ММБИ [2, 3]. Обоснованы требования к проведению комплексных эколого-экономических исследований этой зоны [4, 5].

В качестве методической основы управления морским природопользованием в настоящее время признана теория больших морских экосистем (БМЭ). Применительно к арктическим морям экосистемный подход должен учитывать специфику природной среды (особенно ледяной покров как важнейший экологический фактор), тенденции климатических изменений, состояние биоресурсов и чувствительность экосистем к антропогенным воздействиям. В данной работе мы рассмотрим важнейшие, по нашему мнению, аспекты экосистемного управления в Арктике: делимитацию морского пространства, современные тенденции изменений морской среды, задачи информационного обеспечения.

Морское пространство Севморпути как объект управления

Согласно общему определению, Северный морской путь — водное пространство, прилегающее к северному побережью Российской Федерации, охватывающее внутренние морские воды, территориальное море, прилежащую зону и исключительную экономическую зону Российской Федерации и ограниченное с востока линией разграничения морских пространств с Соединенными Штатами Америки и параллелью мыса Дежнева в Беринговом проливе, с запада меридианом мыса Желания до арх. Новая Земля, восточной береговой линией арх. Новая Земля и западными границами проливов Маточкин Шар, Карские Ворота, Югорский Шар [1].

Фактически в географическом понимании это арктические моря: Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, т. е. моря, в которых главным препятствием для судоходства выступает, как правило, постоянное присутствие на маршрутах движения судов ледяного покрова различной степени пространственно-временного распространения, что обуславливает необходимость сопровождения плавания специальными судами — ледоколами, которые помогают транспортным судам успешно и безопасно выполнять функции по перемещению необходимого продукта из одного пункта в другой. Будучи важнейшей транспортной магистралью, Севморпуть обеспечивает весь российский Крайний Север необходимыми для экономического развития страны и жизнедеятельности её людей предметами производственного и бытового назначения. В последние годы увеличился транзитный поток грузов из Европы в Азию, что создает многообещающие перспективы превращения Северного морского пути в международную транспортную магистраль.

В экономике Арктического региона можно выделить две основных компоненты: минерально-сырьевую и биолого-ресурсную. При этом нельзя полностью согласиться с авторами аналитического доклада «Современная ситуация в Арктической зоне РФ» в том, что минерально-сырьевой сектор имеет макроэкономические масштабы, в то время как биолого-ресурсный — локальный характер производственных процессов и еще не вышел за пределы локальных рынков [6]. В этом мнении сказались традиционные для специалистов Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ФГБУ «АНИИ») понимание Арктической зоны РФ как зоны, в рамках которой пролегает Севморпуть. Между тем в литературе отмечается, что «промысловой житницей» Арктики считаются Баренцево, Гренландское и Берингово моря, а эксплуатация водных ресурсов Арктической зоны России обеспечивает 23 % общероссийских уловов рыбы и других морепродуктов [1]. Поэтому современная Арктика — стратегическая ресурсная область Земли, которая в настоящих условиях играет важную роль в жизни всего человечества.

За истекшие 10 лет (доклад [6] готовился в 2006 г.) природные условия в Арктике заметно смягчились, в первую очередь с точки зрения суровости ледовых условий (см. ниже). Но общая комфортность арктической природы не стала более приемлемой. На фоне общего потепления и смягчения ледовой обстановки в Арктике климат стал более изменчивым и менее предсказуемым, по своему характеру — более циклоническим, возросли погодные аномалии.

Подробный анализ причин этих изменений не входит в задачу нашего исследования, хотя этот вопрос волнует всех арктических исследователей.

Задача настоящей статьи состоит в рассмотрении зоны Северного морского пути как объекта арктического морского пространства в рамках современной концепции Больших морских экосистем (БМЭ) с точки зрения её информационного обеспечения. В первую очередь нас будет интересовать необходимость комплексного, интегрированного, т. е. системного, рассмотрения этой проблемы.

Концепция БМЭ для Арктики, на первый взгляд, не столь привлекательна с точки зрения её эколого-географической специфики как одной из основных биоресурсных провинций Мирового океана, для анализа которых она была первоначально предложена, а потом развита [7–9]. Но в современных, меняющихся арктических условиях применение этой концепции в силу её комплексности и гибкости оказывается актуальным по целому ряду причин.

Во-первых, Арктика предъявляет более высокие требования к сохранению её морских экосистем, в том числе при рассмотрении вопросов судоходства [10, 11]. Поэтому уже на протяжении более 10 лет (с 2005 г.) ключевой идеологией управления арктическими морскими экосистемами в рамках стратегического плана Арктического совета (Arctic Council — высший межправительственный орган по обеспечению межправительственного сотрудничества арктических стран) и на новый период с 2015 по 2025 гг. остается экосистемно-ориентированный подход (ecosystembasedmanagement), или ЭОУ [11]. Ещё в 2005 г. экспертная группа по ЭОУ этого Арктического совета в рамках такого же плана на предыдущее десятилетие приняла следующее определение: экосистемно-ориентированное управление — это новый комплексный подход к управлению многообразной антропогенной деятельностью, который рассматривает всю экосистему целиком, включая человеческий фактор. При этом конечной целью ЭОУ всегда остается поддержка экосистем в здоровом, продуктивном, но одновременно эластичном состоянии, т. е. способном быстро восстанавливаться в исходное (доимпактное) состояние [12].

Во-вторых, в 2013 г. Арктический совет включил в зону своего рассмотрения 18 арктических БМЭ, которые по своим эколого-географическим характеристикам существенно различаются (рис. 1).

Несмотря на то что одни из них, например БМЭ Баренцева моря (№ 5) и БМЭ Берингова моря (№ 9, 10, 11) преимущественно биоресурсные, а БМЭ Карского моря (№ 6) и моря Лаптевых (№ 7) — минерально-сырьевые, именно эти арктические экосистемы играют решающую роль в обеспечении человечества экосистемными услугами, в первую очередь, обеспечивающими и регулируемыми (рис. 2) [12, 13]. С точки зрения арктической парадигмы российского освоения Арктики стремление к сохранению дикой природы, живой и неживой, полностью совпадает с мировым трендом развития науки и практики. Это внутренне противоречивое по смыслу требование как нельзя лучше подходит к такому сложному эколого-экономико-социальному комплексу, как Северный морской путь [1].

При анализе Севморпути как сложной организационно-управленческой системы мы должны рассматривать не только собственно морские части экосистем, но и прибрежные их части, включая устьевые участки, участки портов и разнообразной инфраструктуры. Поэтому с точки зрения функционального зонирования СМП следует воспринимать расширительно как существенную часть Арктической зоны России. Тогда пятиблочная структура БМЭ, где об ЭОУ как о сложнейшем структурном звене выше говорилось, усложняется добавлением к ней понятия КУПЗ, т. е. комплексного управления прибрежными зонами. Наиболее приемлемым КУПЗ может служить определение, данное, например, в [14], а комплексная оценка водных проблем Баренц-региона изложена в [15]. Как видно из этой публикации, Баренц-регион включает, помимо Белого моря, все реки в пределах водосбора Баренцева и Белого морей [15] (рис. 3).



Рис. 1. Большие морские экосистемы Арктики (LME), одобренные Арктическим советом



Рис. 2. Взаимодействие между социальным и экологическим морскими пространствами как ключ к пониманию потоков обмена между экосистемными услугами

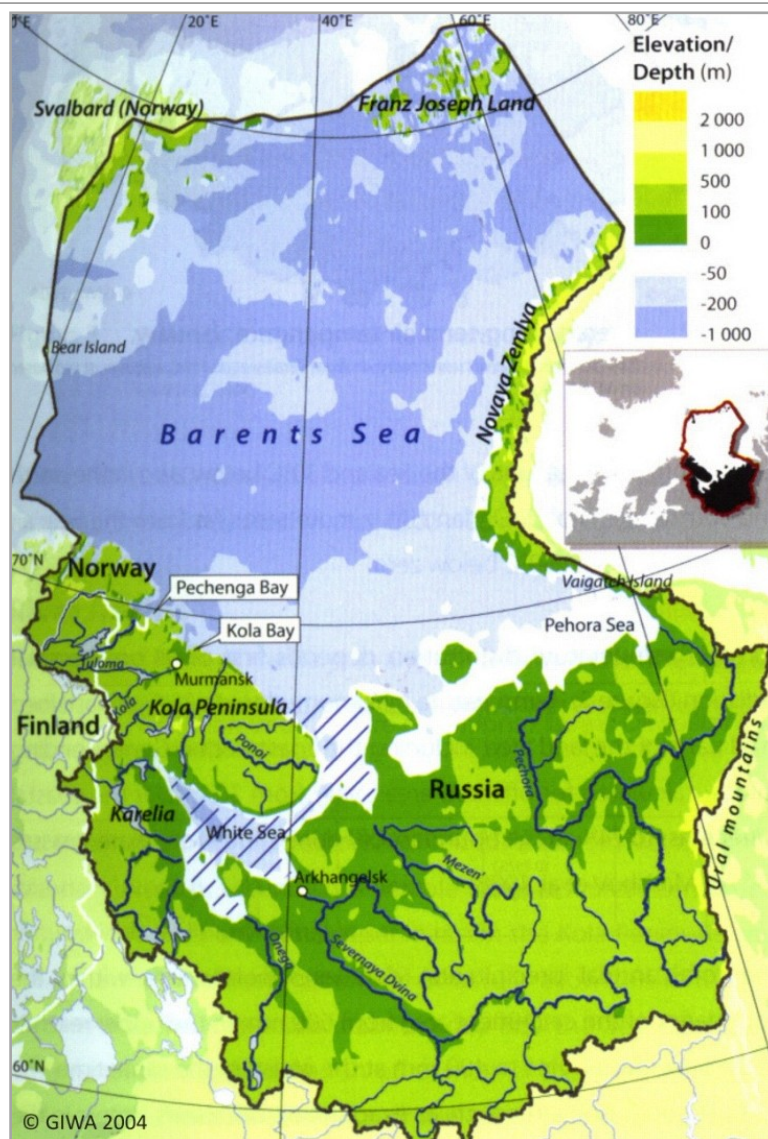


Рис. 3. Баренц-регион, делимитация прибрежной зоны Баренцева моря для оценивания качества международных вод (проект GIWA)

Тогда по аналогии с Баренц-регионом можно было бы выделить Кара-регион и Лаптевых-регион. Административно в них оказались бы субъекты РФ, которые входят в границы Арктической зоны РФ [16], а именно:

- Мурманская область;
- в Архангельской обл. — муниципальные образования «Онежский муниципальный район», «Приморский муниципальный район», «Мезенский муниципальный район», «Город Архангельск», «Северодвинск», «Город Новодвинск», «Новая Земля»;
- Ненецкий автономный округ;
- в Республике Коми — муниципальное образование городской округ «Воркута»;
- Ямало-Ненецкий автономный округ;
- в Красноярском крае — Таймырский Долгано-Ненецкий муниципальный район, городской округ «город Норильск», Туруханский район;

- в Республике Саха (Якутия) — Аллаиховский улус (район), Анабарский национальный (долгано-эвенкийский) улус (район), Булунский улус (район), Усть-Янский улус (район), Нижнеколымский район;

- Чукотский автономный округ;

- земли и острова, расположенные в Северном Ледовитом океане, указанные в Постановлении Президиума Центрального Исполнительного Комитета СССР от 15 апреля 1926 г. «Об объявлении территорией Союза ССР земель и островов, расположенных в Северном Ледовитом океане» и других актах СССР.

Главная проблема состояла бы в выборе подходящих для такой делимитации субъектов водных округов. Поскольку великие сибирские реки Обь, Енисей и Лена вытянуты меридионально на тысячи километров до их впадения в арктические моря, то выбор соответствующей наблюдательной сети на реках, например на р. Обь, в пределах назначенных сухопутных границ Арктической зоны, например Ямало-Ненецкий АО, был бы оптимальным решением вопроса делимитации сухопутных частей Карского морского региона и Лаптевых морского региона. При необходимости такое дополнение к концепции БМЭ, а фактически разделение на комбинированные аква-территориальные эколого-географические объекты (регионы), можно было бы предложить, двигаясь дальше, на восток Арктики. В нашем случае такое расширение географии Севморпути оставим на последующее рассмотрение, поскольку это значительно усложняет проблемы комплексного анализа зоны Севморпути.

Современные изменения ледовых условий

В соответствии с географическим положением, рельефом дна, преобладающими морскими течениями и воздушными переносами в различных районах Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых имеются свои особенности формирования ледового режима [17, 18]. Анализ сезонного хода ледовитости, выполненный на основе электронной базы данных по ледовому режиму этих морей за 1990–2015 гг. (сформированной в лаборатории океанографии ММБИ), показал, что за последние 25 лет льды в юго-восточной части Баренцева моря наблюдались в среднем в течение 10 месяцев (рис. 4). При этом в экстремально легкие годы ледовый период составлял только 7 месяцев, а в экстремально тяжелые годы лед сохранялся на протяжении 12 месяцев. При средних условиях в январе 40 % акватории района покрывалась льдами, в марте — апреле ледовитость достигала почти 60%, а в мае — июне происходили активные процессы таяния и разрушения льда.

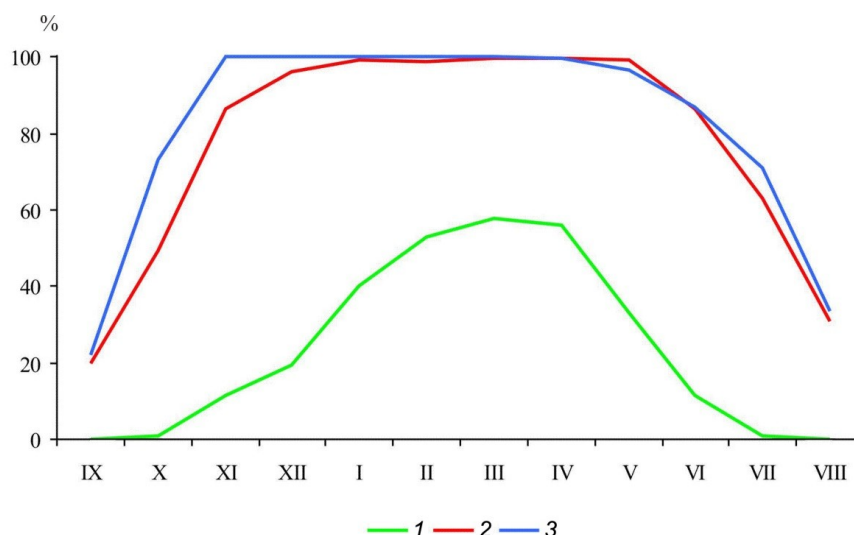


Рис. 4. Сезонная динамика ледовитости (%) в российских арктических морях в 1990–2015 гг.: 1 — Юго-восточная часть Баренцева моря; 2 — Карское море, 3 — море Лаптевых

Характерной особенностью сезонных изменений ледовитости Карского моря и моря Лаптевых является то, что при среднемноголетних условиях ледяной покров полностью не вытает. В летний период акватория морей не полностью очищается ото льда. Как показали расчеты, к концу периода таяния (в сентябре) в среднем более 20 % акватории этих морей оставалась занятой остаточными льдами (рис. 4). Чаще всего они наблюдались на северных участках Карского моря и моря Лаптевых. Вместе с тем с ноября по май акватория Карского моря и моря Лаптевых практически полностью была покрыта ледяным покровом.

Результаты наших расчетов показали, что на протяжении последних 25 лет в летний период изменчивость ледовитости юго-восточной части Баренцева моря была незначительна, ледовые аномалии, за исключением 1998–1999 гг., не превышали 1–3 % (рис. 5, а).

В то же время ледовитость Карского моря и моря Лаптевых испытывала большую изменчивость. При этом до 2004 г. в летний период в обоих морях преобладали положительные аномалии ледовитости. Наибольшие аномалии (до 20–30 %) наблюдались в 1992, 1996, 1998, 2001 и 2004 гг., что обуславливало неблагоприятные в ледовом отношении условия для навигации в эти годы. В последнее десятилетие ледовые процессы в Карском море и море Лаптевых в летнем сезоне развивались по легкому типу, что создавало благоприятные условия для мореплавания.

В целом, как следует из анализа динамики ледовитости, в отличие от юго-восточной части Баренцева моря, для Карского моря и моря Лаптевых не характерны резкие колебания ледовитости в зимнее время. В этот период в обоих морях наблюдались малые аномалии обоих знаков (рис. 5, б). Исключение составили лишь зимне-весенние сезоны 2011/2012 и 2012/2013 гг., когда в Карском море отрицательные ледовые аномалии превысили 10 %. Наименьшие отклонения ледовитости от среднемноголетних значений за последние 25 лет были в море Лаптевых.

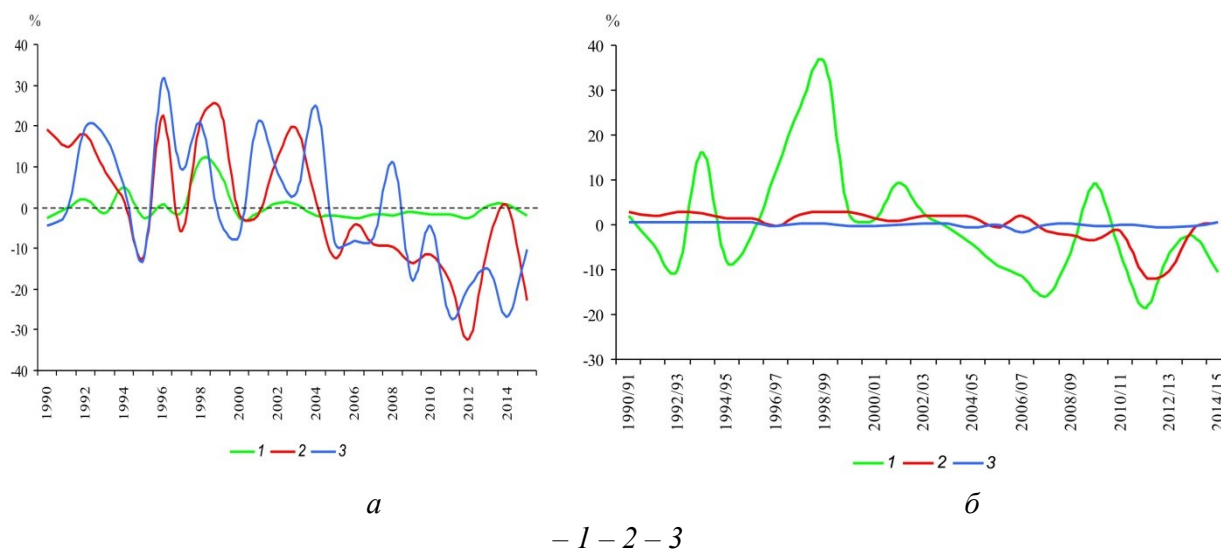


Рис. 5. Аномалии ледовитости (%) в российских арктических морях в 1990–2015 гг.:

а — в июне — октябре; б — в ноябре — мае:

1 — Юго-восточная часть Баренцева моря; 2 — Карское море; 3 — море Лаптевых

Информационное обеспечение морской деятельности в зоне Севморпути

Успешность любой системы управления объектом решающим образом зависит от информационного обеспечения, адекватного запросам современных пользователей. Помимо очевидных требований полноты, достоверности и актуальности данных, это означает их представление в заданных форматах и масштабах, объективность оценки статистических и других погрешностей, фильтрацию избыточной информации. Эти задачи приходится решать в

условиях неоднозначности объекта управления (зона Севморпути не совпадает с Арктической зоной РФ, часть территорий которой явно не участвует в морской деятельности).

Необходимость создания единой информационной системы для Севморпути хорошо осознана. Так, на Арктическом форуме 2015 г. в Санкт-Петербурге с предложениями о едином информационном пространстве Арктики выступал руководитель ОАО «СибНАЦ» А. М. Брехунцов, исходя из возможности создания такой системы за два года [19].

По мнению Минэкономразвития России, в настоящее время задачи, направленные на развитие судоходства по трассам Северного морского пути решаются несистемно и разрозненно. Ряд системообразующих вопросов, связанных с поддержанием функционирования инфраструктуры Северного морского пути, входит как в компетенцию органов исполнительной власти, так и в компетенцию субъектов Российской Федерации и частных промышленных предприятий. В этой связи у каждого субъекта, осуществляющего свою деятельность и оказывающего влияние на развитие Северного морского пути, выделяются свои управленческие приоритеты, цели и задачи, которые во многом не взаимоувязаны между собой и не позволяют достичь более широкой задачи по приданию Севморпути статуса перспективной транзитной магистрали глобального значения.

Аналогичные предложения в более подробном изложении содержатся и в материалах Министерства транспорта, представленных на заседание Государственной комиссии по Арктике (Новосибирск, июнь 2016 г.). Предлагаемая система должна включать навигационный, гидрометеорологический, технический и другие блоки в целях обеспечения безопасности и экономической эффективности судоходства.

Следует иметь в виду, что такие предложения разрабатываются с отраслевых позиций и в них недостаточно полно представлены геоинформационные и экологические аспекты. Административное управление в регионах, напротив, должно основываться на максимально полных данных о состоянии территорий и акваторий, но оно не включает зону Севморпути как единое целое. Более того, экономика ряда арктических регионов и их столицы слабо вовлечены в морскую деятельность. На Карском море Ямало-Ненецкий автономный округ получил морской порт (пос. Сабетта) совсем недавно. В Красноярском крае перевозки по Севморпути, по существу, не связаны с основными транспортными потоками. Баренцево и Белое моря, как головные участки трассы, должны входить в информационную систему, но ее организация здесь во многом специфична.

Представляет интерес опыт информационного обеспечения морских отраслей хозяйства в советский период. В ходе организации рыбного промысла в удаленных районах Мирового океана возникла необходимость размещения специализированных синоптических групп непосредственно на судах. Они формировались в территориальных управлениях Госкомгидромета, но за пределами своих зон обслуживания использовали все доступные информационные ресурсы, вплоть до сводок и карт антарктических станций в Южном океане. Организации морского нефтегазового комплекса, напротив, были заинтересованы в информации по отечественным морям, но с наборами измеряемых параметров и пространственно-временным разрешением, которые не могли быть обеспечены Госкомгидрометом. По мере надобности они создавали собственные гидрометеорологические партии, которые использовали плавучие и стационарные буровые установки для измерений течений, волнения, уровней открытого моря. Информация должна была поступать в Государственный фонд, но на практике это требование, как правило, не выполнялось. В результате возможности научного анализа и климатологических обобщений не были реализованы, и к настоящему времени эти данные либо потеряны, либо утратили актуальность.

В рамках экосистемного подхода, предлагаемого в данной статье, эти противоречия могут быть в значительной степени сняты. Информационная система экологического мониторинга в ее современном понимании должна быть структурирована по тематическим областям, в пространстве и времени. Участники системы должны иметь свободный доступ ко всем ее

информационным ресурсам (за исключением специально оговоренных случаев). Экологический мониторинг занимает центральное место в управлении морским природопользованием. Оно не исчерпывает все управленческие задачи (в число которых входят также технические, экономические, оборонные, правовые), но в силу своеобразия природной среды Арктики имеет важнейшее значение для организации управления во всех остальных сферах.

Методология изучения больших морских экосистем, применяемая в международной практике, ориентирована на устойчивую эксплуатацию морских биоресурсов [7]. Для их описания (и, следовательно, прогнозирования их состояния) используются пять информационных блоков (модулей): биопродуктивность (деятельность фотосинтетиков, биоразнообразие зоопланктона, океанографическая изменчивость), экосистемное здоровье, ихтиофауна и рыбный промысел, социо-экономика, правовое регулирование. Применительно к специфике арктических морей этот перечень остается в силе, но с некоторыми изменениями приоритетов [20]. В блоке биопродуктивности могут контролироваться только океанологические параметры, среди которых ведущая роль принадлежит ледяному покрову.

Состояние ледового покрова определяет эффективность и часто саму возможность морской деятельности, условия существования морских биоценозов, накопление и перенос загрязняющих веществ. В условиях отсутствия льда состояние морских экосистем зависит от динамики вод и крупных аномалий температуры и солености.

Под «здоровьем» экосистем нередко понимают только качество морской среды, определяемое по уровням загрязнения вод, донных осадков и биоты. В нашем понимании, оно должно определяться также с учетом эксплуатации биоресурсов (промысловой смертности) и биологических инвазий. В Арктике это особенно актуально для Баренцева моря, где длительное время ведется интенсивный рыбный промысел, а климатические изменения и развитие аквакультуры способствуют распространению чужеродных видов. С климатической фазой потепления эксплуатация биоресурсов может затронуть и Карское море, и море Лаптевых, тем более что в устьях сибирских рек промысел давно ведется.

Рыбная отрасль в широком понимании (морское и океаническое рыболовство, прибрежные промыслы, аквакультура) занимает самостоятельное место в управлении морской деятельностью и экологическом мониторинге. Развитие Севморпути связано с рыбным хозяйством пока лишь косвенно, в той мере, в которой эта отрасль вовлечена в демографические процессы и формирование инфраструктуры Арктической зоны, но, как мы уже отмечали, в связи с потеплением ситуация может измениться.

Требования к информационному обеспечению экологического мониторинга и управлению морской деятельностью наименее совместимы в социально-экономическом блоке. Во-первых, данные демографической и экономической статистики не включают экологически значимые показатели: расселение и миграции населения в прибрежных зонах, грузопотоки (перемещение минерального сырья), судооборот на морских пространствах и в портах. Во-вторых, сетки административного и экономического районирования, в пределах которых ведется сбор данных (границы регионов, моря в гидрографических границах, рыбопромысловые районы) не совпадают с естественными границами морских экосистем [9]. В-третьих, обязательное в социально-экономической статистике агрегирование данных во времени (по месяцам, кварталам, годам) не соответствует принципам экологического мониторинга, как правило, требующего непрерывного прослеживания состояния экосистем.

В таблице приведены сводные данные о структуре описания больших морских экосистем, соотнесенные с организацией экологического мониторинга. Здесь опущен блок правового регулирования. В практике природопользования необходим мониторинг законодательства и нормативной базы, но он не требует организации самостоятельной системы сбора данных.

В проекте ФЗ «О развитии Арктической зоны Российской Федерации» в гл. 1., ст. 3 «Основные понятия, используемые в ФЗ» в п. 15 предусмотрен «Государственный системный мониторинг состояния и проблем на территории Арктической зоны Российской Федерации»

(далее — системный государственный мониторинг) — специально организованная комплексная и плановая деятельность по сбору, обобщению, анализу и оценке информации по реализации государственных решений о развитии Арктической зоны и обеспечению национальной безопасности на территории этой зоны, а также по подготовке на этой основе соответствующих предложений Правительству Российской Федерации, федеральным органам исполнительной власти, органам государственной власти субъектов Российской Федерации и муниципальным органам.

Таблица

Соответствие структуры описания больших морских экосистем
и экологического мониторинга

Модули описания БМЭ	Тематическая (отраслевая) принадлежность мониторинга	Принципы делимитации
Океанография (как фактор биопродуктивности)	Росгидромет	По границам морей, зонам обслуживания УГМС
Здоровье экосистем	Росгидромет, Минприроды, Росрыболовство	По границам морей, зонам обслуживания УГМС, границам экономической зоны и территориальных вод
Биоресурсы и рыбный промысел	Росрыболовство, Минприроды, научно-исследовательские учреждения	По границам БМЭ, границам экономической зоны и территориальных вод, сетке рыбопромысловых районов
Социально-экономический	Росстат, администрации арктических субъектов РФ	По границам экономической зоны (в море) и Арктической зоны (на суше), административным границам регионов в прибрежной зоне и территориальных водах

Каждый из участников экологического мониторинга, как правило, формирует собственные информационные системы и пользуется доступом как минимум к информационным ресурсам своего ведомства. Очевидно, что для объектов управления, выпадающих из ныне действующей структуры (Арктической зоны РФ, Севморпути) необходимо создание своих информационных баз. Отсюда и те предложения, о которых было сказано выше. Однако для преодоления многочисленных ограничений, понятных из содержания таблицы, необходимы качественно новые подходы.

В практике природопользования растущее применение находят геоинформационные системы (ГИС). Едва ли не каждый проект в этой области включает создание ГИС в качестве ожидаемого результата (10–20 лет назад эта роль принадлежала базам и банкам данных). В результате это понятие оказалось несколько скомпрометированным, поскольку его распространяют на любую информацию, организованную по географическим координатам. Между тем ГИС, предназначенная для использования в управлении зоной Севморпути, обязательно должна включать мониторинговый блок, обеспечивающий усвоение и обработку информации в реальном времени. Только тогда имеет смысл говорить о таких достоинствах ГИС, как варьирование масштабов и проекций, широкие возможности генерализации данных, разнообразие картографической продукции.

По нашему мнению, более универсальным является понятие геоинформационного кадастра. Общим и определяющим признаком любого кадастра является целеполагание.

Приоритетная цель создания любого кадастра или кадастровой системы, объединяющей частные кадастры, — информационное обеспечение управленческих решений и контроля последствий их реализации. Обязательным формальным признаком кадастра выступает стандартизация методов сбора, оформления и хранения кадастровой информации. Эти и другие методические рекомендации по разработке и созданию кадастров прибрежно-морских зон Приморского края рассмотрены в работе Тихоокеанского института географии, хотя до практической реализации эти идеи не были доведены [21].

В отличие от традиционных карт и атласов, кадастр предусматривает в качестве основной функции постоянное обновление информации в заданных ячейках координатной сетки. Размеры ячеек всецело определяются пространственной изменчивостью экологически значимых объектов и показателей состояния морской среды и экосистем. На открытых пространствах шельфа с однородным распределением донных осадков они могут быть порядка нескольких тысяч км², в прибрежных зонах со сложной морфометрией — порядка сотен м².

Формированию кадастровой сетки должна предшествовать картографическая генерализация. Нет необходимости учитывать индивидуальные особенности необитаемых и неиспользуемых участков побережий. В то же время такие объекты, как брошенные или затопленные суда, должны быть учтены по отдельности. Полезный опыт детального описания прибрежной зоны был приобретен при выполнении проекта ММБИ по оценке чувствительности берегов Кольского залива к нефтяному загрязнению [22].

Технология обновления кадастровых данных используется учреждениями Росгидромета при подготовке морских ежегодников. Ячейками кадастра следует считать гидрометеорологические станции (задача учета микроклиматических и океанологических особенностей в промежутках между станциями не ставится). В определенной мере их аналогом могут считаться ежегодники Росстата, но, как отмечалось выше, сетка административного районирования не отвечает требованиям экологического мониторинга. При проведении морских биологических наблюдений данные архивируются и в определенной мере упорядочиваются, однако многоцелевые биологические кадастры не формируются. Между тем именно в этом случае кадастровая методика может применяться с наибольшим эффектом, так как анализ кадастровых данных позволяет выявить пробелы в знаниях, разграничить зоны относительной однородности и повышенной изменчивости морских экосистем.

Обоснование информационной системы экологического мониторинга содержится в наших публикациях [23, 24]. Применительно к зоне Севморпути такие проработки ранее не делались. Наиболее перспективным подходом к созданию такой системы можно считать разработку ГИС с условным названием «Севморпуть» на базе консорциума учреждений, имеющих опыт таких проектов и необходимый научный задел (АНИИ, Институт географии РАН). Полезным может быть участие вузов, особенно региональных, т. е. отдельные блоки ГИС могут быть тематикой квалификационных работ студентов и аспирантов. Финансирование такого проекта в принципе возможно на основе частно-государственного партнерства, поскольку государственная поддержка Арктики в форме федеральных целевых программ или их аналогов будет продолжаться, несмотря на экономические трудности, а хозяйствующие субъекты, особенно организации морского нефтегазового комплекса, так или иначе, выделяют значительные средства на экологию. Успешность таких разработок будет в решающей степени зависеть от организации государственного управления Арктической зоной и зоной Севморпути поверх отраслевых и региональных барьеров.

Заключение

Результаты проведенного анализа позволяют сделать ряд выводов и сформулировать практические рекомендации.

1. В зону Северного морского пути следует включить водные пространства Баренцева и Белого морей, так как здесь располагаются начальные точки плавания по трассам СМП (порты Мурманск, Архангельск, Витино).

2. С учетом комплексной географии (физико-географической и социально-экономической) зона Северного морского пути должна охватывать прибрежные субъекты Арктической зоны РФ (по списку), а информационное её обеспечение должно осуществляться средствами (ресурсами) государственной системы мониторинга как части экосистемного мониторинга в рамках БМЭ Севморпути.

3. Концепция БМЭ может служить начальной стадией функционального анализа и долгосрочного прогноза развития Северного морского пути на ближайшие десятилетия.

4. Необходимо продолжить работы по выработке законодательных условий сопряжения сухопутных (субъекты РФ) и морских пространств Арктической зоны России (в рамках ст. 2 главы 1 проекта ФЗ «О развитии Арктической зоны РФ»).

5. Для оптимизации информационного обеспечения в зоне Севморпути необходимы следующие действия:

5.1. Согласование или, по крайней мере, сближение отраслевых и региональных подсистем экологического мониторинга по перечням объектов и пространственно-временному разрешению наблюдаемых параметров.

5.2. Техничко-экономическое обоснование системы морского мониторинга при совместном использовании данных контактных (судовых, береговых) и дистанционных наблюдений.

5.3. Разработка геоинформационной системы для зоны Севморпути, обеспечивающей потребности научных исследований и управления морской деятельностью.

6. В последнее десятилетие ледовые процессы в Карском море и море Лаптевых в летнем сезоне развивались по легкому типу, что создавало благоприятные условия для мореплавания. В ноябре — мае ледовитость на протяжении последних 25 лет составляла 90–100 %. Поэтому в обоих морях в этот период навигация без ледокольной проводки транспортных судов невозможна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы Северного морского пути / Совет по изучению производ. сил РАН; Центр науч.-исслед. и проектно-конструкт. ин-т. мор. флота (ЦНИИМФ). М.: Наука, 2006. 581 с.
2. Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря / отв. ред. Г. Г. Матишов; Мурман. морской биолог. ин-т КНЦ РАН. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Наука, 2007. 323 с.
3. Матишов Г. Г., Баданин Ю. А., Дерябин А. А. Комплексные исследования Арктики по трассе Северного морского пути на атомных ледоколах (20 лет опыта ММБИ). Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН, 2014. 96 с.
4. Матишов Г. Г. О программе эколого-экономических исследований Северного морского пути // Труды Шестой междунар. конф. по судам и морским конструкциям в холодных регионах ICETECH – 2000 (Санкт-Петербург, 12–14 сентября 2000 г.). СПб., 2000. С. 84–87.
5. Матишов Г. Г., Дженюк С. Л. Задачи научного обеспечения морской деятельности в зоне Северного морского пути // Арктика: экология и экономика. 2014. № 1 (13). С. 48–56.
6. Дмитриев В. Г., Фролов И. Е. Современная ситуация в Арктической зоне РФ, перспективы и возможные пути социально-экономического развития региона: аналитический доклад. СПб.: ААНИИ, 2006. 40 с.
7. Sherman K., Duda A. M. Large marine ecosystems: an emerging paradigm for fishery sustainability // Fisheries. 1999. Vol. 24, № 12. P. 15–26.
8. Матишов Г. Г., Денисов В. В., Дженюк С. Л. Делимитация больших морских экосистем Арктики как задача комплексного географического районирования океанов // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 2. С. 5–18.
9. Комплексные исследования больших морских экосистем. Апатиты: КНЦ РАН, 2011. 516 с.
10. Arctic marine shipping assessment (AMSA 2009). [Электронный ресурс] // Arctic: site. URL: <http://www.arctic-search.com/Arctic+Marine+Shipping+Assessment+%28AMSA%29> (accessed: 23.12.2016).
11. Arctic marine strategic plan 2015–2025 / Arctic Council. Protecting Marine and Coastal Ecosystems in a Changing Arctic. 4th draft revised AMSP, version 19th of Aug 2014 [Электронный ресурс] // Arctic Council: site. URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/413> (accessed: 23.12.2016).
12. Ecosystem-based management for the oceans / ed. by Karen McLeod and Heather Leslie. Washington: Island Press, 2009. 368 p.
13. Baker B. Ecosystem-based management: a flexible tool for stewardship // The Circle. WWF Magazine. 2016. № 2. P. 17–21.
14. Денисов В. В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 502 с.
15. Barents Sea, GIWA Regional assessment 11 / G. Matishov [et al.]. Kalmar: University of Kalmar, 2004. 99 p.
16. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года»: постановление Правительства РФ от 21.04.2014 № 366 (ред. от 17.12.2014 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: офиц. сайт. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162195/ (дата обращения: 23.12.2016).
17. Изменчивость природных условий в шельфовой зоне Баренцева и Карского морей / под ред. А. И. Данилова, Е. У. Миронова, В. А. Спичкина. СПб.: ГНЦ РФ ААНИИ, 2004. 432 с.
18. Жичкин А. П. Климатические колебания ледовых условий в разных районах Баренцева моря // Метеорология и гидрология.

2012. № 9. С. 69–78. **19.** Петербург предложили сделать арктической столицей России // Независимая газета. 2015. 8 дек. **20.** Большие морские экосистемы шельфовых морей Российской Арктики / Г. Г. Матишов [и др.] // Наземные и морские экосистемы. М.: Paulsen, 2011. С. 71–97. **21.** Природопользование в прибрежной зоне (проблемы управления на Дальнем Востоке России). Владивосток: Дальнаука, 2003. 251 с. **22.** Ващенко П. С., Калинка О. П. Применение ГИС-технологий для оценки чувствительности побережья Кольского залива к разливам нефти // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 542–549. **23.** Дженюк С. Л. Методология информационного обеспечения морского экосистемного мониторинга // Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН, 2009. С. 367–387. **24.** Дженюк С. Л. Информационные аспекты морского природопользования на арктическом шельфе России // Вестник ЮНЦ. 2014. Т. 10, № 2. С. 34–43.

Сведения об авторах

Матишов Геннадий Григорьевич — академик РАН, директор Мурманского морского биологического института КНЦ РАН

E-mail: matishov@mmbi.info

Денисов Владимир Васильевич — доктор географических наук, главный научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН

E-mail: denisov@mmbi.info

Дженюк Сергей Львович — доктор географических наук, главный научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН

E-mail: dzhenyuk@mmbi.info

Жичкин Александр Павлович — кандидат географических наук, старший научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН

E-mail: zhichkin@mmbi.info

Author Affiliation

Gennady G. Matishov — Academician of the RAS, Director of the Murmansk Marine Biological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: matishov@mmbi.info

Vladimir V. Denisov — Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher of the Murmansk Marine Biological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: denisov@mmbi.info

Sergei L. Dzhenyuk — Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher of the Murmansk Marine Biological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: dzhenyuk@mmbi.info

Alexander P. Zhichkin — PhD (Geography), Senior Researcher of the Murmansk Marine Biological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: zhichkin@mmbi.info

Библиографическое описание статьи

Морское пространство трансарктической зоны Севморпути в рамках концепции больших морских экосистем / Г. Г. Матишов [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 86–98.

Reference

Matishov Gennady G., Denisov Vladimir V., Dzhenyuk Sergei L., Zhichkin Alexander P. Marine Body of the Northern Sea Route Transarctic Zone within the Concept of Large Marine Ecosystems. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 86–98. (In Russ.).

УДК 546.34.882.4.535.361

ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОНОКРИСТАЛЛОВ НИОБАТА ЛИТИЯ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

М. Н. Палатников, Н. В. Сидоров, О. В. Макарова

ФГБУН Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья
им. И. В. Тананаева КНЦ РАН

Аннотация

Методами спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС), абсорбционной и эмиссионной спектроскопии исследованы оптические характеристики и упорядочение структурных единиц катионной подрешетки номинально чистых кристаллов ниобата лития (LiNbO_3) конгруэнтного и стехиометрического составов легированных в широком диапазоне концентраций легирующей добавки кристаллов $\text{LiNbO}_3 : \text{Me}$ (Me: Gd, Mg, B). Кроме того, исследованы оптические характеристики γ -облученных кристаллов ниобата лития $\text{LiNbO}_3 : \text{Gd}$ (0.02–0.52 мас. %) и $\text{LiNbO}_3 : \text{Mg}$ (0.27 мас. %).

Ключевые слова:

кристаллы, легирование, ниобат лития, комбинационное рассеяние, фоторефрактивный эффект, γ -облучение, стехиометрический и конгруэнтный составы.

PARTICULARITIES OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF LITHIUM NIOBATE SINGLE CRYSTALS WITH DIFFERENT CHEMICAL COMPOUND

Mikhail N. Palatnikov, Nikolay V. Sidorov, Olga V. Makarova

I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the KSC of the RAS

Abstract

Lithium niobate (LiNbO_3) crystals, stoichiometric and congruent, pure and doped ($\text{LiNbO}_3 : \text{Me}$, where Me: Gd, Mg, B) have been studied by Raman, absorption and emission spectroscopy to investigate optical characteristics and cation sublattice units order. Optical characteristics of γ -treated $\text{LiNbO}_3 : \text{Gd}$ (0.02–0.52 wt. %) and $\text{LiNbO}_3 : \text{Mg}$ (0.27 wt. %) were also researched.

Keywords:

crystals, doping, lithium niobate, Raman spectroscopy, photorefractive effect, γ -treating, stoichiometric and congruent compounds.



Введение

На протяжении многих лет кристалл ниобата лития (НЛ) привлекает внимание специалистов интегральной и нелинейной оптики, акустоэлектроники, квантовой электроники, физики твердого тела [1–4]. В тоже время монокристаллы LiNbO_3 относятся к важнейшим пьезоэлектрическим, пироэлектрическим

и сегнетоэлектрическим материалам и находят широкое применение в различных областях науки и техники. Использование этих материалов в нелинейной, поляризационной и интегральной оптике, лазерной технике, оптоэлектронике во многом определяется качеством кристаллов, а именно их высокой оптической однородностью и стойкостью к оптическому повреждению. По данным исследований компании “Business Communications Co. Inc.”, мировой рынок

кристаллов НЛ в 2017 г. достигнет порядка 16 млрд долл. США. Основным потребителем кристаллов LiNbO_3 высокого оптического качества являются фирмы, производящие комплектующие для телекоммуникационного оборудования. Для них особенно важным является получение оптических материалов с контролируемыми оптическими свойствами, в частности с чрезвычайно высокой стойкостью к оптическому повреждению. Поиск стойких к оптическому повреждению материалов на основе кристаллов LiNbO_3 осуществляется, в частности, путем их легирования нефоторефрактивными примесями с получением кристаллов $\text{LiNbO}_3 : \text{Me}$ (Me: Zn, Mg, In, Gd, Sc, B).

Таким образом, кристаллы LiNbO_3 , обладающие удачным сочетанием электрооптических, пьезоэлектрических, пьезоэлектрических и нелинейнооптических характеристик, относятся к числу материалов, формирующих новейшие направления электроники, акусто- и оптоэлектроники, нелинейной, интегральной и лазерной оптики, систем связи и автоматики, оптических запоминающих сред.

Существенной особенностью ниобата лития является наличие широкой области гомогенности на фазовой диаграмме. Причем состав конгруэнтного плавления кристаллов не совпадает со стехиометрическим. Такие структуры обычно отличаются значительной пространственной неоднородностью и сложным спектром точечных и протяженных дефектов, создающих сложный трудно моделируемый структурный беспорядок [1–4]. Физические характеристики подобных кристаллов, особенно оптические, в значительной степени определяются особенностями формирования дефектности различных подрешеток структуры, часто закладываемыми на стадии приготовления шихты и стадии роста кристаллов. В этой связи отработка технологических режимов синтеза шихты, способов легирования, методов выращивания кристаллов LiNbO_3 , разработка комплекса эффективных методов контроля качества материала, а также изучение оптических свойств и структурных особенностей разупорядочения кристалла ниобата лития в зависимости от состава представляют существенный интерес для создания оптических материалов с заданными физическими параметрами.

В работе методами спектроскопии комбинационного рассеяния света, абсорбционной и эмиссионной спектроскопии исследованы оптические характеристики и упорядочение структурных единиц в катионной подрешетке номинально чистых и легированных кристаллов ниобата лития конгруэнтного и стехиометрического составов, полученных различными методами.

Методика эксперимента

На практике обычно используют кристаллы LiNbO_3 конгруэнтного состава как наиболее однородные по составу вдоль оси роста кристалла. Однако для целого ряда практических приложений кристаллы LiNbO_3 стехиометрического состава ($\text{Li/Nb} = 1$) имеют существенные преимущества перед кристаллами конгруэнтного состава [5–7]. Применение кристаллов ниобата лития стехиометрического состава для создания различных оптических устройств требует разработки методов контроля степени структурного совершенства и состава таких кристаллов.

Кристаллы LiNbO_3 конгруэнтного состава выращивались методом Чохральского из расплава, содержащего 48.6 mol. % Li_2O . Легирование проводилось путем добавления соответствующего оксида в шихту или в реэкстракт в процессе экстракционного передела технической гидроокиси ниобия в высокочистую. В последнем случае получали гомогенно легированный прекурсор $\text{Nb}_2\text{O}_5 : \text{B}$, который далее использовался для синтеза шихты ниобата лития. Стехиометрические монокристаллы ниобата лития получали из расплавов, обогащенных по Li_2O (Czocralski, CZ) [1, 4], и из расплавов конгруэнтного состава, содержащих оксид калия (high temperature top seeded solution growth, HTSSG) [8–10].

Для регистрации спектров КРС и катодоллюминесценции (15 кВ, 50 нА) из монокристаллических блоков вырезали образцы в виде параллелепипедов размерами $7 \times 8 \times 9$ мм, ребра которых совпадали по направлению с кристаллографическими осями. Грани

параллелепипеда тщательно полировали. Спектры КРС регистрировали спектрометрами ДФС-24 и Ramanor U1000 при возбуждении линией 514.5 нм ионного Ag^+ -лазера ПЛА-120. Кристаллы облучались также γ -квантами от источника Co^{60} на установке МРХ- γ -20. Дозы облучения составляли $\sim 10^3$ – 10^6 рад. Мощность дозы составляла 47 рад/сек. Исследования спектров пропускания были проведены с помощью спектрофотометра СФ-26.

Результаты и их обсуждение

Авторами ранее были выполнены исследования спектров комбинационного рассеяния света (КРС) и детальный анализ структурных особенностей катионной подрешетки кристаллов ниобата лития различного химического состава (номинально чистых и легированных) [11–14]. Обосновано предположение о том, что в катионной подрешетке кристаллов с составом, отличным от стехиометрического, на основе собственных и примесных дефектов формируется упорядоченная подрешетка кластерных дефектов, которая дает свой колебательный спектр КРС в виде малоинтенсивных («лишних») линий, отличающийся от спектра фундаментальных колебаний (рис. 1). Показано, что такая подрешетка дефектов отсутствует в кристаллах стехиометрического состава [11–14]. Установлено, что максимум в спектре КРС кристалла ниобата лития в области 100 – 120 см^{-1} , соответствующий двухчастичным состояниям акустических фононов с суммарным волновым вектором, равным нулю, чувствителен к тонким особенностям структурного упорядочения катионной подрешетки. Изменение параметров этого максимума может осуществляться в случаях, когда можно эффективно изменять значение частот и ширин линий, соответствующих наиболее низкочастотным полносимметричным фундаментальным фононам, с изменением самым ангармонического взаимодействия фундаментальных мод как друг с другом, так и с двухчастичными акустическими возбуждениями за счет резонанса Ферми. Такое воздействие на спектр можно осуществлять, в частности, путем изменения степени упорядочения структурных единиц в катионной подрешетке ниобата лития за счет варьирования дефектности кристалла, например путем изменения стехиометрии (величины $R = \text{Li/Nb}$) или легирования. Эффект воздействия примеси на колебательный спектр кристалла, очевидно, будет определяться видом примеси и способом ее вхождения в кристаллическую решетку.

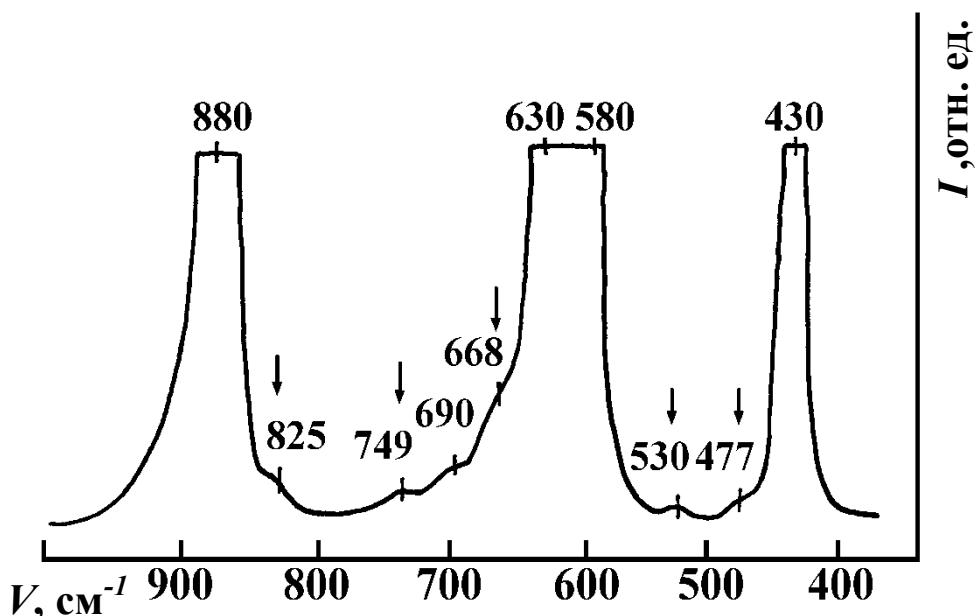


Рис. 1. Фрагмент спектра КРС монокристалла ниобата лития конгруэнтного состава. «Лишние» линии помечены стрелками

На рисунке 2 представлены фрагменты спектров монокристаллов ниобата лития различного химического состава в области $100\text{--}150\text{ см}^{-1}$. В этой области в спектре номинально чистых кристаллов конгруэнтного состава ($R = 0.946$) в геометрии рассеяния $X(ZZ)Y$ (активны фононы $A_1(\text{TO})$ типа симметрии) наблюдается широкий максимум, расщепленный на два компонента с частотами ~ 103 и 117 см^{-1} , (рис. 2, кривая 4), соответствующий двухчастичным состояниям акустических фононов с суммарным волновым вектором, равным нулю, интенсивность которого почти на два порядка меньше интенсивности дублета (с частотами 255 и 275 см^{-1}), соответствующего полносимметричным фундаментальным колебаниям ионов Nb^{5+} и Li^+ вдоль полярной оси [11–14]. В спектре КРС кристаллов стехиометрического состава, в которых порядок расположения катионов вдоль полярной оси близок к идеальному (Li^+ , Nb^{5+} , вакантный октаэдр), этот максимум отсутствует (рис. 2, кривая 1). При этом в спектре КРС стехиометрического кристалла ширина линий, соответствующих фундаментальным фононам с частотами 255 и 275 см^{-1} , минимальна. Добавление в кристалл стехиометрического состава небольших количеств легирующих добавок нарушает порядок расположения катионов вдоль полярной оси и приводит к появлению малоинтенсивных максимумов 103 и 117 см^{-1} (рис. 2, кривая 3). Внедрение небольших количеств нефоторефрактивных катионов (B^{3+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Gd^{3+}) в структуру кристалла конгруэнтного состава вызывает сначала увеличение по сравнению с номинально чистым кристаллом расщепления максимума в области $100\text{--}150\text{ см}^{-1}$ на два компонента — 103 и 117 см^{-1} (рис. 2, кривая 5). При более сильном легировании эти линии сливаются в максимум с частотой 120 см^{-1} (рис. 2, кривая 6), интенсивность и ширина которого возрастают с увеличением концентрации легирующей добавки и, соответственно, дефектности кристалла. Этот факт однозначно свидетельствует об упорядочении катионной подрешетки кристалла конгруэнтного состава при определенных сравнительно небольших концентрациях ($\sim 0.02\text{--}0.5$ мас. %) некоторых примесей.

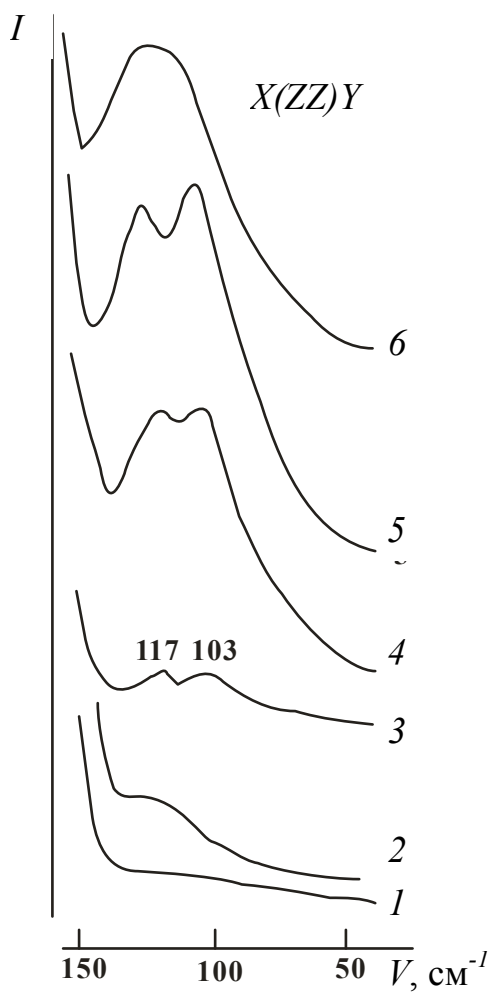


Рис. 2. Фрагменты спектров КРС монокристаллов ниобата лития различного химического состава в области $100\text{--}150\text{ см}^{-1}$. $T = 293\text{ К}$: 1 — кристалл стехиометрического состава, выращенный методом CZ; 2 — кристалл, близкий по составу к стехиометрическому, выращенный методом HTTSSG; 3 — кристалл стехиометрического состава, легированный Gd^{3+} (0.001 мас. %); 4 — кристалл конгруэнтного состава; 5 — кристалл конгруэнтного состава, легированный Mg^{2+} (0.36 мас. %); 6 — кристалл конгруэнтного состава, легированный Gd^{3+} (0.25) и Mg^{2+} (0.75 мас. %)

Можно констатировать, что максимум в спектре КРС кристалла ниобата лития в области 120 см^{-1} , соответствующий двухчастичным состояниям акустических фононов, чрезвычайно чувствителен к структурному упорядочению катионной подрешетки как номинально чистых, так и легированных кристаллов и, следовательно, является индикатором состояния их дефектной структуры. Отсутствие в спектре КРС максимума в области 120 см^{-1} , очевидно, может быть принято, как экспериментальный критерий соответствия структуры кристалла ниобата лития структуре кристалла стехиометрического состава. Не только легирование, но и любое (даже незначительное) отклонение от стехиометрии приводит к появлению в спектре этого максимума. Так, в работе [8] было установлено, что при выращивании стехиометрических кристаллов ниобата лития методом HTTSSG из расплавов, в которых отношение Li/Nb соответствует составу конгруэнтного плавления ($R = 0.946$), кристалл с $R = 1$ может быть получен, если содержание оксида

калия в расплаве составляет ~ 6 мас. %. При большем содержании K_2O происходит кристаллизация двух фаз, а при меньшем — кристаллизуется $LiNbO_3$, дефицитный по литию по отношению к стехиометрическому, т. е. кристалл с $R < 1$. На рис. 2 (кривые 1 и 2) представлены спектры КРС в области двухчастичных состояний акустических фононов истинно стехиометрического кристалла, выращенного методом CZ из расплава, обогащенного по литию (кривая 1), в которых $R = 1$, и монокристалла, выращенного методом НТТССГ из конгруэнтного расплава с добавлением 5 мас. % оксида калия (кривая 2). В этом кристалле $R < 1$, хотя его состав и весьма близок к стехиометрическому. Отчетливо видно, что в спектре второго кристалла в интересующей нас области частот наблюдается малоинтенсивный широкий континуум, что как раз и свидетельствует о незначительном отклонении состава кристалла от стехиометрического.

Главной целью легирования сегнетоэлектрических кристаллов считается направленное изменение или стабилизация свойств основной фазы. Нами показано, что улучшить физические параметры кислородно-полиэдрических сегнетоэлектриков (таких как кристаллы ниобата лития) можно, повысив степень структурного упорядочения катионной подрешетки вдоль полярной оси путем легирования [12, 13]. По спектрам КРС установлено, что примесные катионы с ионными радиусами, близкими к радиусам основных катионов (Li^+ и Nb^{5+}), и зарядами, промежуточными между зарядами основных катионов ($1 < Z < 5$) в области малых концентраций, оказывают упорядочивающее воздействие на катионную подрешетку конгруэнтного кристалла ниобата лития [11–14]. Кроме того, легирующие катионы не должны обладать нестабильной переменной валентностью ($Cu^+ \rightarrow Cu^{2+}$, $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ и т. п.), поскольку в этом случае резко увеличиваются фоторефрактивный эффект и оптическое поглощение.

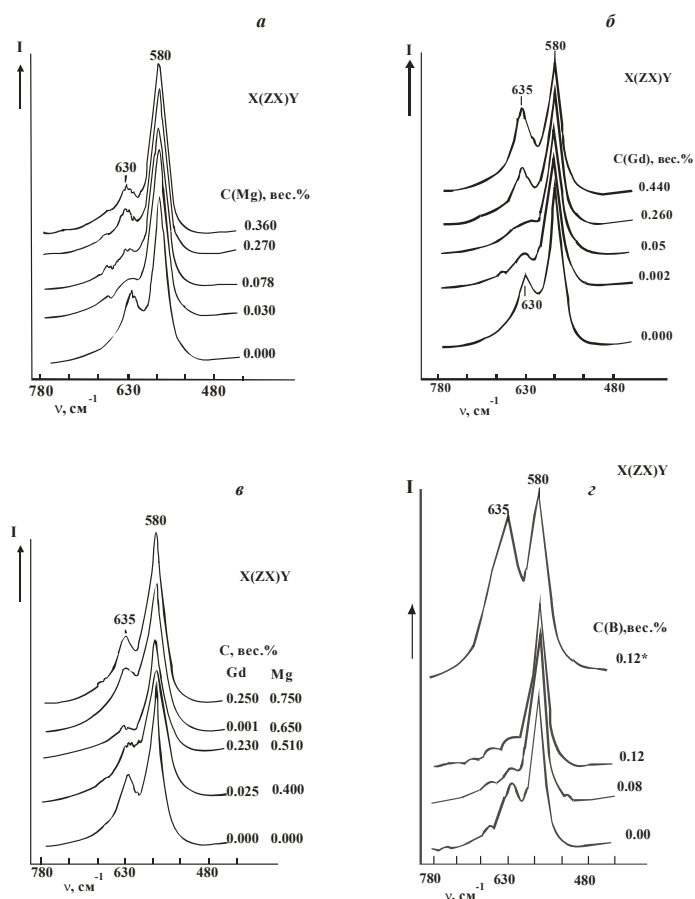


Рис. 3. Фрагменты спектров КРС в области колебаний кислородных октаэдров монокристаллов ниобата лития конгруэнтного состава, легированных Mg (а); Gd (б); Gd + Mg (в) и В (г, * — монокристалл легирован путем добавления оксида бора в шихту). $T = 293$ К

Таким образом, при легировании катионами, обладающими указанными выше характеристиками, в определенном диапазоне сравнительно малых концентраций ($\sim 0.02\text{--}0.5$ мас. %) упорядочение катионной подрешетки монокристалла ниобата лития существенно возрастает [12, 13]. При этом заметно возрастает стойкость кристалла к фотоиндуцированному изменению показателя преломления. На рис. 3 приведены фрагменты спектров КРС в области колебаний кислородных октаэдров легированных кристаллов ниобата лития конгруэнтного состава. В этом диапазоне в спектре реальных кристаллов ниобата лития в геометрии рассеяния $X(ZX)Y$ наблюдаются две интенсивные линии — $580\text{ см}^{-1}E(\text{TO})$ и $635\text{ см}^{-1}A_1(\text{TO})$. Причем линия $635\text{ см}^{-1}A_1(\text{TO})$ запрещена для данной геометрии рассеяния и проявляется в спектре вследствие фоторефракции. Эффект уменьшения интенсивности линии с частотой 635 см^{-1} свидетельствует о понижении фоторефракции при легировании кристалла и хорошо коррелирует с обнаруженным нами упорядочением катионной подрешетки вдоль полярной оси для этого диапазона концентраций легирующих примесей. Именно в этом диапазоне концентраций примесей наблюдаются наиболее заметное расщепление на два компонента (линии с частотами 103 и 117 см^{-1}) линии в области $100\text{--}150\text{ см}^{-1}$, обусловленной рассеянием света на двухчастичных акустических фононах, и заметное уменьшение ширины некоторых фундаментальных линий КРС, свидетельствующие об упорядочении структуры. Таким образом, фоторефракция минимальна в кристаллах ниобата лития, отличающихся повышенным структурным упорядочением катионов вдоль полярной оси. Этот факт может свидетельствовать об уменьшении количества заряженных структурных дефектов при увеличении степени структурного совершенства кристалла. Наоборот, фоторефракция возрастает, когда при увеличении концентрации внедряющиеся примеси не только увеличивают разупорядочение катионной подрешетки, но и деформируют кислородный каркас кристалла, что, соответственно, приводит к увеличению интенсивности линии 635 см^{-1} (рис. 3, а, б, в) и уширению линий, соответствующих фундаментальным колебаниям кислородных октаэдров. При этом количество заряженных структурных дефектов, очевидно, возрастает. Таким образом, в упорядоченных кристаллах, отличающихся меньшим количеством заряженных дефектов, при освещении кристалла возникает меньшее число фотоэлектронов, которые захватываются в дальнейшем на глубокие ловушки. Соответственно, меньше становятся нескомпенсированные электрические поля, влияющие на показатель преломления, и уменьшается фоторефрактивный эффект. С другой стороны, в работе [15] установлено, что нефоторефрактивные примеси (Mg^{2+} , Gd^{3+} , Zn^{2+} , B^{3+}) в ниобате лития могут образовывать мелкие электронные ловушки, например, «комплекс Mg^+ », который представляет собой ион Mg^{2+} на месте Li^+ с делокализованным на ряде окружающих ионов электроном [16]. При этом заметно снижается фоторефрактивный эффект за счет повышения эффективности излучательной рекомбинации фотовозбужденных носителей без их захвата на глубокие уровни. Эффективность такой рекомбинации в значительной степени определяет интенсивность люминесценции в таких легированных кристаллах. В экспериментах авторов настоящей статьи использование катодного возбуждения позволило получить интенсивность свечения ниобата лития существенно большую, чем, например, при возбуждении УФ-светом, что облегчило получение более определенных данных о влиянии состава образца на интенсивность люминесценции. Спектральное распределение катодолюминесценции кристаллов $\text{LiNbO}_3 : \text{Gd}$ различного состава см. на рис. 4. На спектральных кривых выделяется пик с максимумом в области энергий ~ 2.5 эВ (подобный пик наблюдался и в работе, исследовавшей кристаллы $\text{LiNbO}_3 : \text{Mg}$ и LiNbO_3 [15]). Причем наибольшая интенсивность люминесценции наблюдается для образца с концентрацией гадолиния ~ 0.05 мас. %, в спектре КРС которого минимальна интенсивность «запрещенной» в геометрии $X(ZX)Y$ линии с частотой 635 см^{-1} (рис. 3, б) и, следовательно, минимальна фоторефракция. Таким образом, монокристаллы, характеризующиеся более упорядоченным расположением катионов вдоль полярной оси, обладают максимальной интенсивностью люминесценции и повышенной стойкостью к фотоиндуцированному изменению показателя преломления. Следовательно, между

упорядочением структурных единиц и состоянием электронной подсистемы кристалла наблюдается существенная связь.

Более того, весьма заметное влияние на прочность монокристаллов к фотоиндуцированному изменению показателя преломления может оказывать способ легирования. Так, легирование кристаллов ниобата лития бором осуществлялось как традиционным методом — путем добавления оксида бора в шихту перед наплавлением тигля, так и путем добавления легирующей примеси в резкстракт при получении особо чистого пентаоксида ниобия. В последнем случае боросодержащий реагент (борную кислоту) вводили непосредственно в ниобиевый резкстракт, полученный в процессе экстракционного передела технического гидроксида ниобия до высокочистого. Промытый деминерализованной водой гидроксид ниобия сушили и затем прокаливали до получения гомогенного прекурсора — пентаоксида Nb_2O_5 : В. С использованием Nb_2O_5 : В была синтезирована шихта ниобата лития, из которой затем была выращена серия кристаллов LiNbO_3 : В. В кристаллах LiNbO_3 : В, легирование которых происходило с использованием гомогенного прекурсора Nb_2O_5 : В, фоторефракция была существенно меньше, чем в номинально чистых кристаллах LiNbO_3 конгруэнтного состава, выращенных в тех же условиях, а в кристаллах же LiNbO_3 : В, легированных путем добавления оксида бора в шихту, — существенно больше (рис. 3, з). В последнем случае интенсивность «запрещенной» линии 635 см^{-1} существенно выше, чем у номинально чистого кристалла LiNbO_3 конгруэнтного состава (рис. 3, з). Можно констатировать, что методы легирования, позволяющие достичь максимальной степени химической гомогенности легированного кристалла LiNbO_3 , в значительной степени определяют возможность получения кристаллов, обладающих повышенной стойкостью к повреждению лазерным излучением.

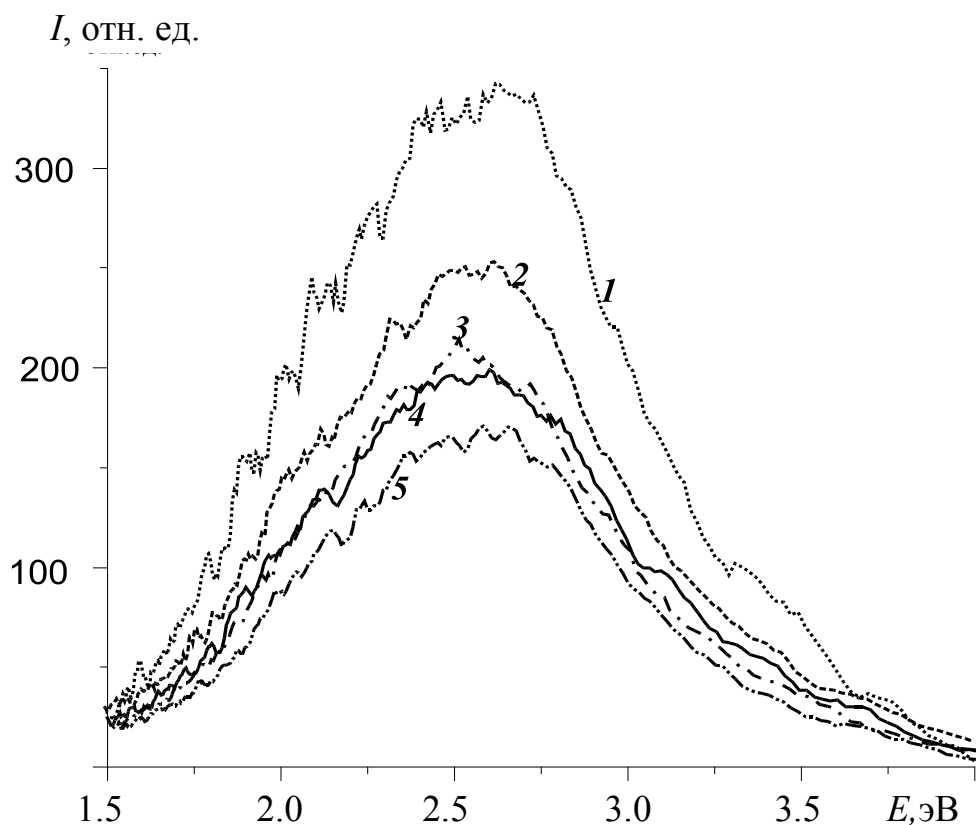


Рис. 4. Спектры катодолюминесценции кристаллов ниобата лития, легированных Gd^{3+} : 1 — 0.05 мас. %; 2 — 0.4 мас. %; 3 — 0.65 мас. %; 4 — 0.002 мас. %; 5 — 0.45 мас. %

Важно отметить, что максимальная степень упорядочения структурных единиц наблюдается в области сравнительно малых концентраций примесных катионов (десятые и сотые доли массовых процентов). Столь малые концентрации лишь незначительно изменяют свойства расплава, поэтому технологические режимы выращивания легированных кристаллов с улучшенными физическими характеристиками мало отличаются от режимов выращивания номинально чистых кристаллов LiNbO_3 .

Ряд приложений оптических устройств на основе кристаллов ниобата лития предполагает их эксплуатацию в условиях воздействия ионизирующего излучения (ИИ). В связи с этим актуально оценить радиационную стойкость легированных кристаллов ниобата лития. Было установлено, что легирование может изменять не только оптическую, но и радиационную стойкость кристаллов ниобата лития. Так, при γ -облучении кристаллов ниобата лития, легированных Gd с концентрацией $\sim 0.004\text{--}0.04$ мас. %, происходит значительное (до 35 %) уменьшение оптического пропускания в широком интервале длин волн (400–630 нм; рис. 5, а). Причем, зависимость изменения величины оптического пропускания от концентрации легирующей примеси (Gd) при фиксированной дозе γ -облучения (по крайней мере в диапазоне доз $10^3\text{--}5\cdot 10^5$ рад) носит нелинейный характер и проходит через максимум при концентрации $[\text{Gd}] \approx 0.004$ мас. %. Наиболее интенсивное изменение оптической плотности происходит в диапазоне средних и малых доз ИИ, а именно $10^3\text{--}10^4$ рад. При больших дозах происходит насыщение радиационной окраски, т. е., по-видимому, происходит радиационный отжиг дефектов. Установлено, что при других концентрациях Gd (как существенно больше, так и существенно меньше концентрации $[\text{Gd}] \approx 0.004\text{--}0.04$ мас. %), а также в номинально чистых и легированных широким набором других примесей (Mg, Y, Y–Mg, Gd–Mg) кристаллах ниобата лития в данном диапазоне доз ИИ эффект изменения оптического пропускания существенно меньше или практически отсутствует (например рис. 5, б, в).

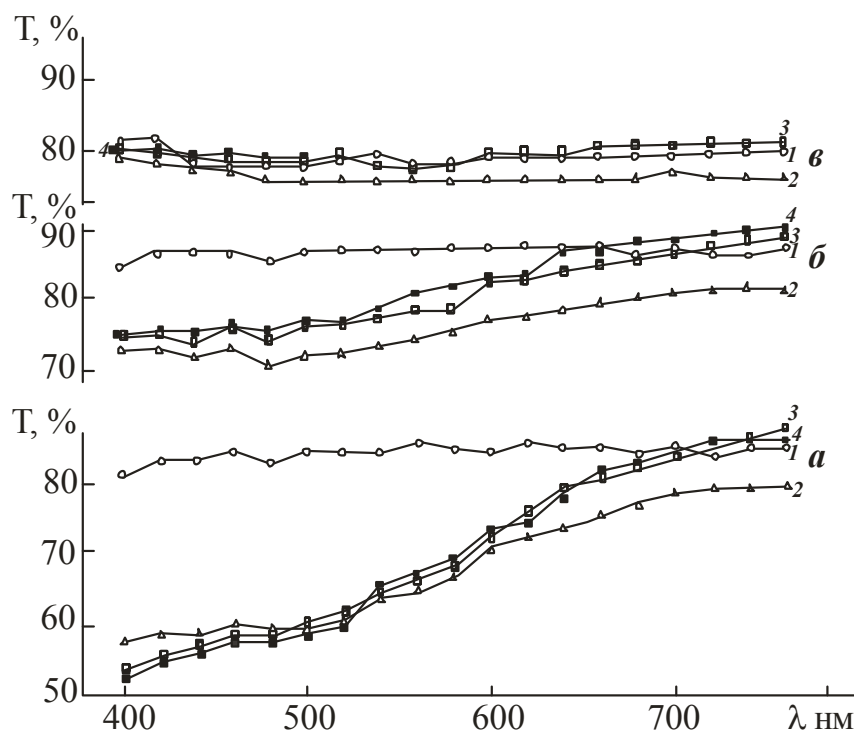


Рис. 5. Спектры оптического пропускания легированных монокристаллов ниобата лития:
а — $\text{LiNbO}_3 : \text{Gd}$ (0.04 мас. %); б — $\text{LiNbO}_3 : \text{Gd}$ (0.26 мас. %); в — $\text{LiNbO}_3 : \text{Mg}$ (0.27 мас. %).

Дозы облучения (крад):

1 — необлученный; 2 — 2.5; 3 — 50; 4 — 175

Сравнимое увеличение оптического пропускания (меньшее, чем в кристаллах $\text{LiNbO}_3 : \text{Gd}$ с $[\text{Gd}] \approx 0.004\text{--}0.04$ мас. %) в номинально чистом кристалле LiNbO_3 наблюдается лишь в области существенно больших доз ($\sim 5 \cdot 10^6$ рад).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов Ю. С. Электрооптический и нелинейно оптический кристалл ниобата лития. М.: Наука. 1987. 262 с.
2. Abrahams S. C., Reddy J. M., Bernstein J. L. Ferroelectric lithium niobate single crystal X-ray diffraction study at 24°C // J. Phys. Chem. Sol. 1966. Vol. 27, № 6/7. P. 997–1012.
3. Rauber A. Chemistry and physics of lithium niobate. current topic in materials science /ed. by E. Kaldis. Vol. 1. Amsterdam, 1978. P. 481.
4. Abrahams S. C. Properties of lithium niobate. N. Y., 1989. 234 p.
5. Photorefractive properties of iron-doped stoichiometric lithium niobate / Y. Furukawa [et al.] // Optics Lett. 1997. Vol. 22, № 8. P. 501–503.
6. Dae-Ho Yoon T., Fukuda J. Recent progress in research of optoelectronic materials // J. of Korean Ass. of Cryst. Growth. 1994. Vol. 4. P. 1.
7. Furukawa Y., Kitamura K. Abstract of the 2nd International Symposium on Laser, Scintillator and Nonlinear Optical Materials (Lyon, France, May 28–31, 2000). Lyon, 2000.
8. Физико-химические условия кристаллизации стехиометрического ниобата лития в системе $\text{Li}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$ / И. В. Бирюкова [и др.] // Тезисы IX Национальной конференции по росту кристаллов (Москва, 15–20 октября 2000 г.). М., 2000, С. 443.
9. Improvement of LiNbO_3 microstructure by crystal growth with potassium / G. Malovichko [et al.] // Phys. Status Sol (a). 1992. Vol. 133, issue 1. P. K29–K32.
10. Growth of stoichiometric LiNbO_3 single crystals by top seeded solution growth method // J. Cryst. Growth. 1997. Vol. 177, issues 3–4. P. 211–216.
11. Аникьев А. А., Сидоров М. В., Серебряков Ю. А. Структурное упорядочение в кристаллах ниобата лития, легированных ионами Mg^{2+} , Gd^{3+} // ЖПС. 1992. Т. 56, № 4. С. 670–673.
12. Особенности структуры, свойства и спектры комбинационного рассеяния света кристаллов ниобата лития различного химического состава / Н. В. Сидоров [и др.] // Неорганические материалы. 1997. Т. 33, № 4. С. 496–506.
13. Сидоров Н. В., Палатников М. Н., Калинин В. Т. Спектры комбинационного рассеяния света и особенности строения кристаллов ниобата лития // Опт. и спектр. 1997. Т. 82, № 1. С. 38–45.
14. Совершенство кристаллической структуры и особенности характера образования ниобата лития / М. Н. Палатников [и др.] // Неорг. материалы. 1998. Т. 34, № 8. С. 903–910.
15. Блистанов А. А., Любченко В. М., Горюнова А. Н. Рекомбинационные процессы в кристаллах LiNbO_3 // Кристаллография. 1998. Т. 43. С. 86–91.
16. Point defects in Mg-doped lithium niobate / K. I. Sweeney [et al.] // J. Appl. Phys. 1985. Vol. 57. P. 1036–1044.

Сведения об авторах

Палатников Михаил Николаевич — доктор технических наук, заведующий лабораторией Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН

E-mail: palat_mn@chemy.kolasc.net.ru

Сидоров Николай Васильевич — доктор физико-математических наук, заведующий сектором Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН

E-mail: sidorov@chemy.kolasc.net.ru

Макарова Ольга Викторовна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН

E-mail: makarova@chemy.kolasc.net.ru

Author Affiliation

Mikhail N. Palatnikov — Dr. Sci. (Engineering), Head of Laboratory at the I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the KSC of the RAS

E-mail: palat_mn@chemy.kolasc.net.ru

Nikolay V. Sidorov — Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Head of Sector at the I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the KSC of the RAS

E-mail: sidorov@chemy.kolasc.net.ru

Olga V. Makarova — PhD (Engineering), Senior Researcher of the I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the KSC of the RAS

E-mail: makarova@chemy.kolasc.net.ru

Библиографическое описание статьи

Палатников, М. Н. Особенности оптических характеристик монокристаллов ниобата лития различного химического состава / М. Н. Палатников, Н. В. Сидоров, О. В. Макарова // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 99–107.

Reference

Palatnikov Mikhail N., Sidorov Nikolay V., Makarova Olga V. Particularities of Optical Characteristics of Lithium Niobate Single Crystals with Different Chemical Compound. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 99–107. (In Russ.).

УДК 581.5

О СОПРЯЖЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ ВИДОВ ОРХИДНЫХ И ОСОКОВЫХ С КИСЛОТНОСТЬЮ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ ПОЧВ НА МИНЕРОТРОФНОМ И НАСЫЩЕННОМ ОСНОВАНИЯМИ БОЛОТЕ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ (РОССИЯ)

И. В. Блинова

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

Аннотация

На примере склонового минеротрофного и насыщенного основаниями болота в центральной части Мурманской обл. рассмотрена экологическая специализация четырех редких видов осоковых и четырех видов орхидных в отношении кислотности и электропроводности почвы. Выделено три группы видов-специалистов, избирательно встречающихся на участках с кислой, нейтральной и щелочной средой почв данного болота. Пространственное размещение популяционных фрагментов этих редких видов связано с местоположением участков, отличающихся по содержанию кальция в почве, и шириной специализации вида. При выявлении неоднородности болота по обеспеченности кальцием лучшую диагностику дают измерения электропроводности почвы по сравнению с ее реакцией (pH).

Ключевые слова:

Мурманская обл., Orchidaceae, Cyperaceae, минеротрофное насыщенное основаниями болото, экологические шкалы.

EFFECTS OF SOIL CONDUCTIVITY AND pH ON POPULATION SPATIAL STRUCTURE OF RARE ORCHIDS AND SEDGES IN A BASE-RICH FEN IN MURMANSK REGION (RUSSIA)

Ilona V. Blinova

Polar Alpine Botanical Garden and Institute of the KSC of the RAS

Abstract

The ecological specialization of four rare sedges and four orchids in relation to soil pH & conductivity has been studied in a base-rich hanging fen in the central part of Murmansk Region. The ecological specialization of four rare sedges and four orchids in relation to soil pH & conductivity has been studied in a base-rich hanging fen in the central part of Murmansk Region. Three groups of specialist species have been distinguished according to their respective occurrences in the acid, neutral and alkaline soils of this fen. The spatial structure of population subsets within the fen seems to be linked to calcium concentration and degree of species specialization. Soil conductivity is a better diagnostic parameter than soil pH.

Keywords:

Murmansk Region, Orchidaceae, Cyperaceae, base-rich fen, ecological scales.



Выявление связи между неоднородностью окружающей среды и комплексностью растительного покрова — одна из основных задач экологии. Накоплен значительный материал по связи видов растений с факторами окружающей среды, измеренными в полевых условиях и обобщенными до шкал [1–3]. Кислотно-основные свойства почвы и содержание в ней элементов минерального питания имеют большое влияние на рост растений. Экологические шкалы по кислотности почвы, ее увлажнению и содержанию азота являются основными при индикации условий окружающей среды.

Минеротрофные болота, формирующиеся вблизи залегания коренных пород, обогащенных кальцием, насыщены основаниями и минеральными веществами, но обеднены азотом. Такие специфические условия спорадически возникают по всей Европе, но меньше всего в Скандинавии [4–9]. Эти болота флористически очень разнообразны. За Северным полярным кругом они представляют уникальные биотопы с редкими видами, подлежащими охране. Выявление экологической приуроченности редких видов и пространственного размещения их популяций в таких редких экосистемах представляет особый интерес и связано с одной из базовых концепций экологии — формированием экологической ниши видов.

Цель настоящей работы — на примере склонового минеротрофного и насыщенного основаниями болота: 1) показать пространственную гетерогенность системы и наличие участков, отличающихся по значениям реакции и электропроводности почвенных растворов; 2) выявить приуроченность редких видов растений в пределах выделенных участков; 3) определить степень влияния факторов среды на каждый вид и объяснить размещение и структуру их локальных популяций.

Район и методика исследования

Мурманская обл. (66–70° с. ш.) находится в атлантико-арктической климатической зоне умеренного пояса [10]. Большая часть ее территории расположена севернее Полярного круга (более подробную характеристику района исследования см. [11]. Как в тундровой, так и лесной зонах области широко распространены болота, охватывая до 26–37 % покрытия [12–14]. Наиболее редкими среди них являются недавно описанные в центральной и южной частях Мурманской обл. минеротрофные и насыщенные основаниями болота, на которых отмечено 20 редких видов растений, занесенных в региональную Красную книгу [15, 16].

Одиннадцать редких видов выявлено на склоновом пушицево-пухляково-осоковом болоте («Мочажинное») в окрестностях г. Апатиты, из которых восемь стали объектами исследования данной работы. В список вошли четыре вида орхидных и четыре — осоковых.

Особенности полевых измерений и выборки данных

Склоновое пушицево-пухляково-осоковое болото («Мочажинное») площадью 37920 м² в ~ 3.8 км на В-ЮВ от центра г. Апатиты выбрано модельным для данной работы. Для этого болота в 28 пунктах измерений (рис. 1) использовали данные по кислотности и электропроводности почвенных растворов, собранные в 2013–2015 гг. с периодичностью 1–3 раза в месяц с июня по август ежегодно, а также данные по высоте местности по картированию популяций редких видов растений. Поскольку при флористическом обследовании была выявлена крайняя неравномерность в размещении популяций редких видов растений в пределах болота, то при выборе местоположения пункта измерения приоритет отдавали участкам, на которых встречали редкие виды, считая их индикаторными. Дополнительно пункты измерений находились вблизи границы болота с лесом, даже если там отсутствовали редкие виды, и на промежуточных участках, так чтобы покрытие биотопа пунктами измерений было более-менее равномерное.

Уровень кислотности болотных вод и содержание в них солей были непосредственно измерены в полевых условиях портативными приборами. Для определения кислотности почвы использовали портативный прибор для измерения уровня pH воды pH-009 (Kelilong Instruments, Китай) с диапазоном измерений от 0.00 до 14.00 и ценой деления 0.1. Для измерения удельной электропроводности воды использовали кондуктомер AP-2 (HMDigital, Китай) с диапазоном измерений от 0–9999 мкСм ценой деления 1 мкСм.

Статистическая обработка данных и особенности построения карт

Все полевые данные, собранные в 2012–2015 гг., были статистически обработаны. Использовали программу PAST [17]. В выборках получены средние ($\bar{X}$), стандартное (SD) отклонения, минимум и максимум значений (min–max). При кластеризации групп по выбранным

параметрам для объединения кластеров использовали метод Варда. Для установления связи между компонентами среды применяли корреляционный анализ, между компонентами и видами — метод главных компонент.

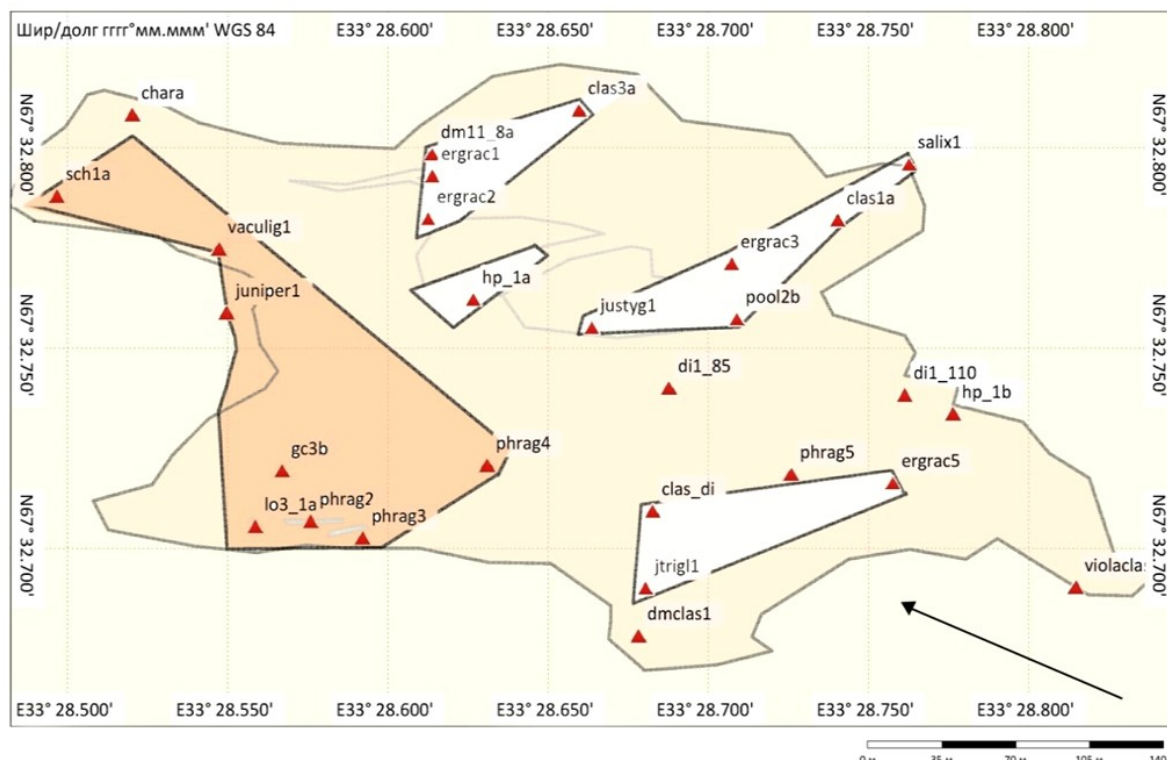


Рис. 1. Карта пунктов измерений (треугольники) на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.). Заштрихованные области соответствуют участкам, отличающимся по трем показателям окружающей среды (реакции и электропроводности почвенных растворов и высоты местности) и описанным ниже в табл. 1. Кластер I выделен светло-белой заливкой, II — светлой, III — умеренно-темной. Стрелкой показано направление стока. Прочие серые контуры — границы наиболее крупных топких понижений

Картирование границ болота, популяций, установление координат пунктов измерений и их высоты над уровнем моря проведено GPS-навигатором Garmin Dakota 20. Маршрутные точки и треки из навигатора переносили в программу BaseCamp 4.2.5. Обрисовку участков, различающихся по градиентам среды, проводили в этой же программе.

Пространственная неоднородность болота

Склоновое пушицево-пухоносово-осоковое болото («Мочажинное») оказалось гетерогенным в отношении почвенной среды. На первом уровне кластеризации обособился кластер с высокими значениями реакции и электропроводности почвы. В дальнейшем следующий кластер распался еще на два.

Три кластера хорошо различались по значениям кислотности и электропроводности почвенных растворов (табл. 1): средние и крайние значения электропроводности плавно изменялись между ними; средние значения pH показательно отличались в каждом кластере, тогда как минимальные и максимальные — перекрывались с диапазоном соседнего. Эффект высоты в кластерах не прослеживался. Этот показатель не проявлял связи ни с электропроводностью ($p < 0.51$, $r^2 = 0.02$), ни кислотностью ($p < 0.99$, $r^2 = 0.00$). Дискретность кластеров обнаруживалась и при использовании метода главных компонент (рис. 2). Особенно хорошо выделялся кластер с щелочной pH.

Характеристика кластеров, выделенных по трем показателям окружающей среды на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.) в 2013–2015 гг.

Показатель	Кластер I	Кластер II	Кластер III
Пункты измерений	justyg1, clas3a, jtrigl1, dm11_8a, ergrac2, salix1, clas1a, ergrac3, ergrac1, ergrac5, hp_1a, clas_di, pool2b	chara, dmclas1, violaclas1, di1_110, di1_85, hp_1b, phrag5	phrag2, vaculig1, gc3b, juniper1, sch1a, phrag3, phrag4, lo3_1a
Кислотность почвенных растворов (pH)	5.9–6.8 (6.5)	6.8–7.2 (6.7)	7.0–7.9 (7.3)
Электропроводность почвенных растворов (Cond), мкСм/см	20–35 (27)	35–50 (40)	51–115 (75)
Высота, м над ур. м.	178–183 (180)	176–185 (181)	177–182 (180)
Виды-специалисты	<i>Eriophorum gracile</i> <i>Carex livida</i> <i>Hammarbya paludosa</i>	<i>Dactylorhiza incarnata</i>	<i>Schoenus ferrugineus</i> <i>Carex hostiana</i> <i>Gymnadenia conopsea</i> <i>Listera ovata</i>

Примечание. Для кислотности и электропроводности указаны минимальные и максимальные значения, а также средние (в скобках).

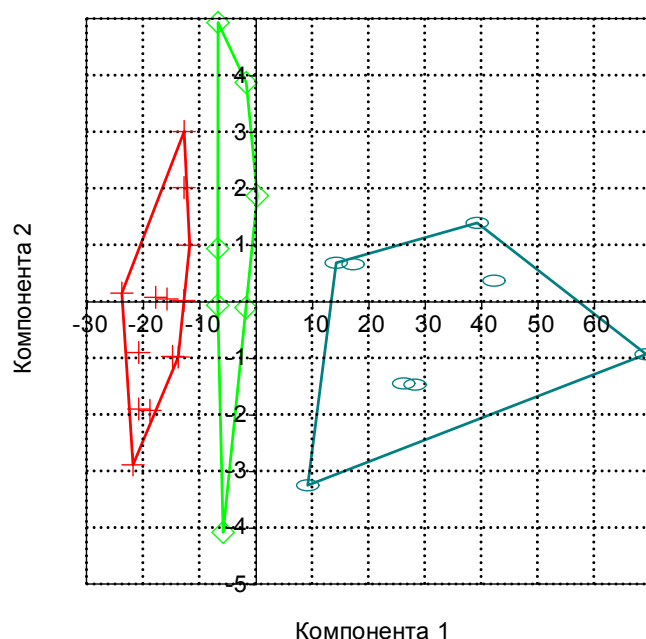


Рис. 2. Дискретность трех выделенных кластеров (кислые участки — кресты, слева; нейтральные участки — ромбы, посередине; щелочные участки — овалы, справа) по показателям окружающей среды (реакции и электропроводности почвенных растворов и высоты местности) на минеротрофном болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.) в 2013–2015 гг., интерпретированная при помощи метода главных компонент. Первая компонента объясняет 99 % вариаций и связана с электропроводностью, вторая — отвечает за < 1 % вариаций и связана с высотой местности

Между факторами электропроводности и кислотности на изучаемом болоте выявлена тесная положительная связь ($p < 0.000$, $r^2 = 0.40$). Однако в полевых условиях при выделении участков, отличающихся по насыщенности почвенной среды основаниями и кальцием, более точные результаты показывали значения по электропроводности, чем по pH.

Большая площадь изученного болота (69 %) была занята почвами нейтральной (~ 26 тыс. м²) реакции, с небольшими по площади (13 %) кислыми участками (всего ~ 5 тыс. м²) и около пятой части болота (18 %) к западу (~ 7 тыс. м²) почвами нейтрально-щелочной реакции (рис. 1). Направление стока шло от более высокой Ю-ЮВ части (склон г. Доломитовая) к С-СЗ (долина р. Нивастровская). Наиболее крупные топкие понижения располагались в центральной части. В ЮЗ части был расположен ряд небольших топких участков с тростником. Почвы западной части болота были насыщены основаниями, в восточной части происходило чередование участков с кислой и нейтральной средой. Следует отметить, что, несмотря на визуальную пестроту растительного покрова, границы всех участков не могли быть выделены в полевых условиях без проведения измерений.

Сопряженность встречаемости определенных редких видов растений в пределах выделенных участков

Размещение популяций восьми редких видов растений было крайне неравномерным на изучаемом болоте (рис. 3, 4). Избирательная встречаемость каждого вида отражена в характеристике участков (табл. 2 и 3).

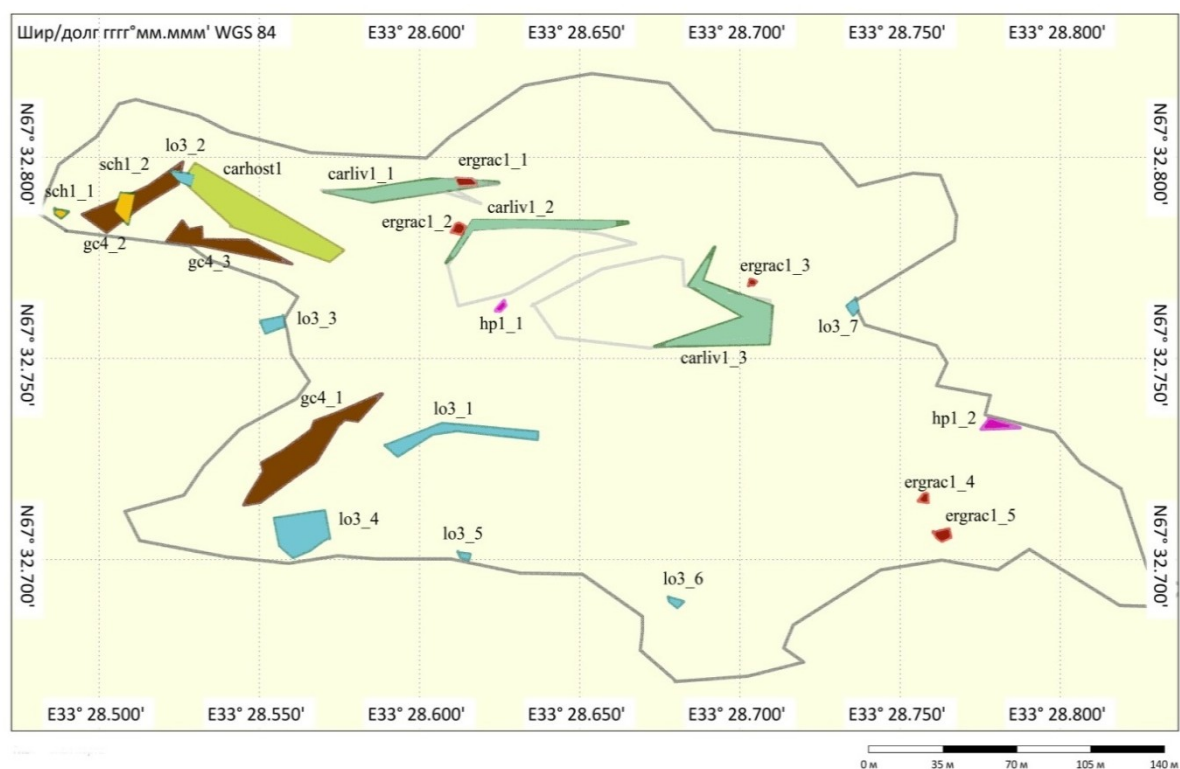


Рис. 3. Размещение популяций редких видов орхидных на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.) в 2014 г.: sch1 — *Schoenus ferrugineus*; gc4 — *Gymnadenia conopsea*; lo3 — *Listera ovata*; hp1 — *Hammarbya paludosa*; carhost1 — *Carex hostiana*; carliv1 — *Carex livida*; ergrac1 — *Eriophorum gracile*. Отдельные популяционные фрагменты пронумерованы. Границы наиболее крупных центральных топких понижений обозначены серыми контурами

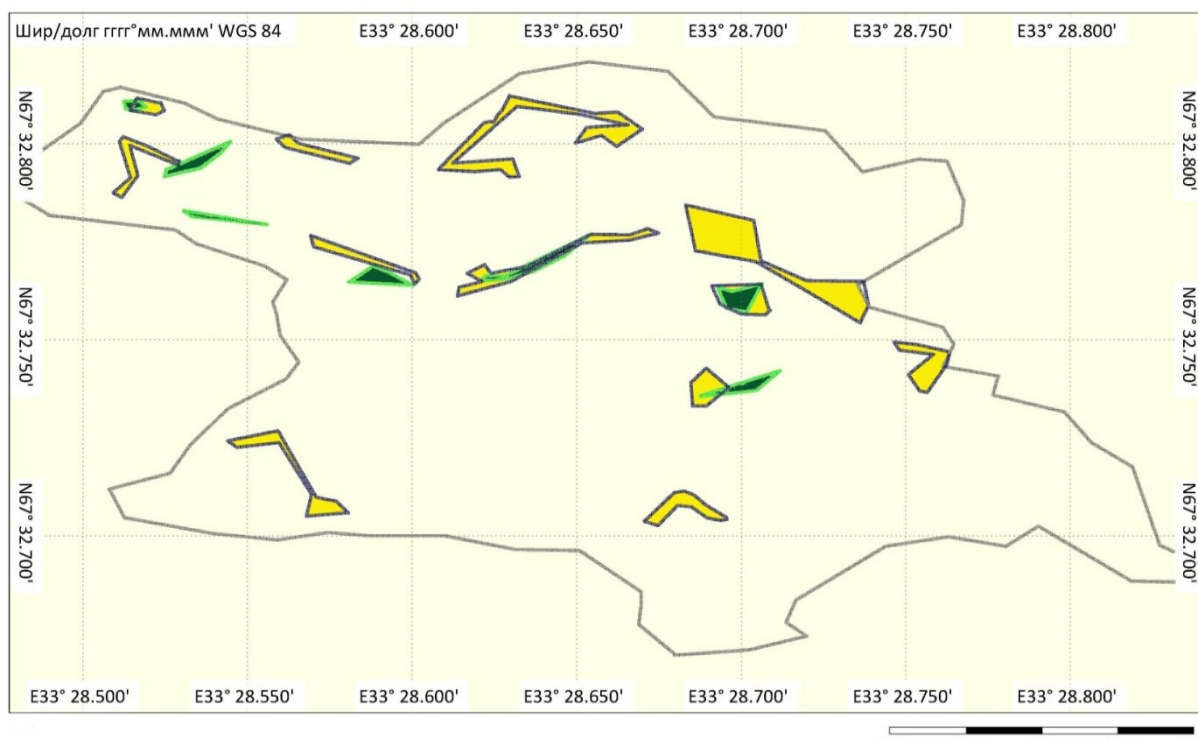


Рис. 4. Размещение фрагментов популяции *Dactylorhiza incarnata* (di1) на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.) в 2013–2014 гг. Темная заливка фрагментов соответствует 2013 г., светлая — 2014 г. Лишь часть фрагментов 2014 г., расположенных в срединной части болота, имеют связь с участками прежнего 2013 г., тогда как большинство колонизирует новые участки болота

Таблица 2

Редкие виды орхидных и осоковых на болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.) с указанием реакции почвенной среды (pH) и электропроводности (Cond) в вегетационные периоды 2013–2015 гг. в пунктах измерений. Ординация проведена по возрастанию электропроводности

Вид		Номер пункта измерений	Cond, мкСм/см			pH			n
Полное название	Сокращенное название		X	SD	min–max	X	SD	min–max	
<i>Eriophorum gracile</i>	ergrac	ergrac2, ergrac1, ergrac3, ergrac5	29	4	23–32	6.7	0.0	6.7–6.7	4
<i>Carex livida</i>	carliv	justyg1, pool2b, ergrac1, phrag5	32	9	25–44	6.5	0.4	6.0–6.8	4
<i>Hammarbya paludosa</i>	hp	hp_1a, hp_1b	34	4	31–37	6.5	0.4	6.2–6.8	2
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	di	pool2b, ergrac1, hp_1a, clas_di, hp_1b, di1_85, chara, di1_110, sch1a, phrag4, phrag2	43	17	28–83	6.8	0.5	6.2–7.9	11

Вид		Номер пункта измерений	Cond, мкСм/см			pH			n
Полное название	Сокращенное название		X	SD	min-max	X	SD	min-max	
<i>Schoenus ferrugineus</i>	sch	sch1a	53	—	—	7.1	—	—	1
<i>Carex hostiana</i>	carhost	sch1a, vaculig1	62	12	53–70	7.2	0.1	7.1–7.3	2
<i>Gymnadenia conopsea</i>	gc	sch1a, vaculig1, gc3b, lo3_1a	81	26	53–113	7.2	0.1	7.0–7.3	4
<i>Listera ovata</i>	lo	phrag3, lo3_1a, juniper1, phrag2, gc3b	82	20	58–113	7.4	0.3	7.0–7.9	5

Примечание. Здесь и в табл. 3: $X \pm SD$ — среднее значение $\pm$ стандартное отклонение, min-max — минимальное и максимальное значения, n — выборка.

Таблица 3

Редкие виды орхидных и осоковых на болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.) с указанием высоты местности в пунктах измерений

Вид		Номер пункта измерений	Высота местности, м над ур. м.			n
Полное название	Сокращенное название		X	SD	min-max	
<i>Eriophorum gracile</i>	ergrac	ergrac2, ergrac1, ergrac3, ergrac5	180	1	179–181	4
<i>Carex livida</i>	carliv	justyg1, pool2b, ergrac1, phrag5	180	2	178–182	4
<i>Hammarbya paludosa</i>	hp	hp_1a, hp_1b	181	1	180–181	2
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	di	pool2b, ergrac1, hp_1a, clas_di, hp_1b, di1_85, chara, di1_110, sch1a, phrag4, phrag2	180	2	176–182	11
<i>Schoenus ferrugineus</i>	sch	sch1a	177	—	—	1
<i>Carex hostiana</i>	carhost	sch1a, vaculig1	178	1	177–179	2
<i>Gymnadenia conopsea</i>	gc	sch1a, vaculig1, gc3b, lo3_1a	179	2	177–181	4
<i>Listera ovata</i>	lo	phrag3, lo3_1a, juniper1, phrag2, gc3b	181	1	179–182	5

Три редких вида (*Eriophorum gracile*, *Carex livida*, *Hammarbya paludosa*) встречались на кислых участках. Один вид (*Dactylorhiza incarnata*) рос на нейтральных участках. Четыре редких вида (*Schoenus ferrugineus*, *Carex hostiana*, *Gymnadenia conopsea*, *Listera ovata*) встречались на богатых основаниями участках. Обособленность групп видов-специалистов наиболее выражена в кислой и щелочной среде. Возможно, что это также связано с тем, что для нейтральной среды был выбран лишь один индикаторный вид (рис. 5). Первая компонента метода главных компонент объясняла 28 % вариаций, наибольший вклад в нее вносило размещение *Dactylorhiza incarnata*. Вторая компонента отвечала за 24 % вариаций и была связана с присутствием *Listera ovata* и *Gymnadenia conopsea* на выделенных участках.

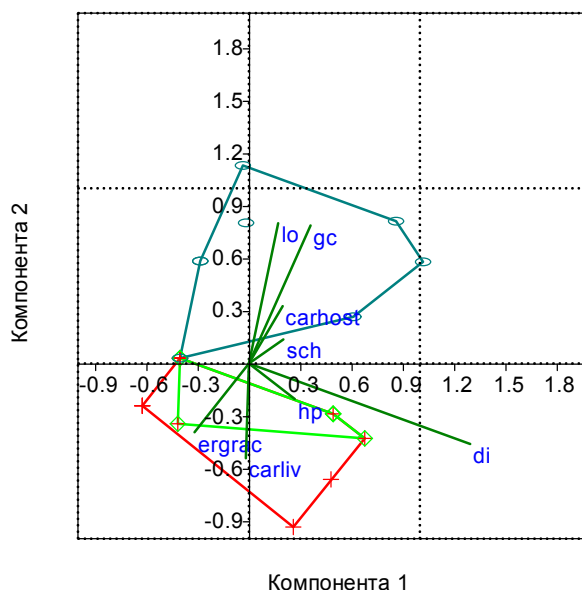


Рис. 5. Визуализация трех групп видов-специалистов в пределах участков, отличающихся по реакции и электропроводности почвенных растворов (кислые участки — кресты, слева, нейтральные участки — ромбы, посередине, щелочные участки — овалы, справа) на минеротрофном болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.) в 2013–2015 гг., интерпретированная при помощи метода главных компонент. Первая компонента объясняет 28 % вариаций, наибольший вклад в нее дает размещение *Dactylorhiza incarnata* (di). Вторая компонента отвечает за 24 % вариаций и связана с присутствием *Listera ovate* (lo) и *Gymnadenia conopsea* (gc) на выделенных участках. Наименьший вклад в размещение первых компонент дают *Eriophorum gracile* (ergrac), *Carex livida* (caliv), *Carex hostiana* (carhost), *Schoenus ferrugineus* (sch), *Hammarbya paludosa* (hp).

Степень влияния факторов среды на виды, размещение и структура их локальных популяций

Выявленная специализация редких видов к кислотности/электропроводности субстрата — видоспецифична. В пределах кластеров встречаемость видов отличается как по средним значениям, так и по амплитуде.

Группа видов-специалистов кислых почв болота. В этой группе наиболее низкая электропроводность была в пунктах измерений с *Eriophorum gracile* (29 мкСм/см), возрастая к *Carex livida* (32 мкСм/см) и *Hammarbya paludosa* (34 мкСм/см). По кислотности среды участки с *Carex livida* и *Hammarbya paludosa* были незначительно кислее (6.5), чем с *Eriophorum gracile* (6.7). Значительных отличий по средним значениям и электропроводности, и кислотности у этих видов нет (табл. 2).

Относительно широкая амплитуда была характерна для *Carex livida*, по сравнению с *Eriophorum gracile* и *Hammarbya paludosa*, как по электропроводности (19 единиц у первого вида и 6–9 единиц у двух других), так и для кислотности (0.8 у первого вида и 0–0.6 у двух других). Это показывает, что *Carex livida* — относительно широкий специалист в «кислой» группе, для которого можно ожидать более широкого распространения, чем в случае узкой специализации у *Eriophorum gracile* и *Hammarbya paludosa*. Причем популяции последних будут занимать разные участки кислых почв болота.

Группа видов-специалистов нейтральных почв болота. В этой группе оказался один вид — *Dactylorhiza incarnata*. Среднее значение электропроводности среды, где он встречался, составляло 43 мкСм/см и было значительно выше этого показателя в «кислой» группе. Однако на этих же участках кислотность среды в среднем не отличалась от кислотности первой группы. При этом амплитуда как электропроводности (55 единиц), так и кислотности (1.7) указывала на широкую специализацию этого вида, позволяющую ему проникать и в более кислые участки, и в более щелочные.

Группа видов-специалистов щелочных почв болота. В этой группе более низкие показатели электропроводности в пунктах измерений имели осоковые (*Schoenus ferrugineus* — 53 мкСм/см, *Carex hostiana* — 62 мкСм/см), более высокие орхидные (*Gymnadenia conopsea* — 81 мкСм/см, *Listera ovata* — 82 мкСм/см). Показатели кислотности изменялись от 7.1 у *Schoenus ferrugineus* до 7.4 у *Listera ovata*. Наименьшая амплитуда по электропроводности в этой группе была у осоковых — от 0 у *Schoenus ferrugineus* до 17 у *Carex hostiana*, наибольшая амплитуда была у орхидных — 60 *Gymnadenia conopsea* и 55 у *Listera ovata*. По кислотности среды наибольший диапазон был у *Listera ovata* (0.9). Эти данные показывают, что изучаемая в этой группе *Carex hostiana* может быть довольно пластична и мигрировать в области «нейтральной» группы. *Schoenus ferrugineus*, возможно, узкий специалист, однако требуется сопоставление данных из других местообитаний, так как на «Мочажинном болоте» этот вид представлен очень локально. Орхидные в этой группе (*Gymnadenia conopsea*, *Listera ovata*) — широкие специалисты, склонные к произрастанию и на более щелочных участках.

Все популяции восьми редких видов были представлены изолированными фрагментами. Их площадь и удаленность до соседнего фрагмента были специфичными для каждого вида. На кисло-нейтральной территории болота наиболее крупные популяции формировали два вида — *Dactylorhiza incarnata* и *Carex livida*, а наиболее маленькие *Eriophorum gracile* и *Hammarbya paludosa* (рис. 3, 4). На щелочных почвах относительно крупные популяции были у *Gymnadenia conopsea*, самые маленькие у *Schoenus ferrugineus*. Начинаясь расширение локального ареала прослеживалось у *Listera ovata*. Особенности геометрического размещения популяций согласовались с данными, полученные при анализе данных по кислотности и электропроводности среды.

Обсуждение результатов

Анализ болот в Болгарии и Западных Карпатах выявил три группы видов-специалистов, характерных для кислой, нейтральной и щелочной среды почв [9]. Среди редких видов в нашей работе также были выделены виды-специалисты для этих сред. Возможно, приуроченность видов-специалистов к разной части минерального градиента обуславливает высокое разнообразие минеротрофных болот Мурманской обл. Однако неоднородность среды не всегда позволяет выделить лишь один тип растительности в пределах отличающегося по кислотности почвы участка. Три разноградиентных участка в данной работе соответствуют более чем трем типам растительности. Например, на щелочной территории только северная часть соответствует сообществу союза *Caricion davallianae* Klika. Причем деление всего болота на ряд участков, которые можно отнести к определенному типу растительности — непростая задача, поскольку не все их границы четко визуально определяются в полевых условиях, и существует множество переходов. Размещение популяций, особенно узких специалистов, по-видимому, теснее связано с положением разноградиентных сред, чем растительных группировок. Фрагменты популяции могут занимать только часть какого-то одного участка растительности, либо, наоборот, встречаться на участках с отличающейся растительностью.

Расположение редких видов в экосистемах представляет наибольший интерес. На минеротрофных и насыщенных основаниями болотах в Мурманской обл. ведущий градиент в неоднородности среды связан с содержанием кальция в почвах. Показатели кислотности и электропроводности очень тесно связаны с этим показателем, поскольку значения электропроводности при кислотности выше 4.7 можно перевести в концентрацию кальция на болотах [18]. На Южном Урале и в Сербии частота встречаемости и степень проективного покрытия болотных видов, включая диагностические, также определялись химическим составом болотных вод, отражающим состав коренных горных пород [19, 20].

По-видимому, потенциальные экологические оптимумы изученных видов орхидных и осоковых в Мурманской обл. контурно схожи с выделенными разноградиентными участками. Однако их реальный оптимум сравним с фрагментами пространственной структуры популяции. На рис. 3 и 4 видно, что реализованные ниши намного уже, чем потенциально подходящие

области по градиенту минерализации (рис. 1). Это связано и с недоучетом влияния других факторов. Например, определяющим градиентным фактором часто является уровень грунтовых вод [1, 19, 21]. В Мурманской обл. этот фактор также очень важен на минеротрофных болотах. Он является одним из ведущих при формировании экологической ниши таких редких видов, как *Hammarbya paludosa* и *Eriophorum gracile*. Другими факторами, обуславливающими сужение оптимальных площадей и влияющими на пространственное размещение популяций всех видов, являются особенности становления их жизненной формы, способы размножения и расселения, а также конкуренция с другими видами на данном участке. Влияние некоторых факторов, например, климатического, может проявляться только при изменении его давления и с задержкой во времени. Так, у *Dactylorhiza incarnata* только в последние годы с повышенной температурой воздуха в вегетационный период стала проявляться тенденция к интенсивной колонизации болота, изучение которого идет с 2002 г. (рис. 4). Температурный фактор указан в числе главных на формирование растительного покрова болот на Южном Урале и в Сербии [19, 20].

Избирательность видов к факторам окружающей среды отражают традиционные экологические шкалы [1–3]. Актуальность этих шкал высока, так как в их основе лежит большой фактический материал. Новые экологические шкалы [22, 23] имеют погрешности, связанные с разными выборками первичных, в основном литературных, данных, несовпадением территории происхождения данных и их использования и сужением диапазона оценки [24–26]. В экологии приоритет часто отдается диапазонной оценке, хотя вычисление средних значений упрощает картину и облегчает использование математических программ. Несмотря на то, что европейские шкалы относят к «усредненным», поскольку оценка производится по баллам, в отношении кислотности почвенной среды они — диапазонные, так как при объяснении балла приводится амплитуда возможных значений кислотности (табл. 4). Для видов, изученных в данной работе, она составила 1.5–2 [3] или 3–4 единицы [2]. В новом издании шкал Ландольта [2] появилось дополнение по степени варибельности ступеней. Кроме индифферентности к признаку, выделено две градации: 1 — маленькая варибельность, 2 — большая варибельность. В последних шкалах Элленберга [3] дополнительно учитываются только индифферентность вида и большая варибельность признака.

Таблица 4

Значения шкал Landolt et al. (2010) и Ellenberg и Leuschner (2010) в отношении реакции почвы (pH) для изучаемых редких видов на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте «Мочажинное» (центральная часть Мурманской обл.)

Вид	pH (Landolt et al., 2010)		pH (Ellenberg et al., 2010)		Наши данные ⁴ , единицы
	балл ¹	единицы ²	балл ³	единицы ²	
<i>Eriophorum gracile</i>	3-I	4.5–7.5	4	5.5–6.0	6.7–6.7 (6.7)
<i>Carex livida</i>	—	—	—	—	6.0–6.8 (6.5)
<i>Hammarbya paludosa</i>	1-I	2.5–5.5	2	3.5–5.0	6.2–6.8 (6.5)
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	4-II	4.5–>8.5	7	6.5–7.5	6.2–7.9 (6.8)
<i>Schoenus ferrugineus</i>	4-I	5.5–8.5	7	6.5–7.5	7.1
<i>Carex hostiana</i>	4-I	5.5–8.5	6	6.0–7.0	7.1–7.3 (7.2)
<i>Gymnadenia conopsea</i>	4-I	5.5–8.5	7~	6.5–7.5	7.0–7.3 (7.2)
<i>Listera ovata</i>	3-I	4.5–7.5	7	6.5–7.5	7.0–7.9 (7.4)

¹ Первая цифра означает ступень, вторая — варибельность признака (I — маленькая, II — большая).

² Кислотность почвы в единицах указана на основании пересчета значений баллов.

³ Цифра — ступень, знак «~» соответствует большой варибельности признака.

⁴ Приведены минимальные и максимальные значения признаков, а также средние (в скобках).

По экологическим шкалам наиболее вариабельными в отношении кислотности среды являются *Dactylorhiza incarnata* и *Gymnadenia conopsea*, что согласуется и с нашими данными: оба — относительно широкие специалисты в своей pH-области. За исключением *Hammarbya paludosa*, по-видимому, из-за недостаточности фактического материала оценка видов, изучаемых на болоте в Мурманской обл., не отличалась по их предпочтениям кислотности почвы от западноевропейских шкал.

Понятие оптимума у растений в современной экологии является одним из самых сложных и дискуссионных и может рассматриваться по отношению к особи, популяции и виду [27–30]. Унимодальное распределение растений по градиенту окружающей среды, в особенности предсказанное лишь по экологическим шкалам, часто критикуют [31–33]. Тем не менее, экологические шкалы до сих пор актуальны для фитоиндикации некоторых географических районов [34–35], выделения эколого-ценотических групп [19, 36], построения экологических ареалов видов [37]. Наши данные показывают, что по этим шкалам можно сделать лишь грубый прогноз о встречаемости вида в конкретном местообитании, и их невозможно использовать для поиска популяций редких видов в регионе.

Выводы

На одном из склоновых минеротрофных и насыщенных основаниями болот (37920 м²) в центральной части Мурманской обл. выявлена неоднородность почвенной среды с преобладанием почв нейтральной реакции (69 % площади) и относительно небольшими участками кислой (13 %) и щелочной (18 %) реакции. Обнаружена тесная связь между показателями кислотности и электропроводности среды на всей территории болота, а также слабая ассоциация между ними и высотой местности. При выявлении и картировании участков, отличающихся по содержанию кальция в почвенных растворах, более точные результаты дают показатели электропроводности почвы, чем данные по реакции почвы.

Изученные редкие виды орхидных и осоковых растений были специализированы по отношению к насыщенности почвенной среды основаниями. Видами-специалистами в «кислой» группе были *Eriophorum gracile*, *Carex livida* и *Hammarbya paludosa*, в «нейтральной» — *Dactylorhiza incarnata*, в «щелочной» — *Schoenus ferrugineus*, *Carex hostiana*, *Gymnadenia conopsea*, *Listera ovata*. Дифференциация расположения редких видов осоковых на болоте находилась на участках пониженной кислотности среды, орхидных — повышенной. Наибольшая обособленность по отношению к реакции почвы и насыщенности почвы кальцием на болоте прослеживалась между группами видов-специалистов кислых и щелочных почв.

Пространственная организация популяций разных видов-стенобионтов на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте в Мурманской обл. характеризовалась системной дискретностью. Все изученные популяции были представлены изолированными популяционными фрагментами. Наряду со специализацией по отношению к реакции почвенной среды выявлен отличающийся диапазон ее проявления у разных видов. Узкая специализация видов сочеталась с низкой степенью вариабельности по признаку кислотности (или электропроводности) почвы в своем диапазоне встречаемости и отражалась на уменьшении площади и числа отдельных популяционных фрагментов.

Изучаемое минеротрофное болото можно рассматривать в качестве модели гетерогенной экосистемы, в которой факторы почвенной среды оказывают влияние на пространственную организацию популяций редких видов сосудистых растений. Оценка экологической приуроченности редких видов растений в локальных условиях недостаточна только на основании ступенчатых экологических шкал.

Благодарности

Автор выражает благодарность Н. Р. Кирилловой (ПАБСИ) и С. В. Асминг (КФ ПетрГУ) за совместные выходы в район исследования, а также G. H. Harper (Hereford, UK) за проверку английского языка в аннотации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский [и др.]. М., 1956. 471 с.
2. Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen / E. Landolt [et al.]. Bern; Stuttgart; Wien: Haupt Verlag, 2010. 1., Aufl. 378 s. 3. Ellenberg H., Leuschner Ch. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2010. 6., vollständig neu bearb. u. stark erw. Aufl. 1357 s. 4. Habitat diversity of central European fens in relation to environmental gradients and an effort to standardise fen terminology in ecological studies. Perspect. Plant Ecol. / M. Hájek [et al.] // Evol. Syst. 2006. Vol. 8. P. 97–114. 5. Spatial variation of mire surface water chemistry and vegetation in northeastern Finland / T. Tahvanainen [et al.] // Ann. Bot. Fennici. 2002. Vol. 39. P. 235–251. 6. Tahvanainen T., Sallantausta T., Heikkilä R. Seasonal variation of water chemistry gradients in three boreal fens // Ann. Bot. Fennici. 2003. Vol. 40. P. 345–355. 7. Tahvanainen T. Water chemistry of mires in relation to the poor-rich vegetation gradient and contrasting geochemical zones of the north-eastern Fennoscandian Shield // Folia Geobot. 2004. Vol. 39. P. 353–369. 8. Testing the Species pool hypothesis for mire vegetation: exploring the influence of pH specialists and habitat history / M. Hájek [et al.] // Oikos. 2007. Vol. 116. P. 1311–1322. 9. Euroala S., Huttunen A. Mire plant species and their ecology in Finland // The Finnish environment. 2006. Vol. 23. P. 127–262. 10. Яковлев Б. А. Климат Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1961. 180 с. 11. Блинова И. В. Популяции орхидных на северном пределе их распространения в Европе (Мурманская область): влияние климата // Экология. 2008. Т. 39 (1). С. 28–35. 12. Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1983. 216 с. 13. Чернов Е. Г. Карта растительности Мурманской области // Атлас Мурманской области. М., 1971. С. 17. 14. Евзеров В. Я. Торфяные месторождения Мурманской области // Вестник ВГУ. Серия «Геология». 2012. № 2. С. 153–157. 15. Блинова И. В. К характеристике минеротрофных травяных болот в южной части Мурманской области и о необходимости их охраны // Вестник КНЦ РАН, 2015. Вып. 22 (3). С. 102–114. 16. Блинова И. В., Петровский М. Н. К характеристике минеротрофных травяных болот в центральной части Мурманской области и о необходимости их охраны // Вестник КНЦ РАН. 2014. Вып. 18 (3). С. 38–55. 17. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4 (1). 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm 18. Sjörs H., Gunnarsson U. Calcium and pH in north and central Swedish mire waters // J. Ecology. 2002. Vol. 90. P. 650–657. 19. Ивченко Т. Г., Знаменский С. Р. Экологическая структура растительных сообществ ключевых болот горно-таежного пояса Южного Урала // Экология. 2016. Т. 47, № 5. С. 346–352. 20. Factors affecting the distribution and abundance of orchids in grasslands and herbaceous wetlands / V. Djordjević [et al.] // Systematics and Biodiversity. 2016. P. 1–16. DOI:10.1080/14772000.2016.1151468. 21. Bragazza L., Gerdol R. Response surfaces of plant species along water-table depth and pH gradients in a poor mire on the southern Alps (Italy) // Ann. Bot. Fennici. 1996. Vol. 33. P. 11–20. 22. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983. 197 с. 23. Королук А. Ю. Использование экологических шкал в геоботанических исследованиях // Актуальные проблемы геоботаники: III Всерос. шк.-конф. Петрозаводск, 2007. С. 176–197. 24. Тетерюк Л. В. Опыт применения фитоиндикационных экологических шкал для выявления неблагоприятных факторов на границе распространения вида // Экология. 2000. Т. 31, № 4. С. 276–281. 25. Зубкова Е. В. О некоторых особенностях диапазонных экологических шкал растений Д. Н. Цыганова // Известия Самар. науч. центра РАН. 2011. Т. 13 (5). С. 48–53. 26. Дымина Г. Д., Ершова Э. А. К методике оценки условий среды фитоценозов по экологическим шкалам Раменского // Turczaninowia. 2011. № 14 (3). С. 106–116. 27. Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Фитоценология: Принципы и методы. М., 1978. 211 с. 28. Заугольнова Л. Б. Понятие оптимумов у растений // Журн. общ. биол. 1985. Т. 46 (4). С. 444–452. 29. Работнов Т. А. Фитоценология. М., 1983. 296 с. 30. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / под ред. Т. И. Серебряковой, Т. Г. Соколовой. М., 1988. 184 с. 31. Van der Maarel E. Relations between sociological-ecological species groups and Ellenberg indicator values // Phytocoenologia. 1993. Vol. 23. P. 343–362. 32. Lawesson J. E. pH optima for Danish forest species compared with Ellenberg reaction values // Folia Geobotanica. 2003. Vol. 38 (4). P. 403–418. 33. Possible interactions between environmental factors in determining species optima / R. J. Pakeman [et al.] // J. Veg. Sci. 2008. Vol. 19 (2). P. 201–208. 34. Любарский Д. С. Характеристика экологических условий поймы нижней части р. Ашит на основе фитоиндикационных шкал // Известия Самар. науч. центра РАН. 2014. Т. 16, № 1 (3). С. 386–389. 35. Золотова Е. С., Иванова Н. С. Использование шкал Д. Н. Цыганова для анализа экологического пространства типов леса Среднего Урала // Биологические науки. 2015. № 2, ч. 23. С. 5114–5119. 36. Смирнов В. Э., Ханина Л. Г., Бобровский М. В. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюл. МОИП. Сер. Биол. 2006. Т. 111, № 2. С. 36–47. 37. Селедец В. П. Концепция экологического ареала вида в ботанических исследованиях на Дальнем Востоке России // Бюл. Бот. сада-ин-та ДВО РАН. 2010. Вып. 7. С. 23–38.

Сведения об авторе

Блинова Илона Владимировна — доктор биологических наук, зав. лабораторией популяционной биологии растений Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН
E-mail: ilbli@yahoo.com

Author Affiliation

Ilona V. Blinova — Dr. Sci. (Bio), Head of the Laboratory of Plant Population Biology of the Polar Alpine Botanical Garden and Institute of the KSC of the RAS

E-mail: ilbli@yahoo.com

Библиографическое описание статьи

Блинова, И. В. О сопряженности пространственного размещения популяций редких видов орхидных и осоковых с кислотностью и электропроводностью почв на минеротрофном и насыщенном основаниями болоте в Мурманской области (Россия) / *И. В. Блинова* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 108–120.

Reference

Blinova Ilona V. Effects of Soil Conductivity and pH on Population Spatial Structure of Rare Orchids and Sedges in a Base-Rich Fen in Murmansk Region (Russia). *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 108–120. (In Russ.).

УДК 81.373

НАЗВАНИЯ ЛОГОВИЩ ЗВЕРЕЙ В ДИАЛЕКТАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

О. А. Теуш

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина

Аннотация

Компактная лексическая группа наименований логовищ зверей сформировалась на базе исконных образований. Большая часть лексем имеет древнейшее происхождение: отражает праславянские и индоевропейские корни. Заимствования из финно-угорских языков связаны с одной идеограммой — «берлога», что отражает совместную деятельность северноруссов и местных финно-угорских народов в природопользовании.

Ключевые слова:

лексема, праславянский язык, индоевропейский праязык, финно-угорские языки, семантика.

THE NAMES OF THE LAIR OF BEASTS IN THE DIALECTS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

Olga A. Teush

Ural Federal University

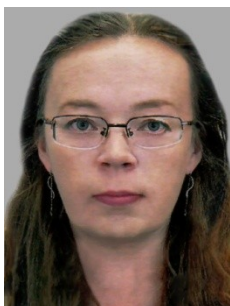
Abstract

Compact lexical group items of the lair of beasts were formed on the basis of the primordial formations. A large part of lexemes has ancient origins: it reflects proto-Slavic and Indo-European roots. Borrowing from the Finno-Ugric languages associated with the same ideograph — «lair», that reflects the joint activities of the Northern Russian people and the local Finno-Ugric peoples in environmental nature management.

Keywords:

lexeme, the proto-Slavic language, Indo-European proto-language, Finno-Ugric languages, semantics.

Введение



Северные леса обширны и до сих пор недостаточно освоены человеком. Леса и в настоящее время богаты дичью: в них живут бобры, куницы, белки и медведи. Издавна животные были объектом охоты: финно-угорские народы занимались самыми разнообразными видами охотничьей деятельности: ставили капканы на зверя, ловили птиц, охотились с собаками, занимались ружейной охотой. Охотничьи занятия требовали хорошего знания местности и повадок зверей. Места обитания зверя оказались особенно важны: их знание необходимо не только для охоты, но и для безопасного пребывания в лесу.

Основная часть

Главный обитатель северного леса — медведь. Медведи обитают в самых разнообразных условиях: в лесах, степях, арктических льдах. Именно медведь из многих животных севера является наиболее ценной добычей. Большинство медведей ведут оседлый образ жизни: отдых проводят в пещерах, ямах у корней деревьев. Медведи специально сооружают берлоги, где проводят большую часть зимы.

Индоевропейским названием медведя было **r̥k̥pos*, давшее лат. *ursus*, греч. *ἄρκτος*, причем оно само, возможно, в индоевропейском языке было эвфемизмом [1, с. 589]. Праслав. **medvěď* по происхождению также является эвфемизмом, имеющим внутреннюю форму «поедатель меда» [1, с. 589]. Слово медведь сопоставляется с др.-инд. *madhuvád-* «едающий сладкое». Древний обычай эвфемистической номинации медведя продолжается в современности: появляются новые лексемы-эвфемизмы: *косолапый*, *бурый*, *потопыч*, *Михайло*, *Мишка*, *хозяин* и т. д. Лесной медведь опасен: знание мест его обитания необходимо для людей, связанных с лесом. Названия логовища медведя наиболее разнообразны из всех названий жилищ животных.

Акциональными обозначениями являются *в́альбище* «лежбище зверя в лесу» (Арх.: В.-Т.) [2], *вальби́ще* «примятое, вытопанное в траве место» (Арх.: В.-Т.) [3, с. 40] (<*вали́ть*, ср. др.-русс. *валити* ся «перекатываться» [4, с. 72]) и *ка́тище* «примятое место, где лежало или валялось животное» (Арх.: Пин.) [2] (<*кати́ть*, праслав. *katiti*, продолжающее индоевропейский корень **kat* — «приводить в быстрое движение», «метать, бросать» [5, с. 385]).

Жилище медведя сравнивается с гнездом птицы: *земляно́е гнездо́* «берлога» (Лен.: Подп.) [6, с. 345]. С другой стороны, древнейшая семантика лексемы шире: и.-е. **ni-zdos* «сидение», ср. др.-инд. *nīdās*, *nīdām* «место отдыха, стоянка, сеть», *nīda* «ложе, гнездо», арм. *nist* «положение, сидение», лат. *nidus* «гнездо» [1, с. 420].

В Устьянском районе Архангельской области зафиксировано *ла́гмаз* «берлога» [2]. Основная семантика слова *ла́гмас* — «заболоченный лес с буреломом», «низкое заболоченное место на берегу реки» (Арх.) [2]. Лексема заимствована из финно-угорских языков (см. подробнее: [7, с. 27–37; 8, с. 11–12]). Рассматриваемое автором значение вторично.

Еще одна лексема иноязычного происхождения — *па́гна* «берлога, углубление в котором спит зверь» (Олон.) [9, с. 77], *па́гма* «берлога, углубление в земле, где лежит, спит зверь или животное» (Олон., Север) [10, т. 25, с. 114] восходит к карел. *pahna* «логово, место, где спит животное (корова, собака, медведь)», фин. *pahna* «солома, соломенная постель» [1, т. 3, с. 183; 11, р. 177].

Основным наименованием логовища медведя является *берло́га* «зимнее логовище медведя» [4, с. 40], *берло́г* «берлога» (Арх.: В.-Т., Котл., Леш., Он., Пин.; Влг.: Чаг.) [2]; (Арх.: Вель., Вил., Вин., В.-Т., Карг., К.-Б., Кон., Леш., Мез., Нянд., Он., Пин., Плес., Прим., Холм., Шенк.) [3, т. 2, с. 10]; (Кол.) [12, с. 22]; (Яр.: Бор.; Костр.) [13, т. 1, с. 55]; (Печор.) [14, т. 1, с. 30]. Слово представлено в ряде вариантов: *ерло́г* «берлога» (Арх.: Вин., В.-Т., Пин.) [3; 4, с. 134], *барло́г* «логовище медведя, берлога» (Печор.) [14, т. 1, с. 30], *верло́га* «берлога» (Влг.: У.-Куб.) [2]; (Влг.: Влгд., Тот.) [15, с. 51]; (Арх.: Вель., Карг., К.-Б.) [3, вып. 3, с. 117]; *мерло́г*, *мерло́га* (Псков., Твер.) [16, с. 113]; (Яр.: Пош.) [13, вып. 6, с. 43]; *перло́га* «берлога» (Влг.: Бабуш.) [2]. Мена *б/в/м/н/ø* в начале слова редка в севернорусских говорах, однако встречается в финно-угорских языках, что позволяет думать о финно-угорском воздействии.

Сама лексема *берло́га* праславянского происхождения: имеет соответствия в укр. *берло́га* «соломенная подстилка, скверная постель», болг. *бърло́к* «мусор, мутные помои», сербохорв. *брло́г*, *бръло́г* «свинарник, логово, мусорная свалка», словен. *brlòg* «пещера, убежище», чеш. *brloh* «логово, хибара», польск. *barlóg* «соломенная подстилка, нечистоты», в.-луж. *borloh*, н.-луж. *barlog* «соломенная подстилка» и в конечном итоге имеет индоевропейские истоки [1, т. 1, с. 158]. Праславянская форма восстанавливается как **bьrloga*, производное с суфф. *-oga* от глагола **bьr̥lati/*bьrliti* «издавать крики, шуметь, квакать, возиться, шуршать, шумно ворочаться» (>русс. *бурли́ть*, сербохорв. *бр̑лати* «грязнить», «пачкать») [4, с. 40; 5, т. 1, с. 59; 17, т. 1, с. 86;].

Жилище животного в русском языке обозначается также лексемой *нора* (ср. *нора́* «жилище животного — углубление под землей с ходом, ходами наружу») праславянского происхождения: связано чередованием гласных с глаголом **nerti*, *нѣрѣ*, родственным лит. *nėrti*, лтш. *nīrti* «нырять» [4, с. 527].

То, что нора является основным местом обитания животного, проявляется во внутренней форме лексемы *жѣтник* «нора в земле» (Яр.: Ряз.) [13, вып. 4, с. 48] (<к глаголу *жить* «проводить жизнь в каком-либо месте, среди кого-нибудь, обитать» [4, с. 236]).

Наименование *лог* «логовище, логово зверя» (Яр.: Брейт., Ряз.) [13, вып. 6, с. 10] отражает праслав. **log* — «лежать» (связано чередованием с праслав. **legt'i* (>русс. *лечь*)); тот же корень отражен в русск. *лог* «глубокая длинная впадина на земной поверхности» [18, т. 6, с. 316–317], *ложбина* — «длинная впадина на земной поверхности; неглубокий овраг» [18, т. 6, с. 316–317].

Выводы

Таким образом, лексика, называющая логовища зверей, представляет собой компактную группу слов, для которых выявляются два пути происхождения: исконное и заимствованное. Большая часть лексем имеет древнейшее происхождение: отражает праславянские и индоевропейские корни. Вместе с тем, на севере Европейской части России отмечены заимствования из финно-угорских языков, которые связаны с совместной деятельностью северноруссов и местных финно-угорских народов в природопользовании.

Сокращения

Названия районов и областей:

- Арх. — Архангельская область
- Бабуш. — Бабушкинский район Вологодской области
- Бор. — Борисоглебский район Ярославской области
- Брейт. — Брейтовский район Ярославской области
- Вель. — Вельский район Архангельской области
- Вил. — Вилегодский район Архангельской области
- Вин. — Виноградовский район Архангельской области
- Влг. — Вологодская область
- Влгд. — Вологодский район Вологодской области
- В.-Т. — Верхнетоемский район Архангельской области
- Карг. — Каргопольский район Архангельской области
- К.-Б. — Красноборский район Архангельской области
- Кол. — Кольский полуостров
- Кон. — Коношский район Архангельской области
- Костр. — Костромская область
- Котл. — Котласский район Архангельской области
- Лен. — Ленинградская область
- Леш. — Лешуконский район Архангельской области
- Мез. — Мезенский район Архангельской области
- Нянд. — Няндомский район Архангельской области
- Олон. — Олонецкая губерния
- Он. — Онежский район Архангельской области
- Осташ. — с. Осташково Тверской губернии
- Печор. — Припечорье
- Пин. — Пинежский район Архангельской области
- Плес. — Плесецкий район Архангельской области
- Подп. — Подпорожский район Ленинградской области
- Пош. — Пошехонский район Ярославской области
- Прим. — Приморский район Архангельской области
- Псков. — Псковская область
- Ряз. — Рязанский район Ярославской области
- Север. — север Европейской части России

Твер. — Тверская область (губерния)
 Тот. — Тотемский район Вологодской области
 У.-Куб. — Усть-Кубинский район Вологодской области
 Холм. — Холмогорский район Архангельской области
 Чаг. — Чагодощенский район Вологодской области
 Шенк. — Шенкурский район Архангельской области
 Яр. — Ярославская область

Названия языков:

арм. — армянский язык
 болг. — болгарский язык
 в.-луж. — верхнелужицкий язык
 греч. — греческий язык
 др.-инд. — древнеиндийский язык
 др.-русс. — древнерусский язык
 и.-е. — индоевропейский праязык
 карел. — карельский язык
 лат. — латинский язык
 лит. — литовский язык
 лтш. — латышский язык
 н.-луж. — нижнелужицкий язык
 общеслав. — общеславянское
 польск. — польский язык
 праслав. — праславянский язык
 русск. — русский язык
 сербохорв. — сербохорватский язык
 словен. — словенский язык
 укр. — украинский язык
 фин. — финский язык
 чеш. — чешский язык

Прочие:

см. — смотри
 ср. — сравни
 суфф. — суффикс
 т. д. — так далее

ЛИТЕРАТУРА

1. Фасмер М. Этимологический словарь русского языка: в 4 т. М., 1964–1973. 2. Картотека «Словаря говоров Русского Севера» (хранится на кафедре русского языка и общего языкознания УрФУ). Не опубликовано.
3. Архангельский областной словарь / под ред. О. Г. Гецовой. М., 1980–2001. Вып. 1–3. 4. Толковый словарь русского языка с включением сведений о происхождении слов / отв. ред. Н. Ю. Шведова. М., 2008.
5. Этимологический словарь современного русского языка: в 2 т. / сост. А. К. Шапошников. М., 2010. 6. Словарь русских говоров Карелии и сопредельных областей. СПб., 1994–2005. Вып. 1–6. 7. Матвеев А. К. Пермские элементы в субстратной топонимике Русского Севера // Советское финноугроведение. 1968. № 1. С. 27–37.
8. Шилов А. Л. Ареальные связи топонимии Заволочья и географическая терминология Заволочьской Чуди // Вопросы языкознания. 1997. № 6. С. 3–21. 9. Куликовский Г. И. Словарь областного олонецкого наречия в его бытовом и этнографическом применении. СПб., 1898. 10. Словарь русских народных говоров. М.; Л., СПб., 1965. Вып. 1–43. 11. Kalima J. Die ostseefinnischen Lehnwörter im Russischen // MSFOu. Helsinki, 1919. XLIV.
12. Меркурьев И. С. Живая речь кольских поморов. Мурманск, 1979. 13. Ярославский областной словарь. Ярославль, 1981–1991. Вып. 1–10. 14. Словарь русских говоров Низовой Печоры: в 2 т. СПб., 2003, 2005.
15. Дилакторский П. А. Словарь областного вологодского наречия в его бытовом и этнографическом применении. Вологда, 1902. 16. Дополнение к «Опыту областного великорусского словаря». СПб., 1858.
17. Черных П. Я. Историко-этимологический словарь русского языка: 13560 слов: в 2 т. М., 1994. 18. Словарь современного русского литературного языка: в 17 т. М.; Л., 1950–1956.

Сведения об авторе

Теуш Ольга Анатольевна — кандидат филологических наук, доцент кафедры русского языка и общего языкознания Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина.

E-mail: olga.teush@yandex.ru

Author Affiliation

Olga A. Teush— PhD (Philology), Associate Professor of the Ural Federal University

E-mail: olga.teush@yandex.ru

Библиографическое описание статьи

Теуш, О. А. Названия логовищ зверей в диалектах Европейского Севера России / О. А. Теуш // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2016. — № 4 (27). — С. 121–125.

Reference

Teush Olga A. The Names of the Lair of Beasts in the Dialects of the European North of Russia. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 121–125. (In Russ.).

**VIII Конференция-школа молодых ученых
«Геотехнология и обогащение полезных ископаемых»**

Горный институт КНЦ РАН, 16 ноября 2016 г.

Конференция состоялась в г. Апатиты в рамках VI Международной конференции «Горнодобывающая промышленность Баренцева/Евро-Арктического региона: взгляд в будущее».

Участники конференции — молодые ученые, аспиранты и специалисты Горного института КНЦ РАН и АО «Ковдорский ГОК».

Было заслушано три лекции ведущих научных сотрудников ГоИ КНЦ РАН и 12 докладов молодых специалистов. В большинстве заслушанных докладов отражены современные теоретические подходы и практические решения проблем.

Участники конференции-школы отметили важность и необходимость регулярного ее проведения с целью объединения научных и производственных связей молодых ученых и специалистов региона.

**XXVII Молодежная научная школа-конференция, посвященная памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова
«Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северо-Запада России»**

Геологический институт КНЦ РАН, 3–7 ноября 2016 г.

Образовательный и научный вектор конференции задан тремя пленарными докладами, которые в логической связке перешли в работу научных секций. Работали секции: «Месторождения полезных ископаемых» (8 докладов); «Региональная геология, геохронология и стратиграфия» (2 доклада); «Геохимия, минералогия и петрология» (8 докладов); «Геофизика и строение земной коры» (2 доклада); «Геоэкология и четвертичная геология» (11 докладов). Практически все секции были дополнены докладами стендовой сессии (9 докладов). Среди авторов состоявшихся докладов 92 исследователя из Апатитов (ГИ, ИППЭС КНЦ РАН, АФ МГТУ), Кировска (АО «Апатит»), Петрозаводска (ИГ КарНЦ РАН, ПетрГУ), Санкт-Петербурга (ИНЗ СПбГУ, Санкт-Петербургский горный университет, ИГГД РАН, ВСЕГЕИ, АО «Росгеология»), Сыктывкара (ИГ КомиНЦ РАН, СыктГУ), Москвы (МГУ, МГРИ, ГЕОХИ и ИГЕМ РАН), Черноголовки (ИЭМ РАН), Новосибирска (НГУ, ИГМ СО РАН), Улан-Уде (БурятГУ, ГИН СО РАН), а также из Канады (Университет Манитоба) и Великобритании (Школа наук о Земле и океане университета Кардиффа).

В рамках конференции прозвучали три пленарных доклада: В. В. Балаганский «Палеопротерозойская тектоника Балтийского щита»; И. А. Алексеев «Открытие месторождений полезных ископаемых: наука, системная разведка и удача»; Н. Ю. Грошев «Международные сообщества по геологии рудных месторождений и перспективы молодых «экономических геологов». Все доклады опубликованы в материалах конференции, размещенных на сайте ГИ КНЦ РАН.

Конференция прошла под эгидой Геологического института КНЦ РАН и Совета молодых ученых института. Финансовая поддержка была оказана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 16-35-10363).

**XIII Всероссийская (с международным участием) научная школа
«Математические исследования в естественных науках»**

Геологический институт КНЦ РАН, 17–18 октября 2016 г.

При информационной поддержке Кольского отделения и Комиссии по истории Российского минералогического общества прошла XIII Всероссийская (с международным участием) научная школа «Математические исследования в естественных науках». В этот раз на конференции сделано 9 докладов, причем один прозвучал по Scyре. Ещё 8 авторов прислали свои статьи для публикации. Очно и заочно в XIII Научной школе участвовали ученые из разных городов России (Москва, Владимир, Мирный, Томск, Благовещенск), а также Украины (Киев) и Молдовы (Кишинев). С пленарным докладом выступил Ю. Л. Войтеховский. По итогам работы научной школы будет выпущен сборник, в который войдут 18 статей по 3 секциям: «Математика и кристаллография», «Геология и геофизика», «Химия и биология».

Международная научная школа-конференция**«Климат и эколого-географические проблемы Российской Арктики»*****Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, 10–14 сентября 2016 г.***

Совместно с ФГБУН Институтом географии РАН, Географическим факультетом МГУ им. М. В. Ломоносова, ФГБУН Институтом физики атмосферы РАН им. А. М. Обухова провели в г. Апатиты Международную школу-конференцию молодых ученых «Климат и эколого-географические проблемы Российской Арктики». Финансовую поддержку мероприятия оказали: Русское географическое общество (грант РГО 34/2016-Р), Российский научный фонд (проект № 14-47-00049 — Влияние антропогенных и естественных эмиссий парниковых и загрязняющих примесей на климатические и экосистемные изменения в Евразии), а также технологическая платформа «Технологии экологического развития»; Российский фонд фундаментальных исследований (грант № 15-55-71004) и ИКЗ СО РАН: The Belmont Forum project NIARC «Anthropogenic Heat Islands in the Arctic: Windows of the Future of the Regional Climates, Ecosystems, and Societies». В рамках Школы-конференции состоялись лекции ведущих ученых и доклады молодых специалистов в области исследования биологии, экологии, географии, палеогеографии, климатологии и океанологии полярных районов России.

На конференции был рассмотрен широкий круг проблем по следующим направлениям:

- эволюция и современная динамика наземных и морских экосистем Арктики;
- современное состояние и возможные изменения климатической системы Арктики;
- история изучения и освоения Российской Арктики;
- эколого-экономические и социальные проблемы Арктики;
- перспективы развития Арктического региона в условиях изменения климата.

Тематика конференции была посвящена изучению природы, проблемам освоения и сохранения Арктики, перспективам развития Арктического региона — весьма актуальным в настоящее время как с фундаментально-научной стороны, так и с чисто практической. Оценивалось качество состояния и эволюции экосистем Арктики, рассматривались вопросы их сохранения и устойчивого развития, а также социально-экономические проблемы освоения богатейших природных ресурсов Северной Евразии. В работе конференции приняли участие представители 15 исследовательских институтов, вузов и организаций из 7 городов России: Институт географии РАН (г. Москва); Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (г. Москва); Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН (г. Москва); Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (г. Апатиты); Хибинская учебно-научная база (г. Кировск); Российский государственный гидрометеорологический университет (г. Санкт-Петербург); Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск); Воронежский институт высоких технологий (г. Воронеж); Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург); Институт наук о Земле (г. Санкт-Петербург); Рязанский государственный университет им. С. А. Есенина (г. Рязань); Научно-исследовательский институт космической гидрометеорологии «Планета» (г. Москва); Гидрометцентр России (г. Москва); Институт оптики атмосферы СО РАН (г. Томск); Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН (г. Кировск).

В конференции приняли участие 75 чел., среди них сотрудники ИППЭС КНЦ РАН — 4 чел., представители других городов России — 69 чел., 1 зарубежный ученый. Были заслушаны 12 лекций ученых из ведущих институтов и университетов городов Москвы, Рязани, Апатитов и 45 устных докладов молодых ученых. Состоялся круглый стол «Введение в наукометрию» для молодых специалистов. Проведенное мероприятие в виде заслушанных лекций, докладов и дискуссий способствовало выявлению новых тенденций по изменению климата Арктического региона, оценке реакций и адаптационных механизмов живых организмов при различных сценариях климатических изменений и техногенных нагрузок в Арктике. Российские ученые в последние годы увеличили свое внимание к Арктике как региону, имеющему важное стратегическое и ресурсное значение. Успешное проведение данной конференции базируется на наличии кадров высокой квалификации в организациях, участвующих в подготовке данного мероприятия.

Руководство секциями успешно осуществляли молодые ученые — кандидаты географических, технических, биологических наук. Лекторы — доктора географических и технических наук — являлись катализаторами научных дискуссий, вовлекая в них молодежь. Все заседания были оснащены соответствующей оргтехникой. Была учтена многоплановость и комплексность эколого-географических исследований в обеспечении устойчивого развития Арктики.

VI Всероссийская научная конференция с международным участием

«Экологические проблемы северных регионов и пути их решения»

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН 10–14 сентября 2016 г.

Совместно с Лапландским государственным природным биосферным заповедником при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Отделения наук о Земле РАН провели в г. Апатиты VI Всероссийскую научную конференцию с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения». На конференции был рассмотрен широкий круг проблем по следующим тематическим разделам:

- природная и антропогенная динамика тундровых и лесных экосистем, сохранение биоразнообразия; современные подходы и технологии в природоохранной деятельности;
- современные тенденции изменения водных экосистем Севера;
- геохимия природных сред, моделирование природных процессов и технологические аспекты охраны окружающей среды;
- человек в условиях Крайнего Севера: социально-экономические и медицинские аспекты.

Было заслушано 73 устных и представлено 6 стендовых докладов.

В докладах было уделено внимание антропогенной и природной динамике тундровых и лесных экосистем, сохранению биоразнообразия, современным тенденциям изменения водных экосистем Севера, геохимии природных сред, моделированию природных процессов и технологическим аспектам охраны окружающей среды, влиянию природных и социально-экономических условий на здоровье человека в районах Крайнего Севера, а также развитию современных подходов и ресурсосберегающих технологий в природоохранной деятельности.

В работе конференции приняли участие представители 46 исследовательских институтов, вузов, заповедников и организаций из 13 городов России и 2 городов Финляндии. Среди участников конференции — коллеги из профильных институтов городов Москвы, Санкт-Петербурга, Петрозаводска, Сыктывкара, Томска, Пущино, Кировска, Мончегорска, Колари и Турку (Финляндия), пос. Раякоски.

Международная научная школа-конференция

«Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение»

Кольский научный центр РАН, Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, 5–9 сентября 2016 г.

Совместно с Мурманским отделением Русского ботанического общества (МО РБО) при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) проведена в г. Апатиты Мурманской области с 5 по 9 сентября 2016 г. Международная научная школа-конференция «Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение». Участники совещания обсудили широкий круг вопросов, связанных с изучением систематики прокариот, экологии и географического распространения представителей этой группы. Были рассмотрены различные аспекты, связанные с «цветением» водоемов. Уделено внимание методам сбора, культивирования и идентификации цианопрокариот. Общее число участников конференции — 60 чел., из них: ученых ИППЭС КНЦ РАН — 8 чел., отечественных ученых, не являющихся работниками ИППЭС КНЦ РАН, — 30 чел., зарубежных ученых — 1 чел. Сотрудниками Института было сделано 3 устных доклада.

В рамках школы-конференции проведен круглый стол, на котором обсуждались вопросы изменений в систематике цианопрокариот, базы данных по биоразнообразию цианопрокариот, вопросы экологии. Проведенное мероприятие в виде заслушанных устных докладов и состоявшихся дискуссий способствовало: консолидации усилий ученых разных специальностей (альгологов, микробиологов, генетиков, молекулярных биологов, физиологов), занимающихся различными аспектами изучения цианопрокариот; созданию внутрироссийской платформы — площадки для проведения дискуссий и взаимодействия российских ученых с ведущими международными коллегами, занимающимися изучением цианопрокариот; широкому обсуждению современных международных достижений в области изучения цианопрокариот; передаче основных теоретических и практических навыков, приемов и методов работы от ведущих специалистов к начинающим исследователям — аспирантам и студентам. Важной частью школы-конференции стали три полевые экскурсии, на которых были продемонстрированы методы сбора образцов, фиксации экологических параметров местообитаний, измерение газообмена, азотфиксации в природных популяциях в условиях Хибинских гор. На специально организованной микроскопной сессии проведены практические семинары, посвященные современным методам микроскопии и морфологической идентификации видов. Все секционные заседания были оснащены соответствующей оргтехникой, микроскопная сессия была обеспечена современными микроскопами и бинокулярами.

Следующую школу-конференцию «Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение» предложено провести в Сыктывкаре на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН в 2018 г.

Маслобоев, А. В. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике: монография / А. В. Маслобоев, В. А. Путилов. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016. — 222 с.

В монографии представлены результаты цикла исследований в области разработки информационных технологий для поддержки управления безопасностью региональных социально-экономических систем Арктической зоны России — от формализации понятия региональной безопасности до реализации и исследования моделей и технологий автоматизации и координации процессов обеспечения безопасности регионального развития. Авторами предложены методология и инструментарий информационной поддержки принятия решений в сфере управления региональной безопасностью. Разработки основаны на интеграции методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования, а также теории иерархических многоуровневых систем, и позволяют существенно повысить эффективность системы обеспечения региональной безопасности за счет формирования целостной информационной инфраструктуры безопасности региона и реализации модели сетецентрического управления. Приложения разработок представлены в едином контексте формирования, конфигурирования и координации взаимодействия виртуальных организационных структур управления региональной безопасностью на задачах и сценариях из области экономической, экологической, инновационной и кадровой безопасности (на примере Мурманской области).

Монография рассчитана на широкий круг читателей, профессионально интересующихся проблемами управления безопасностью сложных систем, и ориентирована на исследователей в области управления социально-экономическими системами, студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей.

Мелконян, Р. Г. Экологические проблемы использования техногенного сырья в производстве стекла и керамики / Р. Г. Мелконян, Д. В. Макаров, О. В. Суворов. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016. — 224 с.

Представлен обзор зарубежных и отечественных исследований по утилизации различных промышленных отходов в производстве стекла и керамики. Показано, что в ряде случаев использование отходов приводит к улучшению свойств материалов. Утилизация крупнотоннажных промышленных отходов, прежде всего горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов, в керамические строительные материалы экономически эффективна и направлена на решение экологических и социальных проблем.

Представляет интерес для специалистов, работающих в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, химиков-технологов, специалистов в области строительного материаловедения, геоэкологов, а также студентов вузов, обучающихся соответствующим специальностям.

Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: материалы X Межрегиональной науч.-технич. конф. молодых ученых, специалистов и студентов вузов (Апатиты, 20–22 апреля 2016 г.) / под ред. чл.-корр. РАН А. И. Николаева, канд. хим. наук Д. П. Домонова; Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Кольского науч. центра РАН; Мурманский гос. техн. ун-т; Администрация Мурманской обл.; Мин-во образования и науки Мурманской обл. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016. — 150 с.

Сборник содержит доклады научно-практической конференции, посвященные изучению актуальных проблем переработки и применения минерального сырья Кольского п-ова. Представленные доклады включают результаты исследований по разработке научных основ переработки комплексного сырья и техногенных отходов гидро- и пирометаллургическими методами, синтезу, изучению свойств и применению новых функциональных материалов. Рассмотрены вопросы сорбции и экстракции цветных и редких металлов с использованием различных типов сорбентов и экстрагентов. В работах молодых ученых широко раскрывается проблематика производства стройматериалов в Мурманской обл., предложены некоторые пути их решения с использованием техногенных отходов.

Север и Арктика в новой парадигме мирового развития: актуальные проблемы, тенденции, перспективы: научно-аналитический доклад / под науч. ред. д. э. н., проф. В. С. Селина, д. э. н., проф. Т. П. Скуфьиной, к. э. н., доц. Е. П. Башмаковой, к. э. н., доц. Е. Е. Торопушиной. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016. — 420 с.

Научно-аналитический доклад подготовлен в соответствии с тематикой VIII Международной научно-практической конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2016».

В представленных материалах нашли отражение мнения широкого круга экспертов, специалистов бизнес- и научно-образовательного сообщества, представителей государственной власти по различным направлениям и сферам социально-экономического развития пространства Севера и Арктики России.

В подготовке научно-аналитического доклада приняли участие представители Правительства Мурманской области, Института экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Горного института КНЦ РАН, Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, Южного научного центра РАН, Центра гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН, Центра экономики Севера и Арктики СОПС, Института экономики УрО РАН, Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, АО «Штокман Девелопмент АГ», Санкт-Петербургского государственного экономического университета, Кольского филиала ПетрГУ, Территориального органа службы государственной статистики по Санкт-Петербургу и Ленинградской области.

Север и рынок: формирование экономического порядка: научно-информационный журнал / учредитель Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016, № 2 (49). — 138 с.

Север и рынок: формирование экономического порядка: научно-информационный журнал / учредитель Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016, № 3 (50). — 183 с.

Скуфья, Т. П. Региональное развитие России в контексте макроэкономических движений / Т. П. Скуфья. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016. — 126 с.

Монография посвящена представлению проблем регионального развития России в контексте глобальных и национальных движений. Тенденции социально-экономического развития России и ее регионов синхронизированы с глобальными ритмами и циклами. Подробно рассмотрены информационно-коммуникационные технологии в России во взаимосвязи с экономическими характеристиками регионов, а также с позиций соответствия мировым тенденциям. Феномен межрегиональной дифференциации социально-экономического пространства России рассмотрен как отражение глобальных движений и национальной политики. Отдельное внимание уделено вопросам развития российского Севера и Арктики в их сопряжении с мировыми и национальными приоритетами, тенденциями, особенностями.

Исследование выполнено в рамках работ над госзаданием ФГБУН ИЭП КНЦ РАН, а также над серией НИР, поддержанных грантами научных фондов. В частности, получили отражение вопросы, рассматриваемые в исследованиях, поддержанных грантом РФФИ № 16-06-00056 (параграф 1.1), а так же грантами РГНФ № 14-02-00128 (параграфы 1.2-1.4, 4.1,4.2), № 16-32-00019 (параграф 3.3), № 15-02-00127 (глава 2), РГНФ и Правительства Мурманской области № 16-12-51004 (параграфы 3.1, 3.2, 4.1).

Монография рассчитана на широкий круг специалистов, включая научных работников, преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, а также рекомендована аспирантам по специальностям 08.00.01, 08.00.05, 08.00.13.

Труды КНЦ РАН. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016, Вып. 2 (38). — 178 с. (Гелиогеофизика).

Труды КНЦ РАН. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016, Вып. 9 (37). — 186 с. (Гуманитарные исследования).

Финансовое обеспечение развития северных регионов: монография / под науч. ред. Г. В. Кобылинской. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016. — 193 с.

В коллективной монографии рассматриваются процессы формирования, распределения и использования финансовых ресурсов в целях регионального развития северных территорий. Исследуются теоретические основы организации финансовых потоков с концентрацией внимания на оценке финансового потенциала, определяются налогово-бюджетные инструменты и механизмы с оценкой их воздействия на региональное развитие, выявляются структурные особенности инвестиционных процессов в регионах Севера. Оценивается влияние корпоративного управления на финансовое обеспечение северных территорий. Выявляются факторы, определяющие направления движения капитала, оцениваются последствия функционирования северной экономики в условиях глобализации.

Работа рассчитана на широкий круг специалистов, включая научных работников и преподавателей, государственных и муниципальных служащих.

Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук. — Апатиты: КНЦ РАН, 2016. — 344 с.

VI Всероссийская научная конференция с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» посвященна 120-летию со дня рождения Г. М. Крепса и 110-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского. Сборник содержит 87 статей, в которых уделено внимание антропогенной и природной динамике тундровых и лесных экосистем, сохранению биоразнообразия, современным тенденциям изменения водных экосистем Севера, геохимии природных сред, моделированию природных процессов и технологическим аспектам охраны окружающей среды, влиянию природных и социально-экономических условий на здоровье человека в районах Крайнего Севера, развитию современных подходов и ресурсосберегающих технологий в природоохранной деятельности. Также анализируется значимость заповедников в сохранении биоразнообразия северных экосистем.



Юбилеи

70



АДРОВ Николай Михайлович

к. г. н., ведущий научный сотрудник лаборатории океанографии и радиоэкологии Мурманского морского биологического института. В Кольском научном центре с 1990 г.

Ученый-океанолог, специалист в области изучения водных масс Мирового океана. Исследовал зависимости между физическими и гидрохимическими характеристиками океанских вод для косвенных оценок затрат энергии и обмена веществ в системе «океан — атмосфера — биосфера». Ввел понятие векторных термогалинных и термоокислительных диаграмм, с помощью которых оценил величины энергомассообмена между водными массами различного генезиса и атмосферой. На основе диаграмм рассеяния термогалинных и термоокислительных индексов разработал способ расчета вкладов адвективной и конвективной составляющих в трансформацию водных масс и предложил метод расчета физической и биологической составляющих дефицита растворенного кислорода, наблюдаемого в океаносфере. Предложил классификацию океанских вод по структурному и климатическому признакам. Разработал общую теорию водных масс, нацеленную на решение климатических задач и прогнозирование. Принимал участие в международном проекте GODAR и разработке морских атласов (Washington, D. C., 1998, 2000). Автор работ по истории и методологии морских исследований. Результаты своих научных исследований и расчетов активно использует для преподавания в вузах г. Мурманска.

Поздравляем Николая Михайловича со славным юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, новых научных открытий и достижений!



ДЖЕНЮК Сергей Львович

д. г. н., главный научный сотрудник лаборатории океанографии и радиоэкологии Мурманского морского биологического института. В Кольском научном центре с 1994 г.

Специалист в области океанологии, морского природопользования, информационного сопровождения морской деятельности. Долгое время занимался исследованиями морского ветрового волнения и его прогнозированием. Результаты этих работ включены в действующее «Наставление по службе морских прогнозов». Выполнил ряд исследований гидрометеорологического режима Баренцева моря. Был одним из ведущих авторов и редакторов монографии «Баренцево море» (1990), которая до настоящего времени является наиболее полной сводкой знаний об этом бассейне и широко используется в рыбопромысловых исследованиях, в технологическом и экологическом сопровождении морского нефтегазового комплекса, при планировании транспортных операций. В настоящее время специализируется на актуальных для Мурманской области проблемах организации комплексного экологического мониторинга арктических морей и побережий. На протяжении нескольких лет был ответственным исполнителем крупного проекта «Комплексные исследования Баренцева, Белого и Балтийского морей» ФЦП «Мировой океан», по результатам которого получены новые данные о современных климатических и океанологических процессах, биоресурсном и минерально-ресурсном потенциале северных морей, выполнены оценки экологической ситуации. Ведет активную преподавательскую работу в вузах г. Мурманска.

За большой вклад в развитие науки и укрепление потенциала Мурманской области награжден значком «Отличник гидрометслужбы СССР» (1981), Почетной грамотой государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (1986), Почетной грамотой Мурманской областной думы (2005), Почетной грамотой Министерства образования и науки РФ (2010), отмечен благодарственным письмом Президиума Кольского научного центра РАН (2005) и благодарностью Губернатора Мурманской области (2015).

Поздравляем Сергея Львовича со славным юбилеем, желаем бодрости, отличного настроения и новых творческих свершений на благо российской науки!



Юбилеи



Юбилеи

60



КАШУЛИН Николай Александрович

д. б. н., заслуженный эколог РФ. В Кольском научном центре РАН с 1973 г., в Институте проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН — с марта 1989 г.

После окончания биологического факультета Петрозаводского университета и работы в управлении Мурманрыбвод с 1991 по 1994 гг. обучался в аспирантуре Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова РАН и занимался проблемой влияния процессов закисления и загрязнения водоемов тяжелыми металлами на рыб.

Научные интересы Николая Александровича охватывают широкий круг исследований в области экологии водных экосистем, ихтиологии, охраны и рационального природопользования: биоразнообразие ихтиофауны Европейского Севера, динамика популяций рыб, биохимические и физиологические ответы организмов рыб на техногенное загрязнение, механизмы токсичности тяжелых металлов, геохимия водоемов и их водосборных территорий, динамика продукционных процессов в водоемах, палеолимнология, применение в экологических исследованиях новых информационных технологий и др. Широкоизвестен не только в российских научных кругах, но и за рубежом, постоянно участвует в совместных с учеными стран Северной Европы международных проектах, направленных на изучение пресноводных экосистем Евро-Арктического региона.

Последнее время он уделяет большое внимание проблемам трансформации пресноводных экосистем Арктики и Субарктики под воздействием глобальных и региональных изменений окружающей среды, биоиндикации этих процессов. Им разрабатываются методологические подходы использования показателей состояния биологических систем различного уровня организации для индикации загрязнения водоемов тяжелыми металлами. Большое внимание уделяется оценкам продолжительных слабых (сублетальных) токсичных воздействий на ихтиофауну Кольского п-ова. На примере популяций сига, испытывающих градиентные нагрузки тяжелых металлов, им впервые показана зависимость ряда показателей различного уровня от величины нагрузки на водоем, в частности дозозависимое влияние тяжелых металлов на возраст полового созревания сигов, частота и тяжесть патологий жизненноважных органов, уровни накопления тяжелых металлов и др.

Прекрасно владеет методами обобщения и обработки информации, зарекомендовал себя специалистом в области использования современной компьютерной техники. Им лично

были разработаны идеология и структура базы данных по ихтиофауне Кольского п-ова, макет для сбора информации в полевых условиях и последующей ее обработки в рамках БД. Данный метод был апробирован при выполнении международных проектов и широко применяется в ихтиологических исследованиях Института. Активно участвовал в разработке и реализации проекта KOLANET — создание экоинформационной региональной сети, в рамках которого еще в начале 1990-х гг. была переоснащена компьютерная база ИППЭС, создана локальная сеть с выходом в INTERNET и информационный центр Института. Один из создателей первого на Кольском п-ове www-журнала.

Николай Александрович — научный руководитель ряда тем НИР, международных проектов и хозяйственных работ по оценке антропогенного воздействия на арктические пресноводные экосистемы. Последние годы регулярно возглавляет проекты фундаментальных исследований, получившие поддержку Российского фонда фундаментальных исследований, Отделения биологических наук РАН и Отделения наук о Земле РАН.

Занимая должность заместителя директора Института по научной работе, Николай Александрович курирует направления фундаментальных исследований, связанных с оценкой ответных реакций биологических систем различного уровня на глобальные и локальные изменения окружающей среды, минимизацией негативных воздействий горно-промышленных предприятий на природные комплексы Заполярья, занимается координацией международных программ исследований, формулирует направления исследований, организует составление программ и планов работ, определяет методы и средства их проведения, координирует деятельность соисполнителей работ в руководимых им направлениях, анализирует и обобщает полученные результаты и данные мировой и отечественной науки в соответствующей области, координирует проведение полевых работ.

Большие усилия прилагаются им в организации работ аналитического Центра коллективного пользования Института, который он возглавляет. Им проделана большая работа по переоснащению ЦКП новыми современными оборудованием и приборами, внедрение новых стандартов качества химико-аналитических работ и их оценки, что позволяет провести аккредитацию ЦКП в системе аккредитации аналитических лабораторий, а Институту сохранить лидирующие позиции в области элементного анализа природных сред в регионе, о чем свидетельствуют регулярное привлечение аналитической службы Института к выполнению международных и отечественных проектов, а также результаты международных интеркалибровок.

Значительная часть его деятельности направлена на практическую реализацию Институту накопленных научных знаний и творческого потенциала коллектива в ходе реализации крупных контрактов с промышленными предприятиями. Николай Александрович проводит научную экспертизу проектов исследований и результатов законченных исследований и разработок, определяет сферу применения результатов исследований, полученных под его руководством, и обеспечивает



ЖОбяры



Юбилеры

научное руководство их практической реализацией. Н. А. Кашулин прилагает большие усилия по совершенствованию научно-исследовательского процесса в Институте. Им организован полевой стационар «Имандра». Имеет большой опыт в проведении научных встреч различного, в том числе международного, уровня.

Лично и в соавторстве им опубликовано более 240 научных работ. Обширная научная и организаторская работа Н. А. Кашулина умело сочетается им с преподавательской деятельностью. Он является организатором и заведующим кафедрой «Биология» экологического факультета Кольского филиала Петрозаводского государственного университета, возглавляет и входит в состав ряда аттестационных и экзаменационных комиссий университетов, успешно руководит дипломными работами. Под его научным руководством в аспирантурах Института и ПетрГУ проходят обучение ряд аспирантов. Трое из них успешно защитили диссертационные работы.

За заслуги в области экологии и многолетний добросовестный труд Н. А. Кашулину присвоено звание «Заслуженный эколог РФ», неоднократно награждался почетными грамотами Правительства Мурманской области, РАН и КНЦ РАН.

Поздравляем Николая Александровича с юбилеем и желаем здоровья, счастья, радости и новых творческих свершений на благо российской науки!

Научное издание

ВЕСТНИК КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

4/2016(27)

Требования к оформлению статей см.:

<http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/trebovaniya.pdf>

Редактор А. С. Менделева

Технический редактор В. Ю. Жиганов

Подписано к печати 26.12.2016

Формат бумаги 60x84 1/8

Гарнитура Times New Roman

Усл. печ. л. 16. Заказ № 51. Тираж 500 экз.

Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Кольский научный центр Российской академии наук
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14



КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, 14

KOLA SCIENCE CENTRE
14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, RUSSIA

