

Российская Академия Наук

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

4/2013



- естественные и технические науки
- конференции, семинары
- новые книги
- юбилеры
- contents

4/2013 (15)

издается с декабря 2009 года

ISSN 2307-5228

ISBN 978-5-91137-265-1

Российская Академия Наук

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

Учредитель - Учреждение Российской академии наук Кольский научный центр РАН

Главный редактор - академик В.Т.Калинников

Заместители главного редактора:

д.г.-м.н. В.П.Петров,
д.т.н. А.Я.Фридман (руководитель редакции)

Редакционный совет:

академик Г.Г.Матишов, академик Н.Н.Мельников,
академик Ф.П.Митрофанов, чл.-корр. В.К.Жиров,
чл.-корр. А.И.Николаев, д.г.-м.н. Ю.Л.Войтеховский,
д.т.н. Б.В.Ефимов, д.э.н. Ф.Д.Ларичкин,
д.т.н. В.А.Маслобоев, д.т.н. В.А.Путилов,
д.ф.-м.н. Е.Д.Терещенко,
к.г.-м.н. А.Н.Виноградов (ответственный секретарь)

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

Реферируется в РЖ и базе данных ВИНТИ

Требования к оформлению статей см.:

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

184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, д.14.

Кольский научный центр РАН, редакция журнала "Вестник Кольского научного центра РАН"

Тел.(81555)79226. Факс (81555)76425

E-mail: usov@admksk.apatity.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

О.В. Шабалина, Е.Я. Пация	Персональный фонд акад. А.Е. Ферсмана Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера.....	3
Н.К. Белишева, Н.А. Мельник, Ю.В. Балабин, Т.Ф. Буркова, Л.Ф. Талыкова	Вклад техногенных и природных источников ионизирующего излучения в структуру заболеваемости населения Мурманской области.....	9
В.П. Петров, Л.С. Петровская, М.Н. Петровский, М.Г. Тимофеева	Высококальциевые алюмосиликатные гнейсы Центрально-Кольского блока: геологическая и метаморфическая природа.....	27
Г.Ю. Иванюк, А.О. Калашников, В.А. Сохарев, Я.А. Пахомовский, А.В. Базай, Ю.А. Михайлов, Н.Г. Коноплева, В.Н. Яковенчук, П. М. Горяинов	Трехмерное минералогическое картирование Ковдорского комплексного месторождения магнетита, апатита, бадделеита.....	44
Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.В. Лукичев	Большие глубины – новые технологии.....	58
Г.И. Кадырова, Е.К. Копкова, Е.А. Щелокова, П.Б. Громов	Изучение механизма экстракции фосфорной кислоты одноатомными алифатическими спиртами методом ИК-спектроскопии.....	67
В.Г. Кременецкий С.А. Кузнецов	Квантовохимическое исследование состава устойчивых комплексных частиц в расплавах галогенидов щелочных металлов.....	74
Т.А. Корнилова, И.А. Корнилов	Событие СМЕ (корональный выброс массы) 24.01.2012 по наземным и спутниковым данным.....	78
Д.Г. Ишкулов, А.Л. Михайлюк, М.В. Пахомов	Особенности цветовосприятия у серых тюленей.....	84
О.Н. Светочева, Е. Эриксен	Морфологическая характеристика отолитов некоторых донных рыб Баренцева моря.....	91
А.В. Мелехин	Дополнения к лишенобиоте мурманской области.....	105
М.В. Корнейкова	Микобиота воздушной среды обитания в зоне воздействия промышленных предприятий на Кольском п-ове.....	108
А.Ф. Усов	«Импульс» российско-китайскому научно-техническому сотрудничеству.....	113
	КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ.....	117
	НОВЫЕ КНИГИ.....	119
	ЮБИЛЯРЫ.....	120
	CONTENTS.....	121

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 (ответственный секретарь редколлегии).

Редактор: А.С. Менделева, информационная поддержка: И.Г. Савчук, Л.А. Тимофеева, З.А. Уланова.

Зав. издательством, художественный редактор М.С. Строчков.

Верстка, фото В.Ю. Жиганов

ПЕРСОНАЛЬНЫЙ ФОНД АКАДЕМИКА А.Е. ФЕРСМАНА МУЗЕЯ-АРХИВА ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА ЦГП КНЦ РАН

О.В. Шабалина, Е.Я. Пация

Центр гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН

Аннотация

Представлены материалы персонального фонда академика А.Е. Ферсмана, которые хранятся в Музее-Архиве истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН.

Ключевые слова:

Музей-Архив, Кольский Север, Северное Отделение Географического общества СССР, история изучения и освоения Кольского п-ова, А.Е. Ферсман, персональный фонд, ЦГП КНЦ РАН.



Музей-Архив истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН в городе Апатиты Мурманской области существует 38 лет. Своеобразие истории создания его в том, что изначально возникла *идея*. Под нее был составлен план, определен круг персоналий и начался сбор музейных экспонатов. Главными идеологами проекта были два географа – сотрудники Кольского филиала АН СССР, действительные члены Географического общества (ГО) СССР к.г.н. Борис Иванович Кошечкин и д.г.н. Иона

Лазаревич Фрейдин, вдохновленные решением V Съезда ГО СССР в 1970 г. о восстановлении Центрального географического музея – детища известного географа В.П. Семенова-Тян-Шанского. В качестве первого шага делегаты съезда договорились организовать в 1971–1974 гг. Музей истории ГО СССР. Вернувшись в г. Апатиты, Борис Иванович Кошечкин (1931–1995) – ученый, краевед, популяризатор науки [1] – немедленно приступил к делу. По его замыслу, экспозиция музея, который без сомнения должен был состояться в маленьком заполярном городе, была посвящена истории научных исследований на Европейском Севере России. К этому времени практически все филиалы ГО Северо-Запада объединились в Северный филиал ГО СССР (СФ ГО СССР) с центром в г. Апатиты, председателем президиума которого и был избран заведующий лабораторией Четвертичной геологии ГИ КФАН СССР Б.И. Кошечкин. Кроме того, Апатиты того времени – город с интенсивно развивавшейся промышленностью. И именно промышленные предприятия взяли на себя роль коллективных членов СФ ГО СССР, создав Обществу надежную материальную базу, что существенно отличало филиал от подобных организаций в других городах. Вероятно, именно в силу провинциального положения города, к работе Общества с интересом отнесся широкий контингент научной интеллигенции. На этот период приходится особо активная деятельность Северного филиала ГО, костяк которого состоял из ученых трех филиалов АН СССР: Кольского, Карельского, Коми, а также специалистов Мурманского филиала Института Арктики и Антарктики, Гидрографической службы Северного военно-морского флота и мн. др. Действительными членами этого общественного объединения становились все желающие, кому не безразличны проблемы охраны природы, вопросы просвещения, история географических открытий на Севере. В СФ ГО был создан Музейный совет, в состав которого вошли представители кафедр истории Петрозаводского и Мурманского пединститутов, Карельского университета, Института языка, литературы и истории КарФ АН СССР. В такой благоприятной атмосфере и с научным подходом энтузиасты приступили к организации Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера.

Для серьезной музейной деятельности в академической среде Кольского филиала АН СССР имелись исторические предпосылки. Его основатель акад. А.Е. Ферсман всегда уделял большое внимание музейной работе. В статье «Музейное, выставочное и лекционное дело»

(1927 г.) он, в частности, писал: «Музеи Академии Наук, еще согласно старым академическим традициям, не являются просто местом хранения и накопления научного материала, а представляют такие научно-исследовательские институты, в которых сочетается научная работа с просветительными и научными выставками...» [2].

Но парадокс заключается в том, что Музей-Архив был задуман как исторический, а в структуре тогда еще Кольского филиала Академии наук СССР не было ни одного гуманитарного подразделения и, более того, отсутствовали всякие предпосылки для его организации. Вузовская наука Мурманской области «в одиночестве» пыталась заполнить гуманитарные «лакуны». Деятельность СФГО СССР, в какой-то мере, «закрывала» нишу гуманитарных исследований: постоянно приглашались специалисты для совместных археологических, этнографических экспедиций в регионе.

И, тем не менее, в 1973 г. организаторами Музея-Архива была начата активная собирательская деятельность, направленная прежде всего на создание музейной экспозиции. В рамках инициативного комплектования в Музее-Архиве велась обширная переписка с исследователями Севера и их семьями. Почти все адресаты – известные не только в России, но и в мире люди, члены семей видных ученых и полярников – не оставили без внимания просьбы о помощи в создании музея и передавали для экспонирования свои материалы и материалы своих родственников, предметы экспедиционного обихода, научный инструментарий, книги, художественные работы. Многие приезжали лично, привозили уникальные документы, фотографии.

28 января 1974 г. в Москву ушел запрос за подписью Б.И. Кошечкина на имя вдовы акад. А.Е. Ферсмана Екатерины Матвеевны Ферсман, где сообщалось, что «естественно [в готовящейся экспозиции нового Музея-Архива], в отделе Советского периода [освоения и изучения Европейского Севера] больше всего места будет уделено исследованиям Александра Евгеньевича». В этом письме Борис Иванович отмечал, с каким вниманием Екатерина Матвеевна отнеслась и какую помощь оказала при организации такой экспозиции в Мурманском краеведческом музее. Также он написал, что осведомлен о том, что Кольский филиал АН СССР в лице Григория Ивановича Горбунова уже обратился за помощью к ней «в устройстве мемориального кабинета Александра Евгеньевича» и высказал опасения в том, что «уже не вполне удобно обращаться» к ней, «но с другой стороны, экспозиция нашего скромного музея серьезно пострадает, если яркая деятельность Александра Евгеньевича на Кольском п-ове будет представлена исключительно в копиях, репродукциях материалов и т.п.». Из-за последнего обстоятельства Борис Иванович изначально обратился только за разрешением «хотя бы обсудить возможность» помощи Е.М. Ферсман. Но все же не удержался и выразил надежду на получение от нее «1–2 страницы подлинного текста, посвященного Кольскому п-ову, написанных рукой Александра Евгеньевича и 1–2 предмета, служивших ему в период экспедиций (полевой дневник, перо и т.п.)» [3]. Екатерина Матвеевна ответила незамедлительно 5 февраля 1974 г.: «Конечно, с удовольствием помогу Вашему музею всем, чем располагаю» [4]. И пожелала больших успехов в организации музея.

В мае 1974 г. Музей-Архив получил в дар от вдовы А.Е. Ферсмана 5 фотоальбомов, ему принадлежавших и иллюстрирующих первые годы строительства и работы треста «Апатит». В феврале 1975 г. в экспозиции Музея-Архива уже демонстрировались личные вещи академика: фотоаппарат, очки с футляром, барометр-анероид (см. рис. 1).

В октябре Екатерина Матвеевна передала в фонд письмо 1931 г. в «Севзапторг» по вопросу о снабжении экспедиции А.Е. Ферсмана теплыми вещами; машинописную рукопись статьи А.Е. Ферсмана «Хибины – школа хозяйства и науки», опубликованную в «Известиях» 12 марта 1934 г.; рукопись некролога «На смерть т. С. Орджоникидзе» (см. рис. 2); фотоматериалы 1935–1936 гг. (диапозитивы на стекле и фотоотпечатки) по изучению снежных лавин в Швейцарии, принадлежавшие А.Е. Ферсману (см. рис. 3).



Рис. 1. Фрагменты экспозиции Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН, посвященные деятельности А.Е. Ферсмана на Кольском п-ове

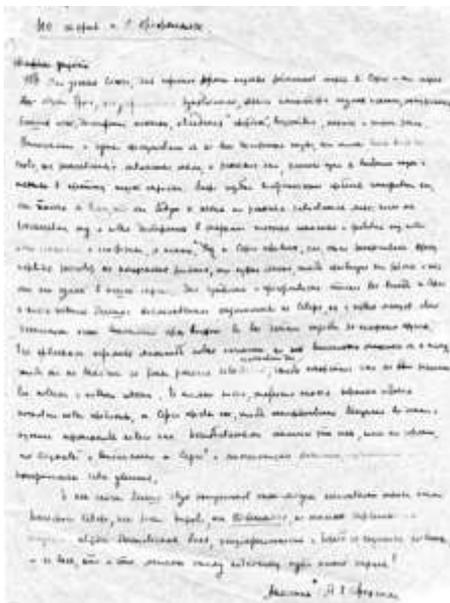


Рис. 2. А.Е. Ферсман. Рукопись некролога «На смерть т. С. Орджоникидзе». 1937. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. ОФ. 31



Рис. 3. Фотоматериалы 1935–1936 гг. (диапозитивы на стекле и фотоотпечатки) по изучению снежных лавин в Швейцарии, принадлежавшие А.Е. Ферсману. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. ОФ. 31

Портретный этюд кисти русского, советского художника Р.Н. Барто, изображающий Александра Евгеньевича и датированный 1939 г., Музей-Архив приобрел у вдовы за 50 руб. (см. рис. 4, 5).



*Рис. 4. Русский, советский художник
Р.Н. Барто (1902–1974)*



*Рис. 5. Портрет акад. А.Е. Ферсмана (1983–
1945). Холст, масло, 1939, худ. Р.Н. Барто*

В 1976 г. прислал свои материалы по истории изучения лавин и лавинной службы в Хибинах Илья Константинович Зеленой. Среди них были письма к дарителю, написанные А.Е. Ферсманом в 1939 г. в процессе подготовки совещания в Хибинах по снегу и лавинам и обсуждения результатов его проведения.

В материалах по организации научного изучения арх. Новой Земли, поступивших в распоряжение Музея-Архива в 1976 г. от наследников д.г.-м.н. Марии Алексеевны Лавровой, были копии писем академика А.Е. Ферсмана об издании сборника, содержащего результаты научных работ, посвященных проблемам архипелага, и с рекомендациями А.К. Шенкману для работы в Комиссии по исследованию Новой Земли. А также протоколы заседаний этой Комиссии с участием Александра Евгеньевича.

Среди материалов писателя Павла Николаевича Лукницкого оказалось письмо от 18 декабря 1931 г. директора Хибинской Горной станции акад. А.Е. Ферсмана в Имандровский колхоз поселка Половинка с просьбой предоставить три упряжки оленей для поездки его экспедиции в Мончетундру.

Александр Евгеньевич известен как гениальный популяризатор научных знаний. В его фонде Музея-Архива есть интересная рукопись – стихи, посвященные академику и написанные под впечатлением от прослушанных лекций А.Е. Ферсмана по драгоценным камням в Комиссии по изучению естественных производительных сил России, датированные 1919 г. Эти лекции вызвали такой интерес у общественности, что в скором времени были опубликованы [5]. В 1922 г. была начата публикация четырехтомного издания «Драгоценные и цветные камни России (СССР)». Первый том вышел в Петрограде в 1922 г.*, второй – уже в Ленинграде в 1925 г.** Автор стихов М. Добрынина зарифмовала полученные знания, щедро снабдив их смелыми метафорами и восторженными эпитетами: «...История камня, движенье, // В природе его находенье, // Период расцвета, забвенья, // Иной раз опять возрожденья // И с ними свое заключенье. // Как призмы лучи разлагают, // Так яркие камни мелькают... // Вот небо в себе

*Ферсман А.Е. Драгоценные и цветные камни России: в 2 т. Т. I. Пг.: РАН, 1922.

**Ферсман А.Е. Драгоценные и цветные камни России: в 2 т. Т. II. Драгоценные и цветные камни СССР. Л.: КЕПС, 1925.

отражая, // И звезды и день совмещая // Мечта востока лазурит, // С ним рядом синий содалит...» [6]. На 3-й и 5-й страницах следует перечисление 66 камней с поэтическими характеристиками (рис. 6).

Фонд содержит материалы, увековечивающие память о А.Е. Ферсмане, среди них почтовая марка из серии «Ученые нашей Родины» (авт. С. Соколов, 1966 г.) и художественный маркированный конверт СССР (авт. А. Яр-Кравченко, 1973 г.) с изображениями академика, пригласительные билеты на торжества и др.

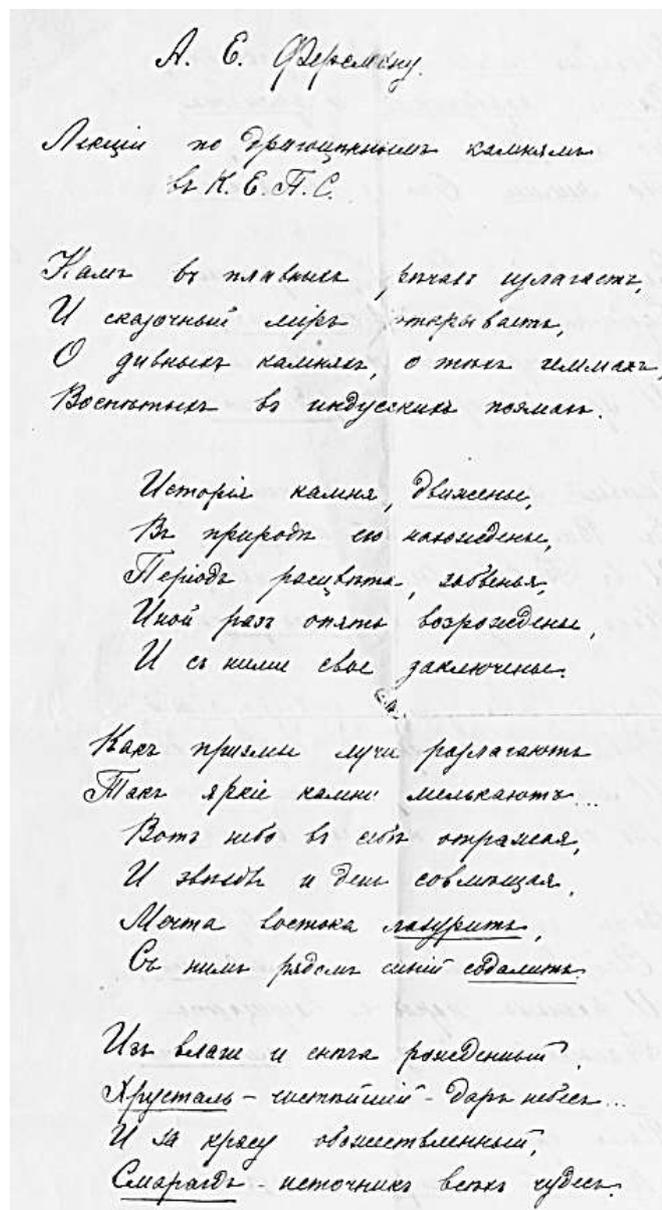


Рис. 6. М. Добрынина. Стихи о камнях и минералах, посвященные А.Е. Ферсману. 1919. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН.ОФ.31. Л. 1

выглядит издательская марка «артели работников науки, литературы, книжной графики и издательского дела 'Время'» [7], нарисованная С.В. Чехониным, свидетельствует о наличии особой гражданской и личностной позиции у организаторов дела. На марке изображен Хронос на фоне звездного неба в позе аллегории Меланхолии с гигантскими опущенными крыльями. Его могучие руки в совершенном бездействии скрещены на груди. Традиционные аллегории бренности жизни – песочные часы и череп – лежат у его ног, а на часах сидит сова – аллегория мудрости (см. рис. 7).

Фонд редкой книги Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН сформирован на основе трех частных книжных собраний по истории освоения и изучения Европейского Севера. Одно из них принадлежало А.Е. Ферсману. В фонд вошли прижизненные издания трудов и произведений академика: редкие с точки зрения малого тиража; книги с автографами, маргиналиями, владельческими и дарственными пометами. Особый интерес представляют брошюрованные издания из научно-популярной серии Петроградского кооперативного издательства «Время» (1922–1934), которая была заявлена при его регистрации как программная. Эту серию курировал пайщик издательства акад. А.Е. Ферсман, и началась она, видимо, не случайно, с выхода в 1922 г. его книги под одноименным с издательством названием – «Время». В 1923 г. последовали «Химия мироздания», «Новые центры новой науки» и еще 12 книг виднейших отечественных ученых – Л.С. Берга, В.И. Вернадского, В.М. Бехтерева, В.В. Струве и др., – дававших научно-популярное изложение общих научных вопросов. К 1925 г. все книги этой серии значились в каталогах издательства как «распроданные» и больше не переиздавались [7].

Все 3 книги А.Е. Ферсмана из этой редкой серии хранятся в фонде Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН. Кроме того, что они в свое время отвечали «потребностям малообразованного читателя, впервые приступающего к чтению научных книг» [8], в настоящем своем бытовании они являются интереснейшим источником по истории книгоиздательского дела в России. Например, то, как декларативно чуждым происходящим в стране революционным преобразованиям

Всего в фонде насчитывается более 1500 единиц хранения. В основном, конечно, это фотоотпечатки и копии фотоотпечатков. Но есть и действительно ценные документы, как на бумажных носителях, так и овеществленные.

Наиболее интересные материалы из фонда А.Е. Ферсмана представлены в разделах музейной экспозиции, посвященных экспедиционной деятельности академика и его сподвижников и освещающих первые годы стационарной работы АН СССР на Кольском п-ове. Они традиционно привлекают внимание посетителей Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН. В этом видна определенная закономерность, так как за это время было сделано такое количество научных открытий, которое практически предопределило все дальнейшее развитие и освоение Кольского п-ова, основанное на изучении его минеральных ресурсов, морей, растительности, биологических запасов, культуры и быта коренного и старожильческого населения. А.Е. Ферсман признавался в своей книге: «Среди всех переживаний прошлого, среди разнообразных картин природы и хозяйственной деятельности человека самыми яркими в моей жизни были впечатления от Хибин – целого научного эпоса, который почти 20 лет заполнял все мои думы, силы, владел всем моим существом, закалял волю, будил новую научную мысль, желания, надежды»[9]. Сложно найти еще подобную фигуру в истории нашего региона, в такой степени созвучную своей эпохе – эпохе научного



Рис. 7. Издательская марка изд-ва «Время», авт. С.В. Чехонин, 1922

изучения и промышленного преобразования, наполненной энтузиазмом познания и радостью созидания, и, бесспорно, преобразившей культурное пространство Кольского Севера [10]. Персональный фонд акад. А.Е. Ферсмана Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН является интересным и репрезентативным комплексным поливидовым источником, доступным для изучения и визуализации истории региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ученые Кольского научного центра. 1930–2005 // Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 195. 2. Ферсман А.Е. Музейное, выставочное и лекционное дело // Академия наук Союза Советских Социалистических республик за 10 лет (1917–1927). Л.: ИАН СССР, 1927. С. 178. 3. Переписка по организации Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН. 1974. Исх. № 27. 4. Переписка по организации Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН. 1974. Вх. № 22. 5. Ферсман А.Е. Самоцветы России. Том I. Цикл лекций, читанных в Комиссии Производительных Сил России Российской Академии Наук в 1919 г. Пг. 1921. 212, [2] с. 6. Добрынина М. Стихи, посвященные А.Е. Ферсману. 1919. Персональный фонд акад. А.Е. Ферсмана. ОФ 34 а / Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. 7. Маликова М.Э. Шум времени: История ленинградского кооперативного издательства «Время» (1922–1934) // Институты культуры Ленинграда на переломе от 1920-х к 1930-м годам: Материалы проекта. СПб., ИРЛИ (Пушкинский Дом). 2011. С. 5, 24. 8. Каталог Издательства З.И. Гржебина. М.; Берлин, 1921. С. 14. 9. Ферсман А.Е. Путешествия за камнем. М.: Изд-во АН СССР. 1960. С. 139. 10. Паця Е.Я. Genius loci (А.Е. Ферсман) / Е.Я. Паця, И.А. Разумова // Северяне Проблемы социокультурной адаптации жителей Кольского п-ова. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 69.

Сведения об авторах

Шабалина Ольга Вячеславовна – к.и.н., старший научный сотрудник, главный хранитель Музея-архива; e-mail: olga@isc.kolasc.net.ru

Паця Евгения Яковлевна – научный сотрудник, руководитель Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера; e-mail: patsya@isc.kolasc.net.ru

ВКЛАД ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СТРУКТУРУ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.К. Белишева¹, Н.А. Мельник², Ю.В. Балабин³, Т.Ф. Буркова⁴, Л.Ф. Талыкова⁵

¹ Научный отдел медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН

² Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (ИХТРЭМС) КНЦ РАН

³ Полярный геофизический институт (ПГИ) КНЦ РАН

⁴ ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области»

⁵ ФГУН «Северо-западного научного центра гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора

Аннотация

Показан вклад техногенных и природных источников ионизирующего излучения в структуру заболеваемости населения Мурманской области. Найдены значимые корреляции между средними годовыми эффективными дозами от радионуклидов, выпавших в северном полушарии после испытания ядерного оружия, показателями младенческой, перинатальной смертностью, мертворожденностью и врожденными пороками развития (ВПР) у детей. Выявлена связь между динамикой ВПР, выбросами благородных газов на Кольской атомной электростанции (КАЭС), а также вариациями интенсивности космических лучей (КЛ). Показаны корреляции между распространенностью онкозаболеваемости и туберкулеза у взрослых и вариациями космических лучей. Загрязнение территории Арктического региона радионуклидами техногенного происхождения является основной причиной возрастания заболеваемости населения. Природные источники ионизирующего излучения модулируют чувствительность организма к воздействию техногенной радиации.

Ключевые слова:

ионизирующее излучение, природные и техногенные источники, космические лучи, Be-7, радон, атмосфера, влияние на структуру заболеваемости, Мурманская область.

Введение

Жители Арктического региона подвержены комплексному воздействию экстремальных природных факторов среды и техногенных загрязнений, кооперативные эффекты которых отражаются в структуре заболеваемости населения [1–8].

Определенный вклад в загрязнение северных территорий вносят радионуклиды, образовавшиеся в результате ядерных взрывов в атмосфере [9]. Ядерный полигон Новая Земля внес, по-видимому, существенный вклад в структуру заболеваемости и смертности населения Арктического региона. Всего на Новой Земле было произведено 135 ядерных испытаний в атмосфере, под водой и под землей. Из них в атмосфере – 87 взрывов. На полигоне Новая Земля было испытано и самое мощное взрывное устройство за всю историю человечества – термоядерная авиационная бомба АН602 (она же «Царь-бомба», «Кузькина мать») мощностью свыше 50 мегатонн, созданная группой советских физиков-ядерщиков под руководством акад. И.В. Курчатова. Подготовка заряда к испытаниям, подвеска его к фюзеляжу самолета, взлет и посадка самолета-носителя производились на аэродроме «Олений» на Кольском п-ове. Взрыв термоядерной авиационной бомбы оценивался в 58 мегатонн (примерно в 10 тыс. раз больше, чем у бомбы, разрушившей Хиросиму). «Гриб» поднялся на высоту 65 км, диаметр «шляпки» разошелся на 95 км, ударная волна взрыва трижды обогнула Землю, звуковая – дошла до о. Диксон в 800 км от Новой Земли [10, 11]. В результате ядерных взрывов в северном полушарии, в том числе на Новой Земле, загрязнение атмосферы радионуклидами приняло планетарный характер. Среднегодовая концентрация цезия-137 в приземном слое воздуха на территории СССР в 1963 г. достигла уровня 1986 г. [6].

После моратория на проведение ядерных испытаний в воздухе на Новой земле отработывалась технология проведения подземных ядерных взрывов. Два испытания (14.10.1969 и 02.08.1987) сопровождались динамическим истечением в атмосферу продуктов взрыва [11]. При подземном ядерном взрыве 02.08.1987 г. произошел прорыв парогазовой смеси по трещине естественного разлома подтаявшего ледника на склоне горы по оси штольни, в результате в атмосферу, помимо смеси радионуклидов благородных газов (РБГ), попали также радионуклиды бария, йода, цезия, стронция, сурьмы, теллура и др. [11]. 7–8 августа 1987 г., в связи с движением антициклона в районе Новой Земли, радиоактивные продукты начали перемещаться по юго-восточной периферии антициклона на Кольский п-ов и север Скандинавии. Последний ядерный взрыв на полигоне Новая Земля в атмосфере был проведен 25 декабря 1962 г., под землей – 24 октября 1990 г.

На Кольском п-ове осуществлялись также и «мирные» ядерные взрывы на объекте «Днепр» (около г. Кировска Мурманской обл.). Их цель – отработка методов управления распределением радионуклидов в горном массиве. Один взрыв мощностью 2.1 кт произведен 4 сентября 1972 г., а второй – 27 августа 1984 г. – одновременный взрыв 2-х зарядов мощностью 1.7 кт [11]. В результате взрыва по трещинам в горной породе, иногда за пределы камеры захоронения (КЗ), выходили благородные газы Кг-90 и Хе-137, превращаясь затем в Sr-90 и Cs-137 [11].

Мурманская обл. в большей степени, чем другие регионы, подвержена потенциальной опасности радиоактивного загрязнения. На ее территории эксплуатируется свыше 200 ядерных реакторов, более 100 – со списанных атомных подводных лодок (АПЛ). Источниками повышенной радиационной опасности, наряду с АПЛ, являются и объекты, обслуживающие инфраструктуру АПЛ и ледоколов. Особую радиозэкологическую опасность представляет техническое состояние хранилищ отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), твердых и жидких радиоактивных отходов (РАО). Недалеко от Мурманска расположен пункт захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) спецкомбината "Радон", который в 1964–1994 гг. принимал на хранение твердые радиоактивные отходы от предприятий двух областей – Мурманской и Архангельской [12].

Под надзором Управления Роспотребнадзора по Мурманской обл. находится 134 субъекта, использующие в своей деятельности источники ионизирующего излучения [13].

Несмотря на широкомасштабное загрязнение северных территорий продуктами ядерного деления, образовавшимися в атмосфере вследствие ядерных испытаний и выпадающими на поверхность Земли с осадками, последствия испытаний ядерного оружия признаны только для здоровья оленеводов, в организме которых накапливались радионуклиды по пищевой цепочке лишайники–олени–человек [6, 9]. Для остального населения Арктических территорий дозы, полученные вследствие наружного, ингаляционного и пищевого поступления радионуклидов, считаются несущественными [9].

Ведущие факторы облучения населения Мурманской обл. – природные источники ионизирующей радиации с суммарным вкладом в коллективную дозу облучения до 82.38% [13, 14]. Основной вклад в формирование мощности дозы гамма-излучения на территории области вносят естественные радиоактивные элементы (уран, торий и калий), содержащиеся в горных породах.

Особенность воздействия природных факторов среды на население Мурманской обл. определяется структурой магнитного экрана Земли в высоких широтах, где магнитосфера Земли при взаимодействии с потоком заряженных частиц, испускаемых Солнцем, обуславливает экстремальные колебания геомагнитного поля (ГМП) и интенсивности КЛ у поверхности Земли. Колебания ГМП и интенсивности КЛ контролируются солнечной активностью (СА), которая имеет циклический характер, с наиболее коротким периодом около 11 лет. В годы низкой СА возрастает интенсивность КЛ и снижается геомагнитная активность (ГМА). И, напротив, в годы высокой СА возрастает ГМА и снижается интенсивность КЛ. А это значит, что долевой вклад вариаций ГМП и ионизирующей компоненты КЛ у поверхности Земли в модуляцию функционального состояния организма человека варьирует вместе с циклами СА. Следовательно, возможные кооперативные эффекты [15–17] воздействия природных физических агентов, ассоциированных с СА, и техногенных загрязнителей также будут варьировать

во времени в зависимости от преобладающего вклада гелиогеофизических факторов геомагнитной или ионизирующей природы.

К природным факторам среды, существенно воздействующим на организм человека, относится и содержание радона в атмосферном воздухе [18–20], колебания которого связаны с СА [21], а определенные его концентрации могут приводить к бесплодию у экспериментальных животных [18]. Вклад уровня радона в модуляцию эффектов воздействия техногенных загрязнителей на организм человека, по сути, не изучен в силу определенных методологических трудностей.

Повышенное облучение работников природными радионуклидами возможно на предприятиях, где осуществляются работы в подземных условиях, добывается и перерабатывается минеральное и органическое сырье и подземные воды, используются материалы или продукция с повышенным содержанием природных радионуклидов [12–14]. Два предприятия области осуществляют обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов – ООО «Ловозерский горно-обогатительный комбинат» (лопаритовый концентрат) и ОАО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» (бадделеитовый порошок). Лопаритовый концентрат и бадделеитовый порошок относятся к IV классу минерального сырья.

На всей территории области преобладают довольно низкие уровни радиации. Повышенными значениями характеризуются участки с выходами коренных пород на поверхность. В районе Хибинского и Ловозерского массивов они достигают максимальных значений – 40 мкР/час.

Однако в отдельных районах Мурманской обл. имеются участки с высокой радиоактивностью. В Терском районе, где на большей части территории величина мощности дозы гамма-излучения менее 6 мкР/час и не отмечается существенных следов выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС, есть участки с высоким уровнем гамма-излучения: места с повышенной радиоактивностью отмечаются в верхнем течении р. Паны, в долине р. Варзуги, в прибрежной полосе Белого моря и в окрестностях пос. Умба, где выявлено несколько сотен точек локальных повышенных концентраций урана и тория с интенсивностью гамма-излучения от 15 до 2100 мкР/час. В Печенгском районе повышенные значения мощности дозы гамма-излучения до 100 мкР/час на определенных площадях связаны с отдельными гранитными валунами или их скоплением. В Апатитском районе повышенные значения мощности дозы гамма-излучения отмечаются в долине р. Белая, они совпадают с песчаными отложениями (отходами) от переработки апатит-нефелиновых руд АНОФ-2. Содержание урана и тория в почве этого участка выше среднеевропейских значений. В Мончегорском и Оленегорском районах также отсутствуют следы выпадения радиоактивных осадков после Чернобыльской аварии, однако в разные годы на территории этих районов было выявлено несколько десятков локальных гамма-аномалий интенсивностью от 25 до 10 тыс. мкР/час [12].

В Кандалакшском районе большая часть территории характеризуется небольшими значениями мощности дозы гамма-излучения с загрязнением почвы цезием-137 на фоновом уровне, установившемся к 1981 г. без выявленных следов выпадения «чернобыльских» осадков. Однако здесь найдены площади с повышенным содержанием естественных радиоактивных веществ (урана, тория и калия) в горных породах по сравнению с остальной территорией. В пределах этих зон имеется значительное число локальных гамма-аномалий с интенсивностью от 50 мкР/час до 6 тыс. мкР/час, обусловленных повышенным содержанием урана (до десятых долей процента против сотых долей на остальной территории). В Ковдорском районе источниками повышенного гамма-фона являются бедные уран-ториевые руды Ковдорского месторождения, которые при его разработке идут в отвалы или используются для изготовления стройматериалов, и высокорadioактивные отходы переработки комплексных руд на комбинате. Отвалы, хвостохранилища и карьер ОАО Ковдорского ГОКа – источники повышенного гамма-фона, основной вклад в него вносят уран и торий.

В Мурманске и его окрестностях радиационный гамма-фон определяется в основном естественными радионуклидами (уран, торий, калий), содержащимися в почве и в материалах,

которые используются при строительстве города. Однако на отдельных участках отмечаются повышенные значения мощности дозы гамма-излучения [12].

Измерение уровня радиоактивности атмосферных выпадений (2000 г.) показало, что среднемесячные значения суммарной β -активности на станциях Мурманской обл. находились в пределах 0.5–2.6 Бк/м²·сут., максимальной – 8.5 Бк/м²·сут. В отдельные дни наблюдались случаи высокого загрязнения β -активными продуктами. По данным оперативного мониторинга радиационного загрязнения атмосферы в 1997 г. зарегистрировано 6 случаев кратковременного превышения концентраций над фоновым уровнем, в 1998 г. – 22 случая, в 1999 г. – 14 случаев, в 2000 г. – 9 случаев. Радионуклидный анализ проб с высокими уровнями показал отсутствие в них радионуклидов искусственного происхождения. Из этого следует, что случаи повышенных значений концентраций суммарной β -активности в воздухе вызваны радиоактивными продуктами естественного происхождения [12].

Не исключено, что возрастание β -активности было вызвано космогенным радионуклидом Be-7. Установлено [22, 23], что наибольший вклад в суммарную активность атмосферных осадков и аэрозолей северных широт из природных радионуклидов вносит Be-7 космогенного происхождения. Его содержание в атмосфере определяется погодными-климатическими и космическими условиями. Обнаружено, что эффективность генерации Be-7 зависит от спектра солнечных протонов. Распределение радиоактивности в атмосферных аэрозолях и осадках, обусловленное содержанием Be-7, подвержено временным и сезонным колебаниям, вызванным переносом воздушных масс, вариациями КЛ, СА и другими факторами.

Таким образом, окружающая среда в Мурманской обл. характеризуется вкладом техногенных и природных источников ионизирующего излучения, варьирующих во времени и пространстве и влияющих в той или иной мере на заболеваемость населения.

Цель данного сообщения состоит в анализе вклада техногенных и природных источников ионизирующего излучения в структуру заболеваемости населения Мурманской обл.

Материал и методы исследования

В настоящем исследовании были использованы материалы доклада Государственного комитета по охране окружающей среды Мурманской области «Состояние и охрана окружающей среды Мурманской области», 1999 г.: «Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском п-ове в 1999 г.» [12], атлас «Медико-демографические показатели и санитарно-эпидемиологическая обстановка в Мурманской области в 2010 г.» [14], материалы «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Мурманской области в 2012 г.» Управления Роспотребнадзора по Мурманской области [13]. Данные по плотности выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере вследствие ядерных испытаний в северном полушарии, взяты из отчета Научного комитета по ядерной радиации ООН за 2000 г. [9]. Информация для оценки врожденных пороков развития и репродуктивного здоровья женщин получена из базы данных, собранных в научно-исследовательской лабораторией ФГУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, г. Кировск, Мурманская обл. Радиологические исследования атмосферных аэрозолей (АЭ), атмосферных осадков (АО), содержания радона и его дочерних продуктов в атмосферном воздухе, измерение гамма-фона были проведены в аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН по аттестованным методикам на сертифицированном оборудовании: альфа-бета-радиометре УМФ-2000 и радиологическом комплексе «ПРОГРЕСС». В работе использованы данные, полученные в лаборатории космических лучей ПГИ КНЦ РАН. К настоящему времени, помимо стандартного нейтронного монитора (18-НМ-64), в лаборатории космических лучей работают детектор гамма-квантов на сцинтилляционном кристалле, бессвинцовая секция нейтронного монитора (БССНМ), детекторы заряженной компоненты (ДЗК) и тепловых нейтронов (ДТН). Сцинтилляционный детектор регистрирует кванты с энергиями от 20 кэВ до 5 МэВ, нейтронный монитор (НМ) чувствителен к нейтронам с энергиями более 50 МэВ, БССНМ – к нейтронам с энергиями сотни кэВ – единицы МэВ, ДТН регистрирует тепловые нейтроны (порядка 0.03 эВ), ДЗК – все заряженные частицы (мюоны, электроны, позитроны) с энергиями более 2 МэВ. Статистический анализ всех данных проводили с применением программного обеспечения Statistica 6.0, построение графиков осуществлялось с помощью пакета программ ORIGIN50.

Результаты и обсуждение

Последствия испытания ядерного оружия

Циркуляция атмосферы над арх. Новая Земля определяется характером взаимодействия главных барических образований – Исландского минимума и Арктического и Азиатского максимумов, приводящих к преобладанию циклонической деятельности, которая достигает наибольшего развития в осенне-зимний период. Характер погоды в районе резко меняется в зависимости от местоположения циклонов, направления и скорости их перемещения. Поэтому распространение радионуклидов при ядерных взрывах трудно было предугадать, и в соответствии с циклонической активностью часть радионуклидов выпала на Кольском п-ове, в Скандинавских странах и даже в Европе [11].

Исследования, проведенные для выявления уровней контаминации цезием-137 и стронцием-90 в цепочке «лишайник–олень–человек» и доз излучения показали, что в течение 30 лет наблюдений дозы излучения никак не зависят от расстояния между пунктом наблюдения и Новоземельным полигоном [6]. Уровни загрязнения этими нуклидами территорий коррелируют более всего с количеством атмосферных осадков, максимум которых приходится на Кольский п-ов (675 мм/год), а минимум – на Якутию (175 мм/год), остальные районы занимают промежуточное положение [6].

Результаты исследований, проведенных в 1991–1992 гг. [6], позволили установить, что в Мурманской обл. (Ловозерский район) и в Ненецком АО после 1986 г. имело место дополнительное поступление радиоцезия в звенья трофической цепочки «лишайник–олень–человек». Взрыв энергоблока на ЧАЭС привел к выбросу больших количеств радионуклидов, длившемся несколько дней. Инжектированное взрывом первое поступление радиоактивных веществ в атмосферу с воздушными потоками двинулось на Север и в первых числах мая частично выпало с дождями в виде локальных контаминаций в северных районах Скандинавии, в Мурманской и Архангельской областях. Плотность осадка радионуклидов на загрязненных территориях была в несколько раз меньше, чем в особо пострадавших районах. Но ситуация на Севере осложнилась загрязнениями лишайников на пастбищах оленей, вследствие чего по пищевой цепи «лишайник–олень–человек», концентрирующей радионуклиды из среды, последние стали поступать в организм человека. По этой причине в некоторых хозяйствах Норвегии, Финляндии, Швеции были забиты тысячи голов оленей [27, 28]. По данным 1986 г. (Госкомгидромет), в отдельных районах приарктической зоны европейской части бывшего СССР имело место увеличение мощности экспозиционной дозы облучения человека на 0.3–3.0 мкР/час, а также контаминация территории радиоцезием на 17–35% от доаварийного уровня [29]. По оценкам радиологических служб Архангельской и Мурманской областных центров СЭН по некоторым районам в пищевых продуктах местного происхождения (оленина, молоко, картофель) в 1987–1988 гг. регистрировалось повышенное по сравнению с доаварийным периодом содержание цезия-137. В апреле-мае 1993 г. радиологической службой Архангельского областного Сельхозуправления обнаружены повышенные уровни содержания радиоцезия в мышцах оленей (от 600 до 1200 Бк/кг) – контаминация мяса на уровне регламентируемых значений. В пробах оленины был найден цезий-134, являющийся прямым доказательством черныбыльской добавки в северную пищевую цепочку.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека способна вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни) [24]. Источники ионизирующего излучения могут приводить к внешнему, в случае их нахождения вне тела человека, и внутреннему облучению. Сравнительное изучение динамики заболеваемости и вариаций интенсивности источников ионизирующего излучения в окружающей среде позволяют, в определенной мере, оценить вклад ионизирующей радиации в заболеваемость населения на изучаемой территории.

Сделана попытка оценить последствия ядерных испытаний в северном полушарии на заболеваемость населения в Мурманской обл. В качестве индикаторов плотности выпадения и дозовых нагрузок на население в северном полушарии использованы такие показатели, как среднегодовая кумулятивная плотность выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере

в результате ядерных испытаний (^{106}Ru , ^{125}Sb , ^{55}Fe , ^{90}Sr , ^{137}Cs), Бк/м²; средние годовые дозы по северному полушарию при внешнем облучении радионуклидами ^{125}Sb , ^{137}Cs , мкЗв; средние годовые дозы по северному полушарию при внутреннем поступлении радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^3H , ^{14}C), мкЗв; полные среднегодовые эффективные дозы по северному полушарию, мкЗв [9].

Полная эффективная доза при всех способах поступления радионуклидов в организм с 1945 по 1999 гг. в северном полушарии составила 1 076 мкЗв или 1.08 мЗв (для сравнения, значение годовой эффективной дозы облучения населения за счет всех источников ионизирующего излучения (в расчете на одного жителя) по данным радиационно-гигиенического паспорта территории Мурманской обл. по состоянию на 2011 г. составило 4.02 мЗв/год [26].

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между младенческой, перинатальной смертностью, мертворожденностью в Мурманской области (1991–1999 гг.), суммарной ежегодной плотностью выпадения радионуклидов, внешним и внутренним облучением радионуклидами, средней годовой эффективной дозой облучения радионуклидами (за 1990–1997 гг.), образовавшимися в результате ядерных испытаний в атмосфере

Радионуклиды, изотопы	Средние значения±ст. ошибка	Младенческая смертность	Перинатальная смертность	Мертворожденность
Плотность суммарного выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере при ядерных испытаниях, взвешенная на популяцию, (Bq м ⁻²) а				
<i>106Ru</i>	0.049±0.073	0.357	0.707	0.858
<i>125Sb</i>	2.186±1.456	0.546	0.882	0.969
<i>55Fe</i>	2.943±1.953	0.546	0.882	0.968
<i>90Sr</i>	1018.111±68.003	0.675	0.943	0.972
<i>137Cs</i>	1586.667±101.858	0.678	0.940	0.977
Внешнее облучение радионуклидами, образовавшимися в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, среднемировая годовая эффективная доза (μSv)				
<i>125Sb</i>	0.003±0.002	0.547	0.879	0.965
<i>137Cs</i>	3.261±0.206	0.673	0.942	0.977
<i>Полная доза</i>	3.262±0.206	0.677	0.940	0.975
Облучение через желудочно-кишечный тракт радионуклидами, образовавшимися в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, среднемировая годовая эффективная доза (μSv)				
<i>90Sr</i>	0.770±0.133	0.650	0.933	0.979
<i>137Cs</i>	0.403±0.032	0.656	0.945895	0.982
<i>Полная доза</i>	1.173±0.165	0.652	0.936	0.980
Средняя ежегодная эффективная доза от облучения радионуклидами, образовавшимися в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, (μSv)				
<i>Внешнее облучение</i>	3.558± 0.226	0.676	0.941	0.976
<i>Внутреннее облучение</i>	3.269±0.324	0.674	0.939	0.977
<i>Полная доза</i>	6.826±0.548	0.675	0.942	0.976

Исследование эффектов воздействия ядерных испытаний в атмосфере на заболеваемость взрослого населения Мурманской обл. (1995–1999 гг.) показало, что снижение средней годовой эффективной дозы от выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере в результате ядерных испытаний, ассоциировано с возрастанием заболеваемости населения. Значимые ($p < 0.05$) коэффициенты корреляции найдены между средними годовыми (от внутреннего и внешнего облучения) дозами от радионуклидов и заболеваемостью взрослого населения: новообразованиями ($r = -0.89$), болезнями эндокринной системы ($r = -0.99$), болезнями крови и кроветворных тканей ($r = -0.97$), болезнями системы кровообращения ($r = -0.86$), болезнями

органов дыхания ($r = -0.85$), болезнями органов пищеварения ($r = -0.95$), болезнями мочеполовой системы ($r = -0.95$), болезнями костно-мышечной системы ($r = -0.90$).

Аналогичный характер связи выявлен между средними годовыми дозами облучения и детской заболеваемостью, в частности, заболеваемостью детей первого года жизни за период 1991–1999 гг. ($r = -0.93$, $p < 0.05$) и заболеваемостью новорожденных ($r = -0.93$, $p < 0.05$). Такая связь, скорее всего, свидетельствует об отдаленных последствиях действия ионизирующего излучения, предполагающих множественные эффекты, которые вызваны хроническим облучением, в том числе геномную нестабильность, снижение иммунорезистентности, повышение сенсibilизации к воздействию токсических соединений и природных факторов среды [24]. С другой стороны, можно предположить, что дополнительное облучение населения вследствие выпадения в Арктическом регионе радионуклидов чернобыльского происхождения [6] могло послужить толчком к возрастанию заболеваемости населения.

Прямая корреляция существует между средними годовыми эффективными дозами от радионуклидов, выпавших в северном полушарии после испытания ядерного оружия, и показателями младенческой ($r = 0.68$, $p < 0.05$), перинатальной ($r = 0.94$, $p < 0.05$) смертности и мертворожденностью ($r = 0.98$, $p < 0.05$) за период с 1991 по 1999 гг. (табл. 1). Кроме того, найдена значимая корреляция между частотой случаев врожденных аномалий органов пищеварения у детей (Q38-Q45, в соответствии с классификацией болезней по МКБ-10) ($r = 0.44$, $p < 0.05$) за период 1973–1999 гг. Эти данные подчеркивают факт относительного увеличения риска при облучении с уменьшением возраста на момент облучения [9, 24]. Не исключено, что рост заболеваемости, и, в частности, онкологии, связан с тем, что в период пика ядерных испытаний (1956–1965) часть населения была облучена внутриутробно, в силу чего приобрела потенциально большую чувствительность к индукции опухолей.

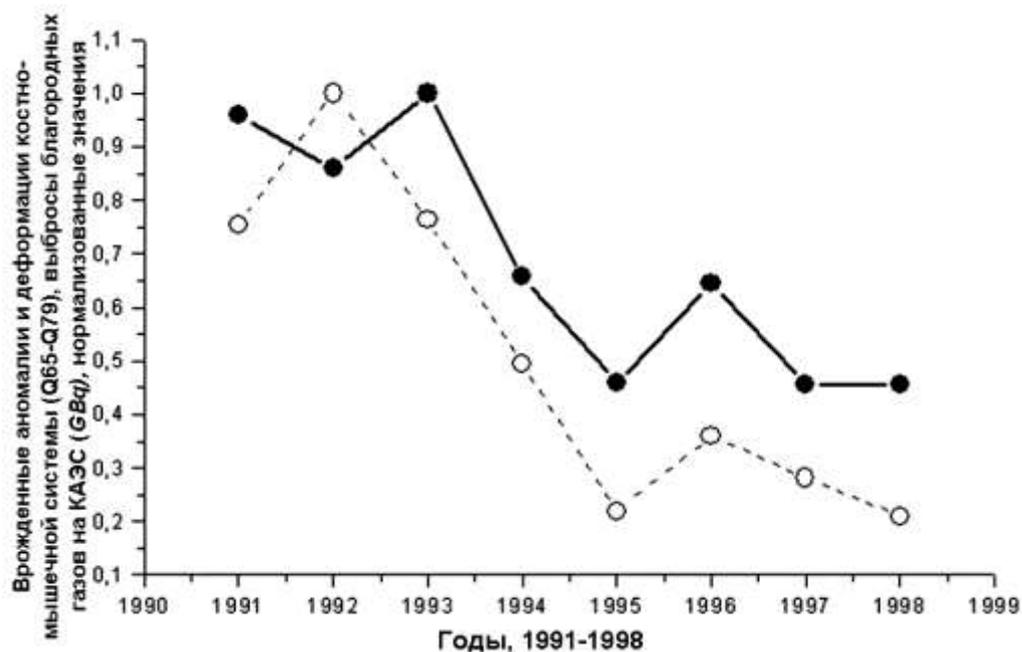
Последствия выбросов инертных газов в атмосферу в результате деятельности Кольской атомной электростанции

О высокой чувствительности детского организма в период пренатального развития к облучению свидетельствуют также результаты оценки влияния залповых выбросов в атмосферу благородных газов и иода-131 на КАЭС.

Дополнительное облучение населения Мурманской области в период с 1990 по 1997 гг. произошло в результате выбросов в атмосферу благородных газов и иода-131 на КАЭС. Наши исследования показали, что выбросы благородных газов (GBq) ассоциированы с возрастанием случаев перинатальной смертности ($r = 0.87$, $p < 0.05$) и мертворожденности ($r = 0.92$, $p < 0.05$). Более того, оказалось, что возрастание выбросов благородных газов (со сдвигом в год до рождения ребенка) связано с возрастанием частоты случаев врожденных аномалий и деформаций костно-мышечной системы (Q65-Q79), $r = 0.84$, $p < 0.05$ (рис. 1А), а также с возрастанием всех классов врожденных пороков развития у детей $r = 0.73$, $p < 0.05$. Выбросы иода-131 привели к увеличению частоты случаев других врожденных аномалий (Q80-Q89), $r = 0.98$, $p < 0.05$ (рис. 1Б).

В ядерных реакторах в больших количествах нарабатывается церий-144 (период полураспада 285 суток), который представляет собой один из продуктов деления урана-235. Радиоактивный церий проходит через плаценту и выделяется с молоком. Наибольшие количества введенного изотопа обнаруживаются в печени (40–50%) и скелете (7–35%). Среди большого перечня искусственных радионуклидов, создающихся при работе ядерного реактора, важнейшее значение имеет группа биологически активных радионуклидов. Разные по своим дозиметрическим характеристикам, эти радионуклиды имеют одну общую способность – все они являются «двойниками» или близкими аналогами химических элементов, выполняющих важные биологические функции в живых организмах. Так, литий и углерод-14 могут входить в любые биомолекулы, в том числе в генетические структуры; стронций-90 есть близкий аналог кальция и входит в состав костных тканей; радиоцезий – химический аналог калия и включается в мышечные ткани; йод необходим для функционирования щитовидной железы; фосфор играет важную роль в энергетике клеток; железо, кобальт, цинк и их радионуклиды имеются в составе ферментов (катализаторов биохимических реакций), например, железо входит в состав гемоглобина, кобальт – в витамин B_{12} . Попадая в организм матери, эти радионуклиды могут вызывать ВПР у детей.

А



Б

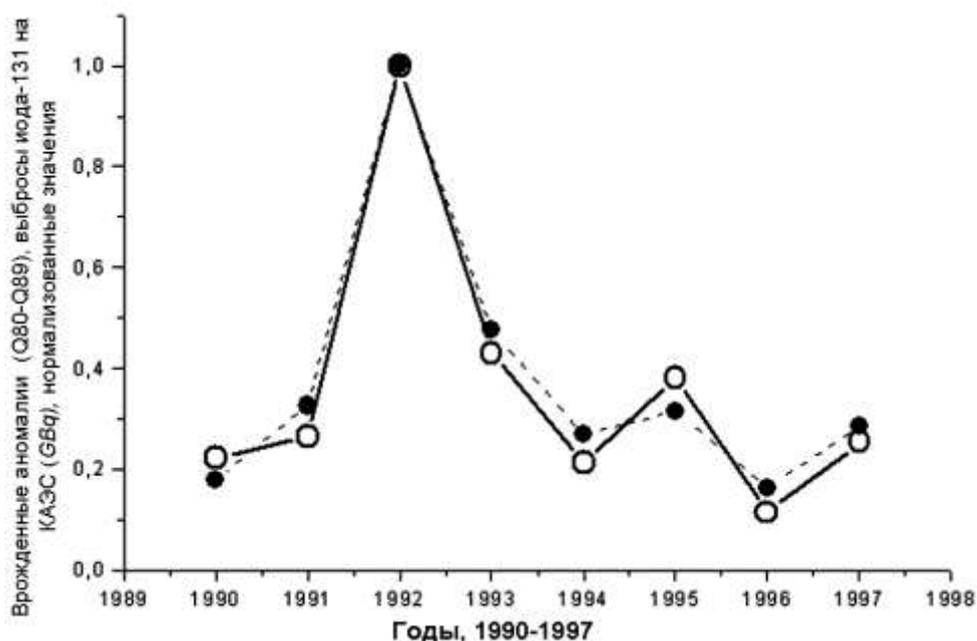


Рис. 1. Сравнение кривых выбросов благородных газов (А) и иода-131 (Б) на КАЭС, с динамикой врожденных аномалий и деформаций костно-мышечной системы (Q65-Q79) (А) – штриховые линии, и других врожденных аномалий (Q80-Q89) (Б) – сплошные линии

Последствия профессионального облучения

Поскольку в Мурманской обл. определенный контингент населения относится к персоналу, работающему с техногенными источниками излучения (группа А) или находящемуся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б), оценен характер связи между среднегодовыми эффективными дозами, полученными этим персоналом, и общей заболеваемостью населения Мурманской обл. Оказалось, что динамика среднегодовых доз облучения персонала группы А за 2004–2009 гг. коррелирует с показателями смертности

населения. И несмотря на то, что средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения персонала (1.56 ± 0.24 и 0.23 ± 0.04 мЗв/год, группа А и группа Б соответственно), не превышают основных пределов доз, регламентированных НРБ-99/2009 [25, 26], дополнительное (к фоновым значениям уровня ионизирующего излучения в Мурманской обл.) облучение повышает риск смертности у персонала группы А.

Таким образом, данные по зависимости заболеваемости населения Мурманской обл. от техногенных источников ионизирующего излучения свидетельствуют в пользу беспороговой и линейной модели воздействия ионизирующей радиации, принятой Научным Комитетом по действию атомной радиации (НКДАР) ООН [9], в соответствии с которой любая, даже самая низкая, доза ионизирующего излучения потенциально способна увеличить риск для здоровья человека.

Медицинское облучение

Медицинское облучение населения (пациентов) занимает второе место после облучения природными источниками ионизирующего излучения, но несмотря на это, оценить его вклад в заболеваемость населения пока представляется трудновыполнимым. Можно считать, что диагностическое облучение пациентов повышает вероятность стохастических эффектов, приводящих к возникновению онкозаболеваний, если следовать линейной и беспороговой концепции действия ионизирующей радиации [9, 24]. Вклад в коллективную дозу медицинского облучения составляет 17.4% по данным радиационно-гигиенического паспорта территории за 2011 г. (в 2010 г. – 17.51%, в 2009 г. – 17.74%) [25].

В структуре медицинского облучения населения преобладают рентгенографические, рентгеноскопические исследования и компьютерная томография, доля которых в коллективной дозе облучения населения соответственно составила: 32.54% (47.69 % – 2010 г.; 36.76% – 2009 г.), 24.65% (15.51% – 2010 г.; 24.13 – 2009 г.) и 23.47% (18.68 % – 2010 г.; 18.33% – 2009 г.) [25].

Коллективная годовая эффективная доза облучения населения Мурманской обл. за счет диагностического использования всех медицинских источников ионизирующего излучения по данным радиационно-гигиенической паспортизации территории Мурманской обл. в 2011 г. составила 553.890 чел.-Зв/год, что соответствует средней эффективной дозе 0.70 мЗв/год в среднем на одного жителя области и 0.37 мЗв – в среднем на одну процедуру [26].

Суммарное количество всех диагностических рентгенорадиологических процедур, выполненных в 2011 г., достигло 1486.548 тыс. (1501.844 тыс. – в 2010 г., 1633.311 тыс. – в 2009 г.), это означает, что в среднем на 1 жителя в Мурманской обл. приходилось 1.88 процедуры (в 2010 г. – 1.80, в 2009 г. – 1.95) против 1.69 процедуры в среднем по России.

Средняя индивидуальная доза пациента при рентгенорадиологических исследованиях по данным радиационно-гигиенического паспорта территории за 2011 г. составила 0.37 мЗв (2009–2010 гг. – 0.35 мЗв) [26]. Таким образом, дозы облучения в результате медицинских процедур в Мурманской обл. превышают среднероссийские. Можно полагать, что дополнительное (к природному фону) облучение, даже в малых дозах, может проявиться в возрастании заболеваемости населения, в том числе, различными формами онкологии.

Природные источники ионизирующего излучения в Мурманской области

Природные источники ионизирующего излучения в Мурманской обл. представлены на рис. 2. Фоновые источники ионизирующего излучения складываются из: вариаций космических лучей у поверхности Земли, регистрируемых посредством детектирования скорости счета нейтронного монитора; излучения от природных радионуклидов, рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды, это уран (U-238), торий (Th-232), калий-40, рубидий-87; от продуктов распада элементов уранового ряда: радона-220, радона-222 и других элементов. В трех радиоактивных семействах: урана (238U), тория (232Th) и актиния (235Ac) в процессах радиоактивного распада постоянно образуется 40 радиоактивных изотопов. Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников, составляет около 0.35 мЗв, т.е. чуть больше средней индивидуальной дозы, обусловленной облучением из-за космического фона на уровне моря.

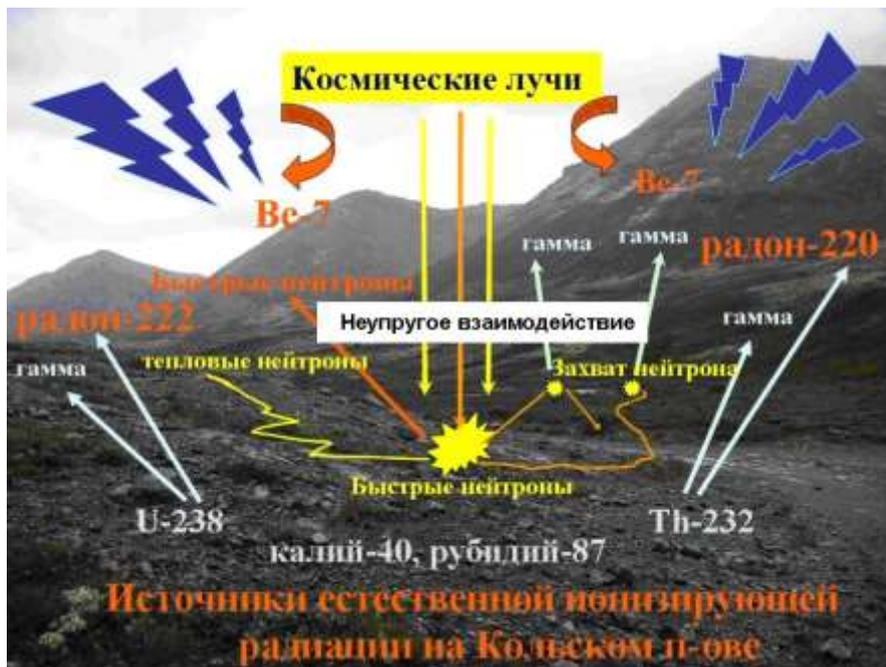


Рис. 2. Источники фоновых вариаций ионизирующего излучения в Мурманской области

В организме человека постоянно присутствуют радионуклиды земного происхождения, поступающие через органы дыхания и пищеварения. Наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят ^{40}K , ^{87}Rb и нуклиды рядов распада ^{238}U и ^{232}Th . Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет 1.35 мЗв/год. Наибольший вклад (около 3/4 годовой дозы) дают газ радон и продукты его распада. Поступив в организм при вдохе, он вызывает облучение слизистых тканей легких. Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрации в наружном воздухе существенно отличаются для различных точек Земного шара. Однако большую часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом непроветриваемом помещении. В зонах с неблагоприятным климатом в конце дня уровень радона в закрытых помещениях в среднем примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Радон выделяют также строительные материалы. Так, например, большой удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза, силикаты, шлак и ряд других материалов. Радон проникает в помещение из земли и через различные трещины в межэтажных перекрытиях, через вентиляционные каналы и др. Источниками поступления радона в жилые помещения являются также природный газ и вода [9].

Космическое излучение складывается из частиц, захваченных магнитным полем Земли, галактического космического излучения и корпускулярного излучения Солнца. В его состав входят в основном электроны, протоны и альфа-частицы. Это так называемое первичное космическое излучение, взаимодействуя с атмосферой Земли, порождает вторичное излучение. В результате на уровне моря излучение состоит почти полностью из мюонов (отрицательно заряженных элементарных частиц, подавляющая часть) и нейтронов.

Поглощенная мощность дозы космического излучения в воздухе на уровне моря равна 32 нГр/час и формируется в основном мюонами. Для нейтронов на уровне моря мощность поглощенной дозы составляет 0.8 нГр/час и мощность эквивалентной дозы составляет 2.4 Зв/час. За счет космического излучения большинство населения получает дозу, равную около 0.35 мЗв в год [9].

Интенсивность космического излучения зависит от широты, географического положения объекта и возрастает с высотой над уровнем моря. Наиболее интенсивно оно на Северном и Южном полюсах, менее интенсивно в экваториальных областях. Космические лучи, идущие от Солнца, в основном состоят из протонов широкого энергетического спектра (энергия протонов до 100 МэВ), заряженные частицы от Солнца способны достигать Земли через 15–20 мин. после того, как вспышка на его поверхности становится видимой. Длительность вспышки может достигать нескольких часов. В наших работах показаны эффекты солнечных протонных

событий на поверхности Земли [30], которые коррелируют с возрастанием распространенности врожденных пороков развития у детей в Мурманской обл. [31].

Кроме того, в результате ядерных реакций, идущих в атмосфере (а частично и в литосфере) под влиянием космических лучей, образуются радиоактивные ядра – космогенные радионуклиды. В создание дозы наибольший вклад вносят ^3H , ^7Be , ^{14}C и ^{22}Na , которые поступают вместе с пищей в организм человека. Взрослый человек потребляет с пищей 95 кг углерода в год при средней активности на единицу массы углерода 230 Бк/кг. Суммарный вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную дозу составляет около 15 мкЗв/год.

Исследования показали, что приземный естественный гамма-фон существенно варьирует и зависит от сезона. В течение 2012 г. выявлены вариации приземного гамма-фона, связанные с атмосферными осадками. Эти данные получены на усовершенствованной системе регистрации гамма-излучения. Основа системы – набор из трех приборов для измерения радиации: малого и большого сцинтилляционных детекторов на основе кристаллов NaI(Tl) , а также детектора заряженных частиц на основе счетчиков Гейгера-Мюллера.

Проведенная серия экспериментов состояла в том, что один из детекторов полностью закрывали свинцовым экраном (закрытое состояние). Малый детектор под свинцовой защитой не показывал возрастных во время осадков. В открытом же состоянии детектор регистрирует возрастание гамма-активности практически при каждом случае выпадения осадков. Детектор заряженных частиц как в открытом, так и в закрытом состоянии не обнаруживал никаких возрастных. Большой детектор в открытом состоянии показывал такие же вариации гамма-фона, как и малый, однако и в закрытом состоянии регистрировал вариации, связанные с осадками, но амплитудой в несколько раз меньше. Измерения дифференциальных спектров гамма-излучения на большом детекторе в закрытом и открытом состояниях показали, что форма спектров добавочного излучения, вызывающего возрастания, не изменяется, лишь уменьшается абсолютное значение потока [32, 33].

Толщина свинцового экрана (5 см) такова, что ни электроны, ни гамма-кванты с энергиями до десятков МэВ проникнуть через нее не могут. Следовательно, результаты серии проведенных экспериментов указывают на то, что в наблюдаемых вариациях гамма-фона первичные источники – мюоны, рождающиеся в атмосфере от первичных КЛ и обладающие высокой проникающей способностью. Это свидетельствует, что во время осадков возрастает облучение населения дополнительной дозой естественного гамма фона вследствие возрастания энергии мюонов (вторичного космического излучения), которые ускоряются в электрических полях облаков и переносят ее в нижние слои атмосферы. Дополнительный поток энергии, возникающий при возрастании гамма-фона, составляет около $23 \text{ кэВ}\cdot\text{см}^2\cdot\text{с}$.

Исследования, проведенные в лаборатории космических лучей ПГИ КНЦ РАН, показали, что ионизирующее излучение от природных источников, обусловленных вкладом космических лучей, проявляет сезонные вариации. На рис. 3 показана средняя годовая вариация нейтронного счета на ст. Апатиты за период 2009–2012 гг. (НМ), данные бессвинцового нейтронного монитора (БССНМ), а также вариации гамма-квантов (рис. 3А). Среднегодовые данные вариаций указанных компонент получены методом наложения эпох. На рис. 3Б представлена зависимость среднегодовой вариации ионизирующего излучения космического происхождения от высоты снежного покрова.

Обнаружено, что на интенсивность нейтронного счета БССНМ влияют локальные условия, связанные с состоянием почвы. После схода снега и оттаивания почвы интенсивность нейтронного счета БССНМ возрастает. Возвращение счета БССНМ к уровню НМ совпадает с появлением снежного покрова и началом промерзания почвы. Это позволяет заключить, что вариации на БССНМ связаны с эманацией радона из почвы. В то же время, вариации в электромагнитной компоненте имеют существенно иную форму. По-видимому, на эту компоненту влияет совокупность нескольких факторов. Поскольку происхождение мягкого гамма-излучения в приземном слое атмосферы связано с потоком мюонов, одним из таких факторов могут быть сезонные вариации высотного температурного профиля атмосферы.

Таким образом, показано, что ионизирующее излучение природного происхождения, обусловленное взаимодействием первичных компонент космических лучей с атмосферой, приводит к сезонным вариациям дозы облучения населения, вклад которой необходимо учитывать при оценке эффективной дозы.

Измерение β -активных продуктов в атмосфере в Мурманской обл. выявило, что в отдельные дни в атмосфере наблюдается высокое содержание β -активности естественного происхождения [12]. По данным оперативного мониторинга Мурманской обл., высокое радиационное загрязнение атмосферы регистрировалось в 1997 г. (6 случаев), в 1998 г. – 22 случая, в 1999 г. – 14 случаев, в 2000 г. – 9 случаев. Радионуклидный анализ проб с высокими уровнями показал отсутствие в них радионуклидов искусственного происхождения. Из этого следует, что случаи повышенных значений концентраций суммарной β -активности в воздухе обусловлены радиоактивными продуктами естественного происхождения. Можно полагать, что причиной такого повышения является увеличение концентрации Be-7, который в определенных условиях образуется в атмосфере.

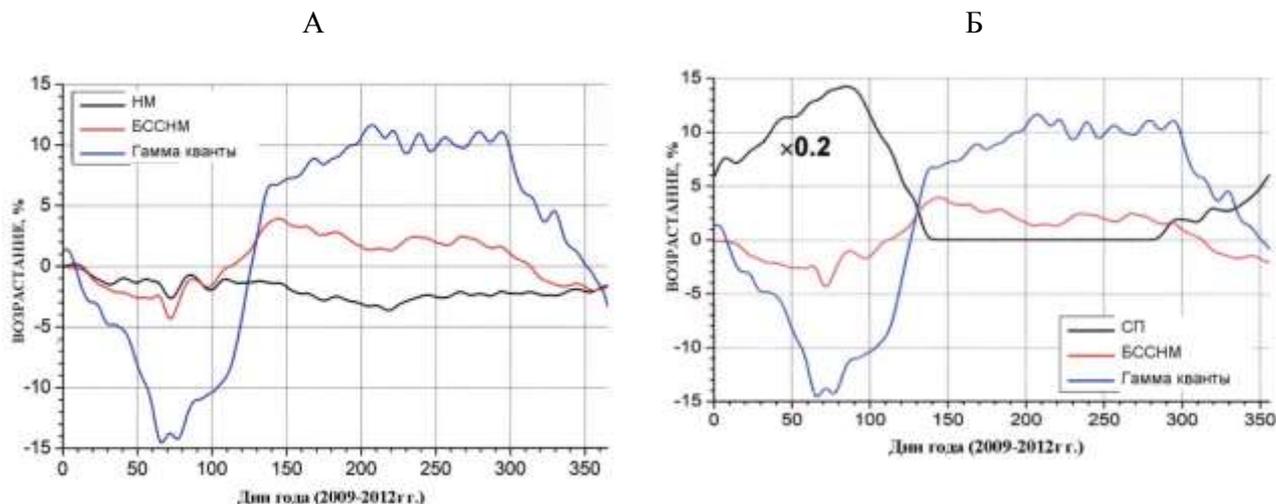


Рис. 3. Средние годовые вариации ионизирующих компонент, детектируемых на ст. нейтронного монитора ПГИ КНЦ РАН в г. Апатиты (А), и среднегодовые профили вариаций ионизирующих компонент и высоты снежного покрова (Б). А: нейтронный монитор 18-НМ-64, бессвинцовый нейтронный монитор 4-НМ-64, детектор гамма квантов с энергией более 20 кэВ. Б – счет бессвинцового нейтронного монитора гамма-квантов, высота снежного покрова (СП). По оси абсцисс – дни года (2009-2012 гг.), по оси ординат – возрастание вариаций ионизирующих компонент, % (А, Б); высота снежного покрова, см (Б)

Исследования показали [22], что наибольший вклад в суммарную активность атмосферных осадков и аэрозолей северных широт вносит радионуклид космогенного происхождения бериллия (Be-7), концентрация которого связана с погодно-климатическими и космическими условиями. В частности, обнаружено, что эффективность генерации Be-7 зависит от спектра солнечных протонов. Распределение радиоактивности в атмосферных аэрозолях и осадках, обусловленное содержанием Be-7, подвержено временным и сезонным колебаниям, вызванным переносом воздушных масс, вариациями космических лучей, солнечной активностью и другими факторами (рис. 4).

На рис. 4 отображены вариации содержания Be-7, выявленные в различных пробах (рис. 4А) и в различные сезоны года (рис. 4Б).

Было показано, что средние значения суммарной радиоактивности атмосферных аэрозолей и осадков составили 0.066 ± 0.002 мкБк/л и 0.385 ± 0.019 мкБк/л соответственно. В периоды межсезонья наблюдалось резкое увеличение концентрации Be-7 в атмосферных аэрозолях за счет поступления его из верхних слоев атмосферы при интенсивном стратосферно-тропосферном обмене воздушных масс; в период усиления солнечной активности (вспышки на солнце) концентрация Be-7 в атмосферных осадках и аэрозолях также увеличивалась в 4 и более раза.

Радиологические исследования, выполненные в аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля, ИХТРЭМС им. И.В. Тананаева КНЦ РАН (г. Апатиты, Мурманский регион), позволили рассчитать среднее значение дозы облучения населения от природных источников ионизирующего излучения за счет атмосферного воздуха. Оказалось, что в г. Апатиты облучение за счет атмосферного воздуха в 12.5 раз выше, чем по России (0.006 мЗв/год).

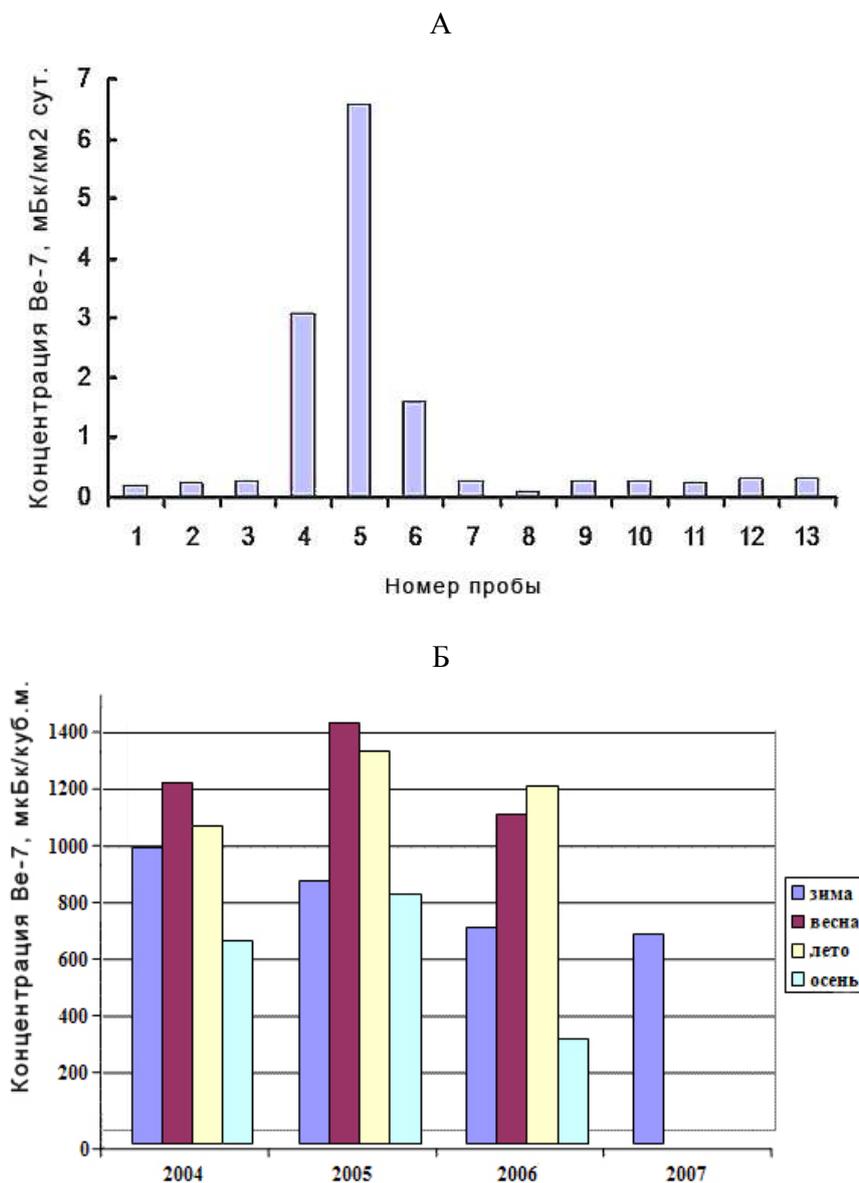


Рис. 4. Вариации концентрации Be-7 в отдельных пробах (А) и в различные сезоны года (Б)

Данные, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о дополнительном вкладе природных источников ионизирующего излучения, ассоциированного с Be-7, в годовые дозы облучения населения Мурманской обл.

Вклад природных источников ионизирующего излучения в заболеваемость населения Мурманской области

Качество окружающей среды находит отражение, прежде всего, в заболеваемости населения, в репродуктивном здоровье женщин, числе случаев осложнений беременности и родов. Поэтому изучение динамики медико-статистических показателей, как одного из аспектов медико-биологического мониторинга, может дать информацию о характере влияния гелиогеофизических показателей в различных фазах цикла СА на здоровье населения.

В настоящей работе проанализирована распространенность ВПР у детей (рис. 5А) и перинатальная смертность (рис. 5Б) в различных фазах солнечной активности. Значимость различий между средними значениями ВПР в годы высокой и низкой СА – $p = 0.08$.

Оценка связи между ВПР у детей за период с 1975 по 2005 гг. и фоновыми вариациями нейтронной компоненты КЛ у поверхности Земли выявила связь между скоростью счета нейтронного монитора, динамикой распространенности врожденных пороков органов дыхания (Q30-Q34), $r = 0.35$,

$p < 0.05$ и аномалиями развития, проявляющимися в расщелине губы и нёба (заячья губа и волчья пасть) (Q35-Q37), $r = 0.48$, $p < 0.05$ (рис. 6А). Связь ($p < 0.05$) между вариациями нейтронной компоненты КЛ и заболеваемостью взрослого населения (2003–2009 гг.) показана на рис. 6Б.

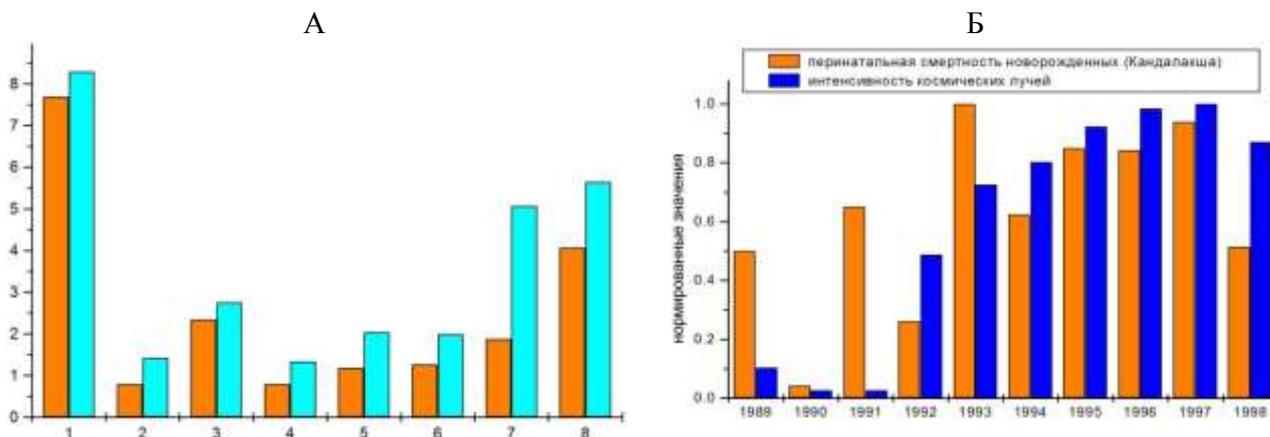


Рис. 5. Распространенность ВПП у детей (А) и перинатальная смертность (Б) в различных фазах цикла солнечной активности. А – оранжевые столбцы – в годы высокой СА и геомагнитной активности; голубые – низкой СА и высокой интенсивности нейтронной компоненты КЛ: 1 – врожденные новообразования; 2 – врожденные аномалии глаза, уха, лица и шеи (Q10-Q18); 3 – врожденные аномалии системы кровообращения (Q20-Q28); 4 – врожденные аномалии органов дыхания (Q30-Q34); 5 – расщелина губы и нёба (заячья губа и волчья пасть) (Q35-Q37); 6 – другие врожденные аномалии органов пищеварения (Q38-Q45); 7 – врожденные аномалии мочевыделительной системы (Q60-Q64); 8 – другие врожденные аномалии (Q80-Q89). Б – оранжевые столбцы – перинатальная смертность, синие столбцы – интенсивность нейтронной компоненты космических лучей у поверхности Земли

Изучение зависимости заболевания взрослого населения злокачественными новообразованиями и туберкулезом от вариаций космических лучей (1989-1999 гг.) выявило значимую ($p < 0.05$) связь между распространенностью случаев этих нозологических форм и интенсивностью КЛ (рис. 7, 8). Возрастание онкологических и инфекционных заболеваний служит своеобразным индикатором воздействия ионизирующего излучения на организм. На основе полученных данных можно предположить, что в годы низкой СА, когда возрастает доза КЛ, дополнительное приращение дозы облучения способно приводить к возрастанию риска онкологических и инфекционных заболеваний.

Сходные наблюдения о связи онкологических заболеваний с СА сделаны авторами работы [6]. Анализируя материалы многолетних медико-профилактических исследований, замечено, что динамические ряды показателей онкориска для коренного населения Ненецкого округа, Республики Коми и Чукотки определенным образом соотносятся с динамикой СА и указывают на возможное проявление общих закономерностей [34, 35], связывающих уровень онкологической заболеваемости (смертности) с географическими особенностями регионов. Так, в четырехлетних зонах повышенной СА 20- и 21-го солнечных циклов отмечается неуклонное снижение смертности от рака пищевода и легких. В зоне пониженной СА 19- и 20-го циклов за два года до начала зоны повышенной СА уровень смертности от рака этих локализаций увеличивается до наивысших значений на границах зон [6].

Таким образом, авторы, во-первых, отмечают связь онкозаболеваемости с циклами СА, а во-вторых, обнаруживают возрастание онкозаболеваемости при снижении СА, т.е. именно в тот период, когда возрастает интенсивность нейтронной компоненты КЛ. Наши данные однозначно показывают, что онкозаболеваемость в Мурманской обл. (по крайней мере, за периоды 1989–1999 и 2003–2009 гг.) ассоциирована с СА и возрастает при ее снижении и параллельном повышении интенсивности КЛ.

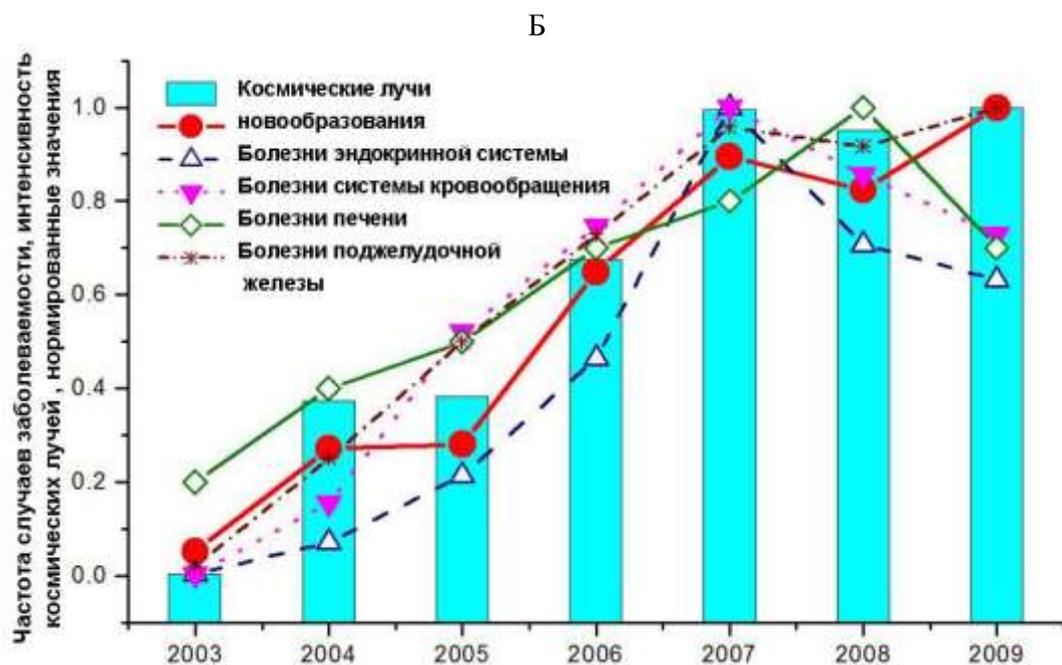
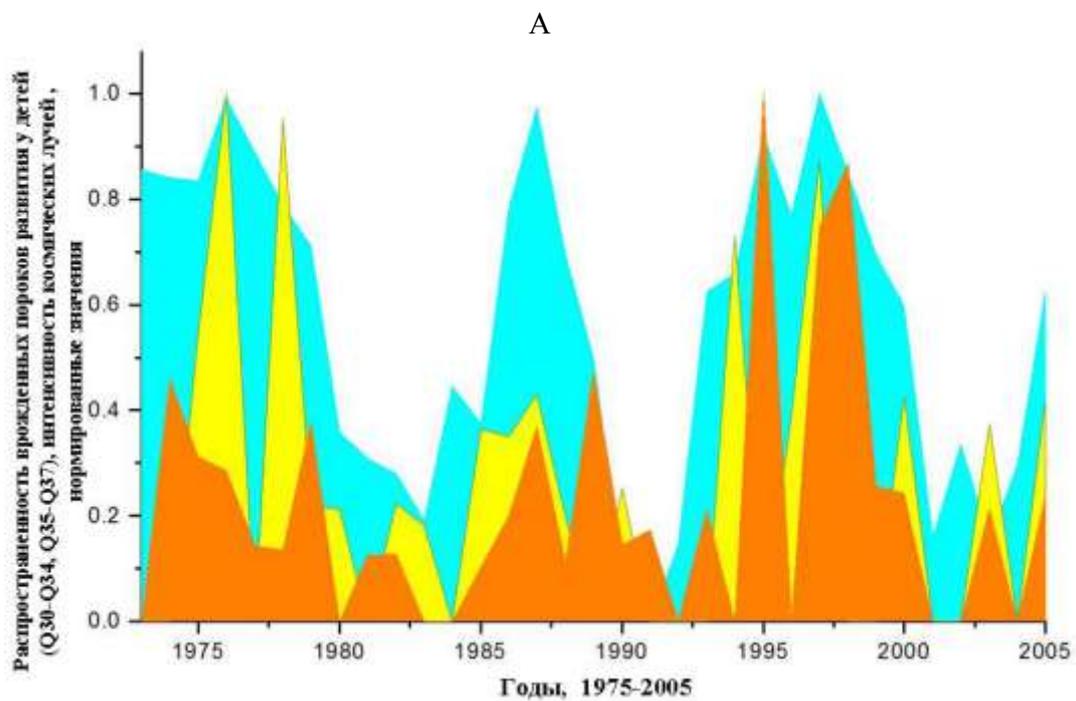


Рис.6. Связь вариаций нейтронной компоненты КЛ у поверхности Земли с врожденными пороками развития у детей (А) и заболеваемостью взрослого населения (Б). А – скорость нейтронного счета, голубая область; врожденные аномалии органов дыхания (Q30-Q34), оранжевая область; расщелина губы и нёба (заячья губа и волчья пасть) (Q35-Q37), желтая область. Б – скорость счета нейтронного монитора (космические лучи), частота случаев новообразований, болезней эндокринной системы, системы кровообращения, печени и поджелудочной железы, нормированные значения.

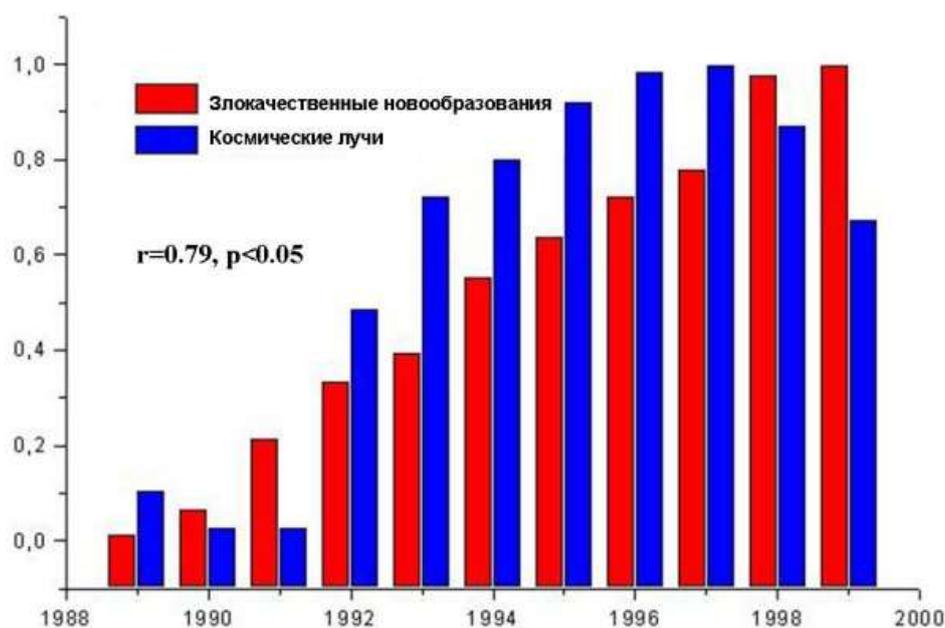


Рис. 7. Заболеваемость злокачественными новообразованиями (красные столбцы) и интенсивность нуклонной компоненты КЛ у поверхности Земли (синие столбцы). По оси абсцисс – годы, по оси ординат – нормированные значения

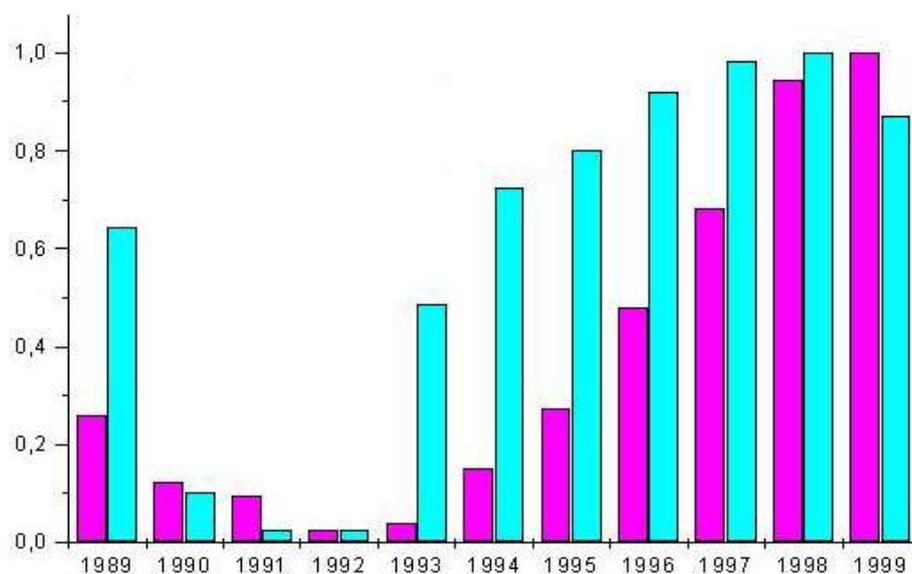


Рис. 8. Заболеваемость туберкулезом (фиолетовые столбцы) и интенсивность нуклонной компоненты КЛ у поверхности Земли (голубые столбцы). По оси абсцисс – годы, по оси ординат – нормированные значения

Полученные данные свидетельствуют, что заболеваемость жителей Евро-Арктического региона связана с воздействием ионизирующей радиации техногенного и природного происхождения. Можно предполагать, что генотоксические агенты со сходным спектром биологических эффектов, воздействуя на одни и те же мишени и в одно и то же время, взаимодействуют аддитивным образом [9], способствуя росту заболеваемости населения.

В рамках совершенствования методических подходов к оценке интегральных (многосредовых, многофакторных) рисков для здоровья населения и методологии оценки риска для здоровья населения от воздействия микробиологических и физических факторов

(<http://admin.rosпотреbnadzor.ru/documents/proto/19776/>), авторы исследования полагают, что учет воздействия природных факторов среды, обусловленных исключительно высокоширотной спецификой воздействия на организм человека, может внести существенный вклад в улучшение методических подходов к оценке интегральных рисков для здоровья населения на Севере.

Выводы

1. Основная причина неуклонного повышения заболеваемости населения в Арктическом регионе – загрязнение окружающей среды радионуклидами, образовавшимися в атмосфере в результате ядерных испытаний и выпадающими с осадками на Землю. Распространение радионуклидов техногенного происхождения в окружающей среде порождает дестабилизацию генетического материала (нестабильность генома), это повышает риск возникновения онкозаболеваний и преждевременной смерти.

2. Сопутствующие агенты (техногенное загрязнение среды канцерогенами, химическими мутагенами, радионуклидами, источником которых могут быть промышленные предприятия, атомные взрывы в «мирных» целях, выбросы АЭС и др.) приводят к аддитивному эффекту, ускоряя процессы разрушения организма.

3. Природные факторы среды гелиогеофизического происхождения модулируют состояние организма (степень чувствительности к радионуклидам или, наоборот, устойчивости), что проявляется в преобладании тех или иных заболеваний в различных фазах цикла СА.

4. Дети наиболее уязвимы к действию источников ионизирующего излучения. Их заболеваемость отражает качество окружающей среды.

5. Повышение качества жизни населения требует совместных усилий медиков, биологов, социологов, экономистов с целью создания государственной междисциплинарной программы, призванной разработать подходы к снижению заболеваемости населения Арктических территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марей А.Н. Содержание стронция-90 в костной ткани населения Советского Союза 1974–1975 гг. / А.Н. Марей, Б.К. Борисов // Документ НК ДАР ООН. М.: Атомиздат, 1976. 12 с. 2. Прокофьев О.Н. Результаты исследований радиационно-гигиенической обстановки в РСФСР после стратосферных выпадений стронция-90 и цезия-137 в период 1963 по 1978 г. // Доклады НКР 318031. М.: Атомиздат, 1982. 13 с. 3. Рамзаев П.В. Гигиеническое исследование радиационной обстановки на Крайнем Севере СССР, обусловленной глобальными выпадениями: диссертация доктора мед. наук. Л., 1967. 397 с. 4. Радиозология ландшафтов Крайнего Севера / М.Н. Троицкая [и др.] // Радиозология. М.: Медицина, 1971. С. 325–253. 5. Троицкая М.Н. Гигиеническая оценка повышенных уровней облучения населения Крайнего Севера: автореферат дис. ... доктора мед. наук. Л., 1981. 23 с. 6. Радиационный фактор на Крайнем Севере России / Г.И. Мирецкий [и др.]. Санкт-Петербург: ГНИКИ СКУ «Система», 1999. 132 с. 7. Медико-биологические исследования на Шпицбергене как действенный подход для изучения биоэффективности космической погоды / Н.К. Белишева [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 1. С. 26–33. 8. Белишева Н.К. Медико-биологический мониторинг – как средство оценки качества окружающей среды для здоровья населения на Севере / Н.К. Белишева, Л.В. Талыкова, Н.А. Мельник // Материалы VII Северного социально-экологического конгресса, Архангельск, 27–28 июня, 2011. М.: ООО "Первая Оперативная Типография", 2012. С. 93–111. 9. *United Nations. Sources and Effects of Radiation*. Vol. I: Sources; Vol. 2: United Nations Scientific Committee on Atomic Radiation, 2000 Report to the Assembly, with scientific annexes. ANNEX C. Exposures to the public from man-made sources of radiation. United sales publications E.00.IX.3 and Nations, New York, 2000. 10. Ядерные испытания в Арктике: научно-публицистическая монография: в 2 т. Т. 1. Арктический ядерный полигон / под общ. ред. науч. рук. РФЯЦ ВНИИЭФ акад. РАН В.Н. Михайлова. Режим доступа: http://www.iss-atom.ru/ksenia/YI_t1/ch1_4.htm. 11. Ядерные испытания СССР: в 4 т. Т. 2. Технологии ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки / редгруппа специалистов Минатома, Минобороны России и РАН во главе с рук. ядерной отрасли акад. РАН В.Н. Михайловым. © РФЯЦ – ВНИИЭФ. Режим доступа: <http://www.iss-atom.ru/sssr2/index.html>. 12. Доклад Государственного комитета по охране окружающей среды Мурманской области «Состояние и охрана окружающей среды Мурманской области» 1999 г.: «Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском п-ове в 1999 году». Режим доступа: <http://www.murman.ru/ecology/comitet/report99/index.html>. 13. Материалы «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Мурманской области в 2012 году» / Управление Роспотребнадзора по Мурманской области / под ред. гл. государственного санитарного врача по Мурманской области, заслуженного врача Российской Федерации к.м.н. Л.А. Лукичевой. Мурманск, 2013. 14. Атлас «Медико-демографические показатели и санитарно-эпидемиологическая обстановка в Мурманской области в 2010 году» Управления федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Мурманской области. Мурманск, 2011. Режим доступа: http://www.murmanpotrebnadzor.ru/activities/view_item/25816/364. 15. Белишева Н.К. Эндогенная и экзогенная причинность заболеваемости на Севере // Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера.

Сыктывкар. УрО РАН, 2012. С. 73–83. **16.** *Manti L.* Cooperative biological effects between ionizing radiation and other physical and chemical agents / *L. Manti, A. D'Arco* // Mutation Research. 2010. Т. 704. С. 115–122. **17.** Cooperative influence of geo-cosmical agents on human organism. In: Physics of Auroral Phenomena / Belisheva N.K. [et al.]; eds. I.V. Golovchanskaya, N.V. Semenova. 2007. Apatity. P. 221–224. **18.** *Ramboiu S.* Effect of Radon-222 and its daughter inhalation on reproduction in rats exposed under natural conditions. Radon in the Living Environment, 19–23 April 1999 / *S. Ramboiu, E. Bordas, A. Olinic*. Athens, Greece, 1999. P. 869–872. **19.** Micronuclei Induced by Radon and Its Progeny in Deep-Lung Fibroblasts of Rats In Vivo and In Vitro / *M.A. Khan* [et al.] // Radiation Research. Jul. 1994. Vol. 139, № 1. P. 53–59. **20.** Johnson N. F. and G. J. Newton. Estimation of the Dose of Radon Progeny to the Peripheral Lung and the Effect of Exposure to Radon Progeny on the Alveolar Macrophage / *N.F. Johnson, G.J. Newton* // Radiation Research. Aug. 1994. Vol. 139, № 2. P. 163–169. **21.** *Шемью-Заде А.Э.* Радон и солнечная активность // Природа. 1992. № 7. С. 31–35. **22.** *Мельник Н.А.* Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах // Север – 2003: Проблемы и решение. Апатиты: КНЦ РАН, 2004, С. 77–89. **23.** *Tremblay J.* Beryllium-7 as a tracer of stratospheric ozone: a case study / *J. Tremblay, R. Servanckx* // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles. 1993. Vol. 172, № 1. P. 49–56. **24.** Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR V. Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation // National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C. 1996. 436 p. **25.** Информационный сборник: «Дозы облучения населения Мурманской области в 2010 году» / *Лукичева Л.А.* [и др.]. **26.** Информационный сборник «Дозы облучения населения Мурманской области в 2011 году» / *Лукичева Л.А.* [и др.]. **27.** The transfer of radionuclides along foodchains to man in Finnish Lapland / *T. Rahola* [et al.] // Arctic and Antarctic. Ostersund. 1993. P. 381–386. **28.** *Rissanen K.* Radiocesium in lichens and reindeers after Chernobyl accident / *K. Rissanen, T. Rahola* // Rangefer. Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety 1990. № 3. P. 55–61. **29.** Глобальное и региональное радиоактивное загрязнение цезием-137 европейской территории бывшего СССР / *Ю.А. Израэль* [и др.] // Метеорология и гидрология. 1994. №5. С. 5–9. **30.** The effects of cosmic rays on biological systems – an investigation during GLE events / *N.K. Belisheva* [et al.] // Astrophys. Space Sci. Trans., 8, 7–17, 2012. www.astrophys-space-sci-trans.net/8/7/2012/doi:10.5194/astra-8-7-2012. **31.** *Белишева Н.К.* Эффекты солнечных протонных событий в распространенности врожденных пороков развития у детей / *Н.К. Белишева, Л.В. Талыкова* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 5(2). С. 323–325. **32.** *Балабин Ю.В.* Сезонные вариации в различных компонентах вторичных космических лучей / *Ю.В. Балабин, А.В. Германенк* // Тезисы. Физика авроральных явлений. 36-й ежегодный семинар, 26 февраля – 1 марта. Кольского научного центра России Академии наук. Апатиты, КНЦ РАН, 2013. С. 65. Режим доступа: <http://pgia.ru/seminar>. **33.** Баланс энергии и происхождение возрастных приземного гамма-фона / *Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.В. Вашенюк, Б.Б. Гвоздевский* // Тезисы. Физика авроральных явлений. 36-й ежегодный семинар, 26 февраля – 1 марта. Кольский научный центр РАН. Апатиты, КНЦ РАН, 2013. С. 65. Режим доступа: <http://pgia.ru/seminar>. **34.** *Геринг-Галактионова И.В., Куприянов С.Н.* Влияют ли изменения солнечной активности на онкологическую заболеваемость? / *И.В. Геринг-Галактионова, С.Н. Куприянов* // Воздействие солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли: сборник науч. тр. М.: Наука, 1971. С.198-210. **35.** *Juckett D.A.* Correlation of a 140-year global time signature in cancer mortality birth cohorts with galactic cosmic ray variation, Int. J. Astrobiol., 6, 307–319, 2007.

Сведения об авторах

Белишева Наталья Константиновна – д.б.н., чл.-корр. МАНЭБ, зав. научным отделом медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН;
e-mail: natalybelisheva@mail.ru

Мельник Наталья Александровна – к.х.н., зав. аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля (РЛРК) Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН;
e-mail: melnik@chemy.kolasc.net.ru

Балабин Юрий Васильевич – к.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории космических лучей Полярного геофизического института КНЦ РАН;
e-mail: balabin@pgia.ru

Буркова Татьяна Федоровна – сотрудник ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области»; e-mail: fgu@fguzmo.ru

Талыкова Людмила Васильевна – д.м.н., зав. отделом гигиены и профпатологии НИЛ ФБУН СЗНЦ гигиены и общественного здоровья;
e-mail: talyk@mail.ru

ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫЕ ГНЕЙСЫ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЬСКОГО БЛОКА: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ПРИРОДА

В.П. Петров¹, Л.С. Петровская², М.Н. Петровский², М.Г. Тимофеева²

¹Кольский научный центр РАН

²Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Дана геолого-петрологическая и петрогеохимическая характеристика алюмосиликатных высококальциевых гнейсов кольской серии Центрально-Кольского блока Кольского п-ова, характеризующихся специфическим химическим и минеральным составом по сравнению с «классическими» гнейсами кольской серии. На основании анализа петрохимических данных, в сочетании с особенностями распределения микроэлементов в породе проведена попытка реконструкции состава и природы протолита, а также геодинамических обстановок их формирования.

Ключевые слова:

Центрально-Кольский блок, высококальциевые гнейсы, метаморфизм, P-T условия, возраст, реконструкция, протолит, геодинамические обстановки.

Изучение метаморфических образований докембрия акцентируется на различных аспектах, один из которых – реконструкция первичной, дометаморфической природы пород с выходом на понимание особенностей развития порообразующих осадочных и магматических процессов в докембрийские периоды формирования земной коры. В последнее время внимание петрологов-метаморфистов концентрируется на детальном исследовании термодинамических условий, режимов формирования конкретных пород и слагаемых ими породных комплексов для решения задач палеотектонических и палеогеодинамических реконструкций.

Метаморфические комплексы докембрия, как правило, неоднородны по своему петрографическому составу и включают породы, обладающие по своему химическому и минеральному составу, уровню и сложности метаморфических преобразований различным информационным потенциалом для исследования в рамках обозначенных проблем. Иногда выявление в составе конкретного метаморфического комплекса пород с необычным или специфическим составом, с какими-то петрологическими и геохимическими особенностями позволяет получить новую информацию о природе всего метаморфического комплекса. К числу таких пород относятся гнейсы с повышенным содержанием извести, обнаруженные в районе Пулузеро – Полнек-Тундры Центрально-Кольского блока (ЦКБ).

Геологическая позиция

В районе Пулузеро – Полнек-Тундры, расположенном в центральной части Кольского п-ова (рис. 1), архей представлен высокометаморфизованными супракрустальными и интрузивными породами, объединяемые термином эндербит-гранулитовый комплекс [1]. Супракрустальные образования комплекса по своему петрографическому составу типичны для кольской серии зон высокотемпературного метаморфизма [1–7 и др.]. Они представлены алюмосиликатными силлиманит-гранат-биотитовыми и гранат-биотитовыми гнейсами, а также двуслюдяными гнейсами, относимыми к волшпахской толще нестратифицированного кольско-беломорского комплекса [8]. В гнейсовом комплексе были обнаружены ранее неизвестные породы, специфические по химическому и минеральному составу, с повышенным валовым содержанием кальция по сравнению с обычными гнейсами [9–11]. В дальнейшем они для краткости называются нами высококальциевыми гнейсами, противопоставляя их рядовым бедным и умеренно кальциевым породам.

Высококальциевые гранат-биотитовые и биотитовые гнейсы слагают тело подковообразной формы в северо-западной части эндербитового куполовидного массива, вытянутого в северо-западном направлении. Площадь массива составляет 70 км². Он расположен к юго-востоку от оз. Пулузеро и занимает район от низовьев р. Орловка через г. Полнек-Тундра до оз. Большое Энгое (рис. 1).

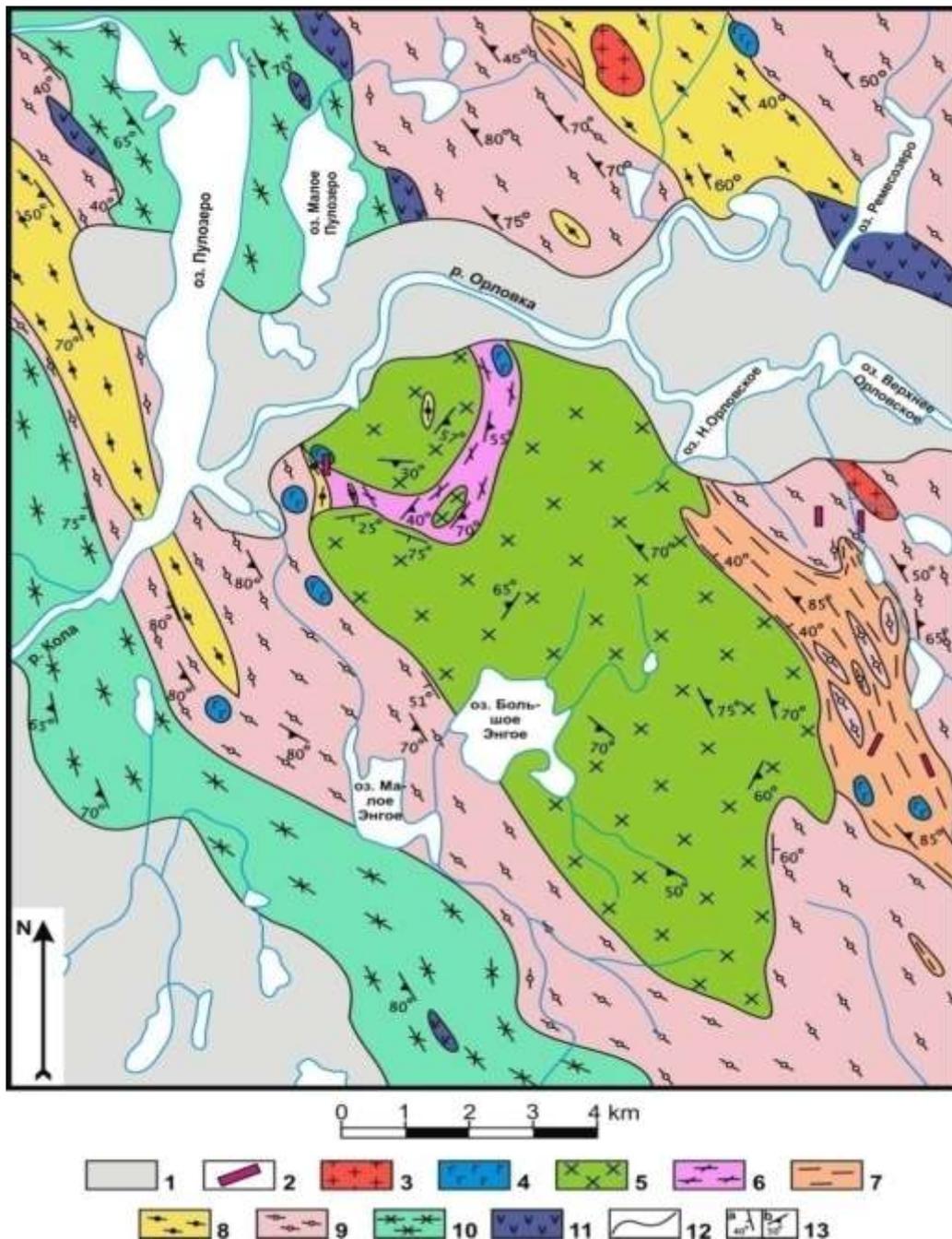


Рис. 1. Обзорная геологическая карта района Пулозеро – Полнек-Тундра. Составлена по материалам С.А. Дюкова (1957); В.В. Балаганского, М.Н. Богдановой (1987) и личным наблюдениям Л.С. Петровской, М.Н. Петровского [7]. Условные обозначения:

- 1 – четвертичные отложения; 2 – пегматоидные жилы; 3 – плагиомикроклиновые граниты; 4 – метагаббро; 5 – эндербиты варьирующего состава от кварцевого диорита до плагиогранита; 6 – высококальциевые гранат-биотитовые и биотитовые гнейсы; 7 – двуслюдяные гнейсы; 8 – гранат-силлиманит-биотитовые гнейсы с подчиненными прослоями биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов; 9 – гранат-биотитовые гнейсы с прослоями гранат-силлиманит-биотитовых и биотитовых гнейсов; 10 – пироксеновые и амфибол-пироксеновые гнейсо-диориты, диориты и, частью, гранодиориты; 11 – амфиболиты; 12 – геологические границы; 13 – элементы залегания: а) контактов, б) гнейсовидности

Падение гнейсовидности в породах массива от центра массива под углами от 50° до 75°. Контакты с вмещающими породами секущие, частью тектонизированные. Линия контакта срезает гнейсовидность и мигматитовую полосчатость гнейсов кольской серии. Падение контактов эндербитов субсогласно падению гнейсовидности в центре массива под углами от 40° до 70°. Эндербиты в приконтактных частях более мелкозернистые, чем в центральной части массива, и содержат ксенолиты вмещающих их силлиманит-гранат-биотитовых гнейсов, размер которых в среднем составляет 5x10 см. Кроме того, из-за контаминации веществом высокоглиноземистых гнейсов в приконтактных частях интрузива наблюдается развитие гранатовых разностей эндербитов.

Толща высококальциевых гнейсов рассматривается нами как останец кровли эндербитового массива (рис. 1). Видимая ее мощность изменяется в пределах от 350 м до 1.2 км. Простираемость гнейсовидности пород субсогласно простиранию их контактов с эндербитами. Падение гнейсовидности варьирует от юго-западного до восточного, а углы падения от 30 до 75°. Следует отметить, что толща высококальциевых гранат-биотитовых и биотитовых мигматизированных гнейсов включает линзовидные тела обычных гранат-силлиманит-биотитовых гнейсов и амфиболитов, а также содержит многочисленные жильные гранитоидные образования, секущие кристаллизационную сланцеватость и мигматитовую полосчатость.

В составе супракрупного комплекса рассматриваемого района присутствуют также пироксеновые и амфибол-пироксеновые кристаллосланцами и амфиболиты. Интрузивные образования, кроме эндербитов, представлены габбро- и пагиомикроклиновыми гранитами, образующими мелкие тела, которые прорывают высокоглиноземистые гнейсы, двуслюдяные гнейсы и эндербиты.

Петрографические особенности

Высококальциевые породы района Пулозеро – Полнек-Тундра различаются по своему петрографическому составу и описаны гранат-биотитовыми и биотитовыми гнейсами. При геологическом картировании, между этими разновидностями пород четких контактов не зафиксировано.

Высококальциевые гранат-биотитовые гнейсы – гнейсовидные, среднезернистые породы серого цвета. Структура порфиробластовая за счет выделений граната, структура основной ткани характеризуется сочетанием лепидогранобластовой, гранобластовой с элементами бластокатакlastической (рис. 2). Главный породообразующий минерал – битовнит-анортит (45–70%), содержание кварца в породе – 20–40%, калиевого полевого шпата – 0–2%. В качестве цветных минералов присутствуют: гранат (1–5%), красно-коричневый биотит (содержание варьирует от 5 до 20%). Вторичные минералы – хлорит, эпидот, мусковит, серицит. Акцессорные минералы: циркон, апатит, титанит, магнетит.

Гранаты высококальциевых гнейсов имеют несколько генераций. Наиболее ранние гранаты (Grt_1) зафиксированы выделениями изометричной и неправильной формы (с размерами до 5 мм), насыщенными включениями кварца, биотита и магнетита в центральных частях кристаллов. По трещинам и по краю зерен развивается диафорический светло-зеленый биотит с яркими цветами интерференции. Гранат поздней генерации (Grt_2) образует мелкие кристаллы гипидиоморфной и изометричной формы с пойкилобластовыми включениями кварца и биотита во внешней зоне минерала. *Биотит* (Bt) также наблюдается в виде двух генераций. Первая генерация – коричневый с зеленым оттенком биотит (Bt_1), который развит в основной ткани, образует выделения в виде отдельных пластинок, вытянутых по спайности, а также их сростков неправильной формы и изогнутых агрегатов с размерами до 2.5–3.0 мм. По трещинкам и по краям зерен биотита развиваются рутил, хлорит, мусковит и магнетит, микровключения циркона и апатита. Биотит второй генерации (Bt_2) наблюдается в виде светло-зеленых изогнутых пластинок, поломанных и раздробленных индивидов, облекающих порфиробласты граната. *Плагиоклаз* (Pl) по составу варьирует от лабрадор-битовнита ($An=63\%$) до анортита (100%). Увеличение основности плагиоклазов в гранат-биотитовых гнейсах наблюдается «вкрест» их простирания с северо-запада на юго-восток.

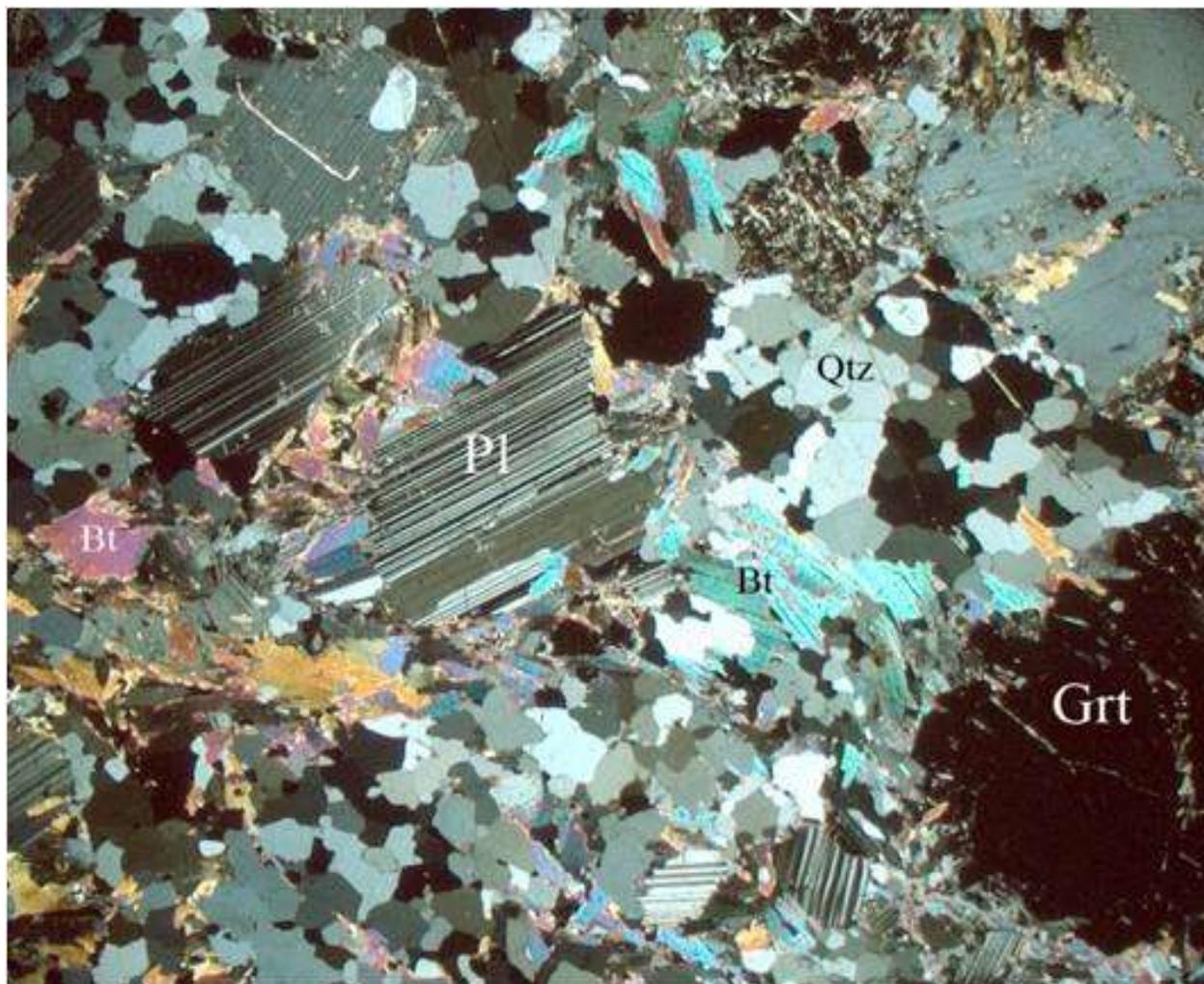


Рис. 2. Гранобластовая структура высококальциевых гранат-биотитовых гнейсов с элементами порфиробластовой. Шлиф П-219, николи скрещены, объектив 2.5^x

Плагиоклаз первой генерации (Pl₁) образует гипидиоморфные, широко таблитчатые, таблитчатые, изометричные кристаллы и выделения неправильной формы с размерами до 4 мм (средний размер зерен 1.8x1.6 мм). Наблюдаются кристаллы с прямой и обратной зональностью, причем составы их центральных зон в некоторых образцах близки. Плагиоклаз второй генерации (Pl₂) описан как выделения неправильной формы с размерами до 1 мм, ксеноморфными по отношению к плагиоклазу ранней генерации. По составу ранний плагиоклаз (Pl₁) варьирует от 69 до 100% анортитового компонента, поздний плагиоклаз (Pl₂) содержит анортит в пределах 63–92%. По поверхности зерен развивается серицит, эпидот, микровключения циркона, кварца и биотита. Кварц (Qtz) также образует несколько генераций. Кварц первой генерации (Qtz₁) дает зерна вытянутой, изометричной, неправильной формы с извилистыми очертаниями с размерами до 3.0–3.6 мм, погасание волнистое, трещиноват. Кварц второй генерации (Qtz₂) – мелкий, гранулированный, развит по краю более крупных зерен и по трещинкам в них.

Высококальциевые безгранатые биотитовые гнейсы – темно-серые, среднезернистые, гнейсовидные породы, обычно более однородные, плотные и менее мигматизированные по сравнению с гранат-биотитовыми гнейсами (рис. 3). Главный породообразующий минерал – битовнит (60–70%), содержание калиевого полевого шпата достигает 10%, кварца – 15–30%. Цветной минерал описан как биотит зеленого цвета с буроватым оттенком (15–20%). Вторичными минералами являются хлорит, эпидот, мусковит, серицит. Акцессорные минералы – циркон, апатит, титанит, рудный минерал. Зеленый биотит (Bt) наблюдается в виде пластинчатых выделений, размером до 3 мм, и их сростков, имеющих неправильные очертания. По химическому составу отвечает мероксену истонит-сидерофиллитового ряда с железистостью

$f = 33\text{--}46\%$. Содержание TiO_2 в минерале варьирует в пределах $2.59\text{--}2.66\%$. Плаггиоклаз (Pl) образует кристаллы гипидиоморфной, таблитчатой формы размерами до 2 мм, по составу отвечает лабрадор-битовниту ($\text{An}=53\text{--}83\%$). Как и в гранат-биотитовых гнейсах, кварц образует не менее двух генераций.

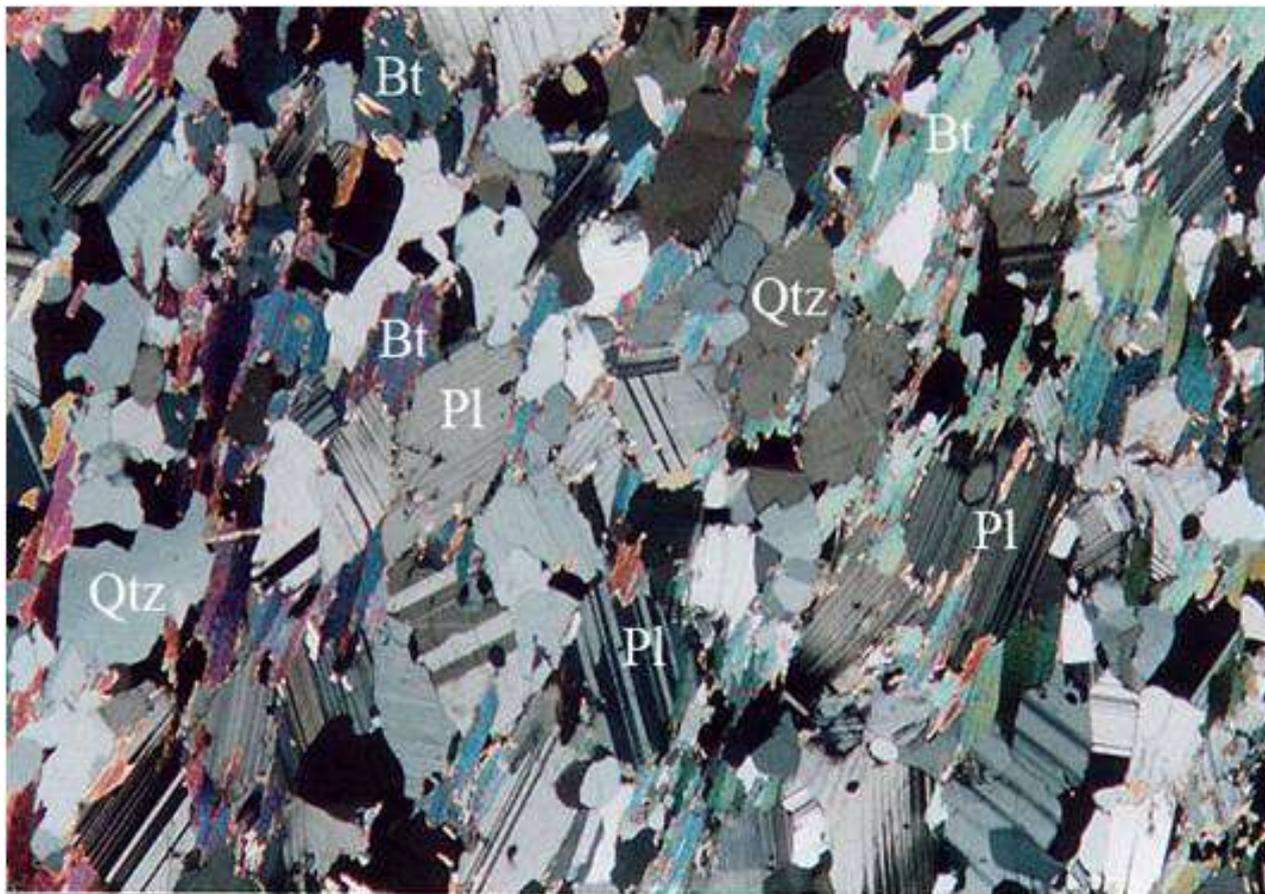


Рис. 3. Лепидогранобластовая структура высококальциевых биотитовых гнейсов. Шлиф П-218, николи скрещены, объектив – $2.5\times$

Петрогеохимическая характеристика

Геохимические особенности высококальциевых гнейсов кольской серии ЦКБ рассмотрены на основе химических анализов, приведенных в табл. 1. По содержанию кремнезема гнейсы кольской серии, включая и рассматриваемые высококальциевые породы района Пулозеро – Полнек-Тундры, соответствуют породам среднего и кислого составов, имеют нормальную щелочность, при этом высококальциевые породы характеризуются пониженным содержанием суммы щелочей (менее 4%) и более низкими отношениями натрия к калию, по сравнению с умеренно кальциевыми гнейсами. На вариационных диаграммах Харкера такие элементы, как TiO_2 , FeO^* , MgO , Al_2O_3 , имеют также сходные черты распределения. Для них характерно снижение содержания одновременно с ростом содержания SiO_2 , что хорошо коррелирует с поведением минералов-концентраторов этих элементов: в породах наблюдается снижение количества граната, биотита, магнетита и сульфидов от средних к кислым разностям. Химический состав высококальциевых гнейсов: SiO_2 – $62.28\text{--}72.32$; TiO_2 – $0.34\text{--}1.04$; Al_2O_3 – $13.83\text{--}16.80$; Fe_2O_3 – $0.86\text{--}2.39$; FeO – $1.54\text{--}3.95$; MnO – $0.03\text{--}0.25$; MgO – $2.06\text{--}3.89$; CaO – $3.69\text{--}5.71$; Na_2O – $0.21\text{--}1.62$; K_2O – $1.40\text{--}2.65$ (мас. %).

Содержание главных (масс.%) и рассеянных (г/т) элементов
в высококальциевых гнейсах кольской серии

Номер пробы	Гранат-биотитовые гнейсы						Биотитовые гнейсы				
	П-205	П-206	П-208	П-212	П-215	П-219	П-210	П-213	П-214	П-216	П-218
SiO ₂	64.44	65.25	65.76	66.43	70.08	62.28	68.00	64.99	69.71	72.32	69.03
TiO ₂	0.64	0.77	0.65	0.64	0.31	1.04	0.59	0.58	0.38	0.40	0.43
Al ₂ O ₃	16.80	15.90	15.73	14.99	13.90	15.32	14.69	14.56	14.03	13.26	13.77
Fe ₂ O ₃	1.03	1.48	1.71	1.78	1.13	2.39	1.21	1.73	1.02	0.61	0.89
FeO	2.36	2.83	2.82	2.59	1.87	3.94	2.31	1.88	1.85	1.71	1.63
MnO	0.03	0.05	0.05	0.07	0.11	0.16	0.01	0.19	0.04	0.01	0.02
MgO	2.79	3.89	2.91	3.11	2.06	2.94	2.73	2.96	2.41	2.70	2.22
CaO	5.46	5.08	5.50	5.53	3.69	5.71	5.34	6.80	4.72	5.00	4.98
Na ₂ O	1.62	0.66	1.03	0.53	0.90	0.21	0.92	0.51	0.80	0.37	1.27
K ₂ O	2.64	2.36	1.96	2.10	3.43	2.65	2.02	1.95	2.69	1.71	2.42
Сумма	97.81	98.27	98.12	97.77	97.48	96.64	97.82	96.15	97.65	98.09	96.66
Cu	63	41	46	73	26	39	39	41	<20	34	44
Ni	54	49	36	42	23	100	100	31	27	31	31
Co	16	18	15	16	<10	24	24	12	10	<10	<10
Cr	36	20	32	34	12	290	290	24	14	12	17
V	110	120	120	120	48	190	190	100	88	72	72
Pb	9.8	8.6	2.4	5.6	17	7.6	7.6	6.3	9.4	8.2	12
Zn	66	120	110	90	64	120	120	89	63	78	56
Ba	287	180	260	188	627	130	130	160	260	90	350
Nb	8	9	9	<7	<7	6	6	8	7	7	9
Zr	168	129	164	140	86	181	181	151	123	97	124
Y	<6	6	8	13	15	30	30	8	6	6	6
Sr	174	69	108	59	79	108	108	60	64	59	113
Rb	58	69	84	51	60	96	96	52	60	50	47
U	<15	14	<15	<15	<16	13	13	14	15	15	15
Th	<11	11	15	11	<12	10	10	11	11	11	11

Умереннокальциевые силлиманит-гранат-биотитовые гнейсы и высококальциевые гранат-биотитовые и биотитовые гнейсы различаются по содержанию таких элементов, как CaO, Na₂O и FeO*. В высококальциевых гнейсах содержание CaO почти в 2 раза выше, а Na₂O – в 3–4 раза ниже, чем в умереннокальциевых гнейсах при близких содержаниях кремнезема.

Высококальциевые гранат-биотитовые и биотитовые гнейсы отличаются от умереннокальциевых гнейсов более низкими содержаниями таких элементов, как Cu, Ni, Cr, V, Pb, Sr, Ba, и более высоким содержанием Ga и Sn при близких содержаниях кремнезема. Содержания U, Th, Zr, Y, Rb, Nb и Ge в этих породах близки.

Особенности химизма минеральных парагенезисов

В обычных высокоглиноземистых гнейсах рассматриваемого района выделяются 2 минеральных парагенезиса, характеризующих основные этапы их метаморфической истории [1]. В высококальциевых породах так же, как было показано выше, выделяются 2 основные генерации граната и биотита.

Гранаты ранних генераций в высококальциевых породах, как и гранаты из обычных гнейсов, по компонентному составу отвечают гранулитовой фации (рис. 4) [12]. Для них характерны сходные тренды химической зональности с возрастанием доли суммы алмандинового и спессартинового компонентов от центральных к краевым зонам кристаллов (рис. 5 а, б). Примечательно, что «гранулитовый» компонентный состав имеют также и гранаты из жильных гранитоидных пород, секущих гнейсы кольской серии.

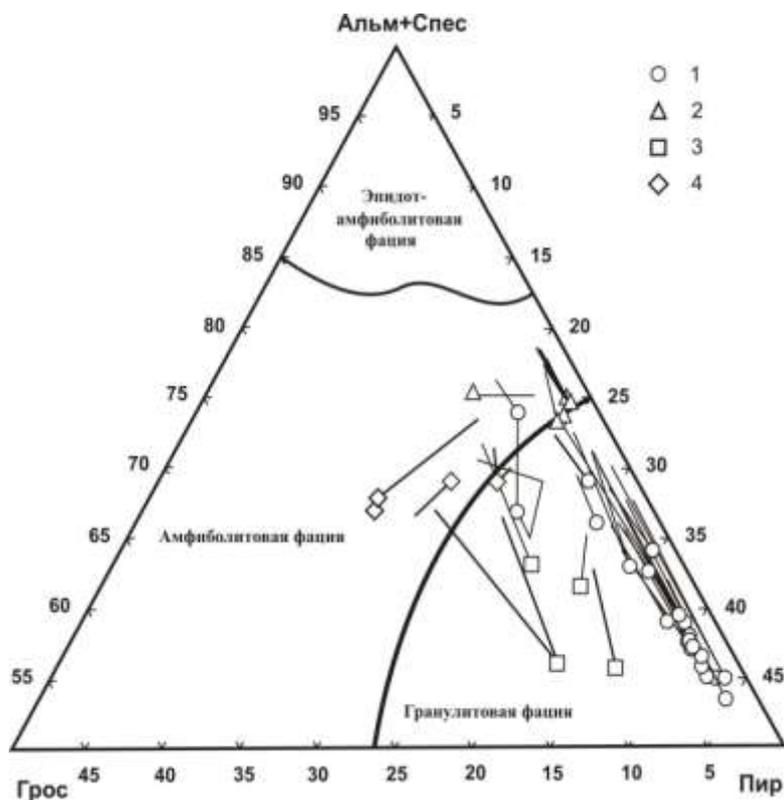


Рис. 4. Компонентный состав гранатов из гнейсов кольской серии и связанных с ними жильных гранитоидных образований на диаграмме гроссуляр – альмандин+спессартин – пирроп; границы фаций метаморфизма показаны по [12]. Составы гранатов: 1 – раннего минерального парагенезиса и 2 – позднего минерального парагенезиса из умереннокальциевых гнейсов; 3 – раннего минерального парагенезиса и 4 – позднего минерального парагенезиса из высококальциевых гнейсов. Значками обозначены центральные части гранатов, стрелкой показано изменение состава к краевым частям кристаллов

Отличительная особенность гранатов высококальциевых пород состоит в повышенном содержании гроссулярового компонента (от 6 до 12% в гранатах ранних генераций и до 18% в гранатах поздних генераций) при том, что в обычных гнейсах содержание гроссулярового компонента не превышает 5%. Наблюдается достаточно четкая зависимость содержания кальция в гранате от его валового содержания в породе (рис. 6). Химическая зональность индивидуальных кристаллов граната в высококальциевых и обычных глиноземистых гнейсах характеризуется наличием внутренних зон, практически однородных в части распределения магния, железа и марганца, и краевых зон с регрессивной зональностью, выражающейся в повышении содержания железа и марганца при снижении содержания магния. Ширина внешних «регрессивных» зон достигает 400 мкм. Распределение кальция на концентрационных профилях неравномерное, скачкообразное, но в краевых частях оно обычно снижается.

Кристаллы поздних гранатов из высококальциевых гнейсов по компонентному составу соответствуют гранатам амфиболитовой фации метаморфизма [12]. Они также имеют регрессивный тип зональности (рис. 5 в, г). В некоторых зернах центральные зоны химически однородны по распределению FeO и MgO; распределение MnO содержит положительный пик, а распределение CaO неравномерное с наличием локальных положительных пиков. Широкая регрессивная зона более 200 мкм характеризуется скачкообразным повышением CaO и понижением FeO, концентрация MnO плавно уменьшается. Затем в узкой краевой зоне шириной около 40 мкм наблюдается увеличение к краю зерна содержания MnO, FeO и снижение MgO. Химическое строение краевых зон кристаллов поздних генераций неоднородно, особенно в отношении распределения кальция и марганца. Оно характеризуется наличием положительных и отрицательных пиков, причем в зеркальном отображении друг к другу. На границе гранатов с биотитом наблюдается снижение концентрации MgO и CaO, и повышение FeO и MnO, что характерно для регрессивной эволюции граната. Такое распределение элементов по концентрационным профилям в гранатах поздней генерации из высококальциевых гнейсов можно также объяснить влиянием наложенных более низкотемпературных метаморфических преобразований.

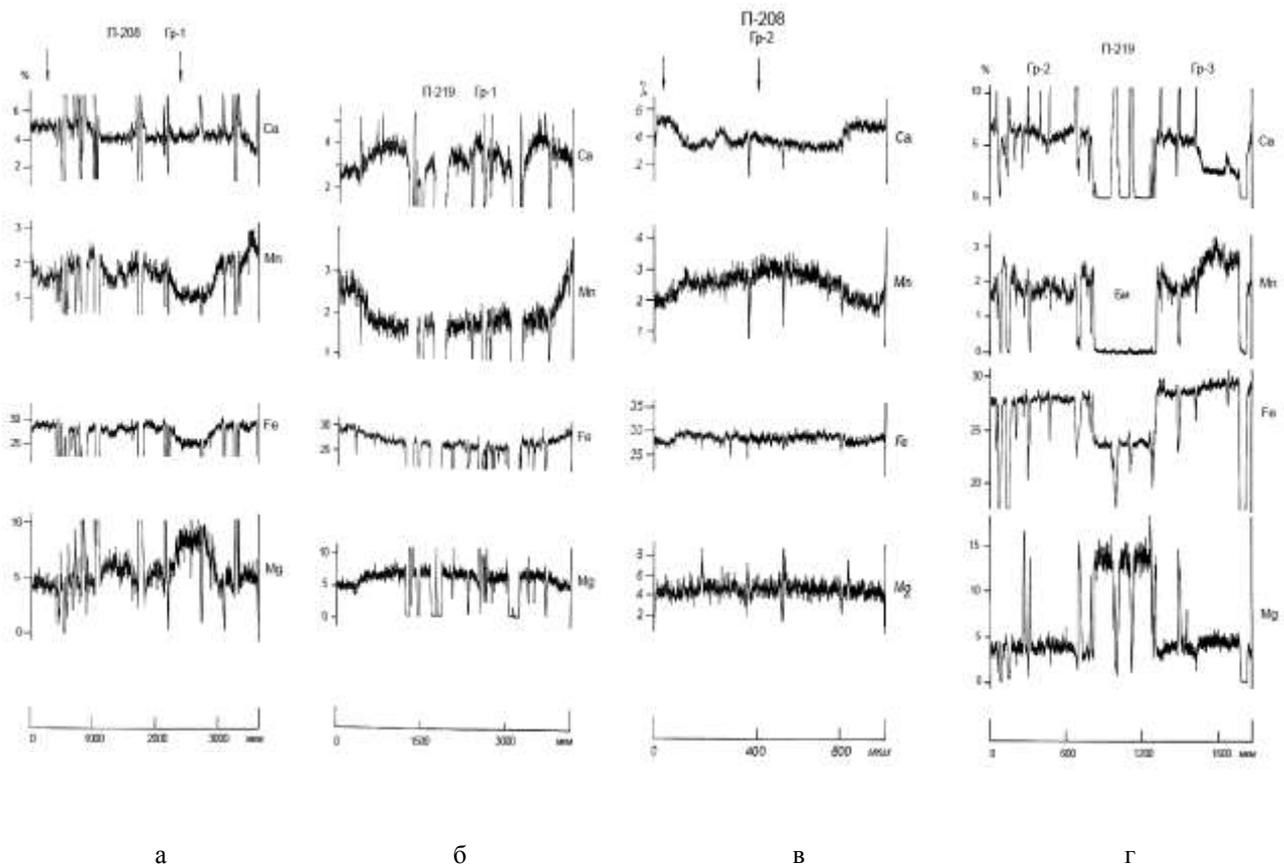
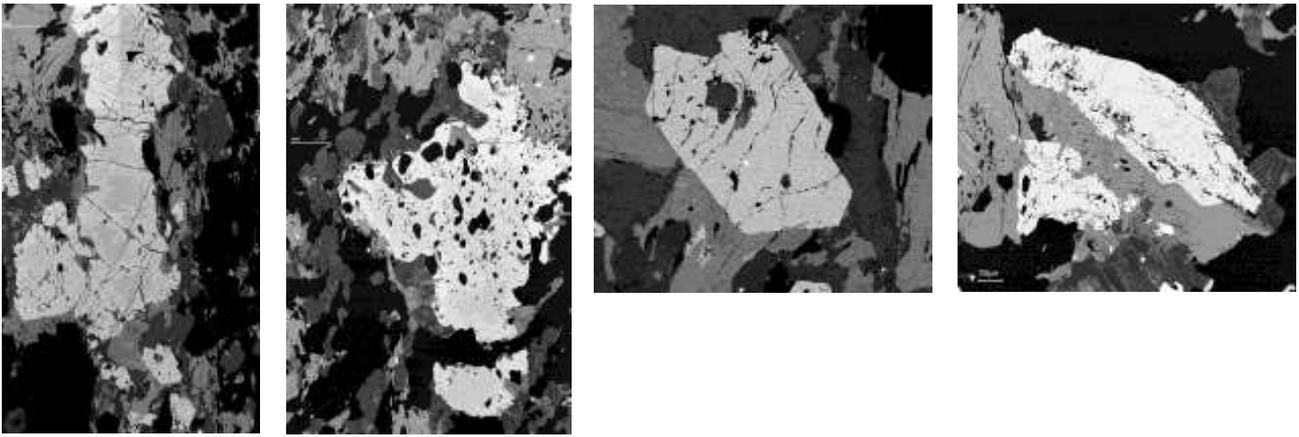


Рис. 5. Морфология и химическая зональность гранатов из высококальциевых гнейсов кольской серии (образцы П-208; П-219), сформированных в условиях гранулитовой (а, б) и амфиболитовой (в, г) фаций метаморфизма

Биотиты высококальциевых гранатовых гнейсов по химическому составу соответствуют мероксену аннит-флогопитового ряда. Наблюдаются две генерации минерала. Биотиты ранней генерации характеризуются повышенными содержаниями TiO_2 (2.59–3.16 масс. %) и вариациями железистости в широких пределах (32.9–46.2%) относительно биотитов поздней генерации (1.94–1.96 масс. % и 35.3% соответственно), что находит своё отражение на фациальной диаграмме TiO_2 , масс. % – f, атомное количество (ат.к.) [12], где фигуративные точки составов биотита располагаются в полях, соответствующих определенным условиям их формирования, т.е. ранняя генерация коричневого биотита отвечает условиям гранулитовой фации метаморфизма, а поздняя генерация светло-зелёного биотита – амфиболитовой.

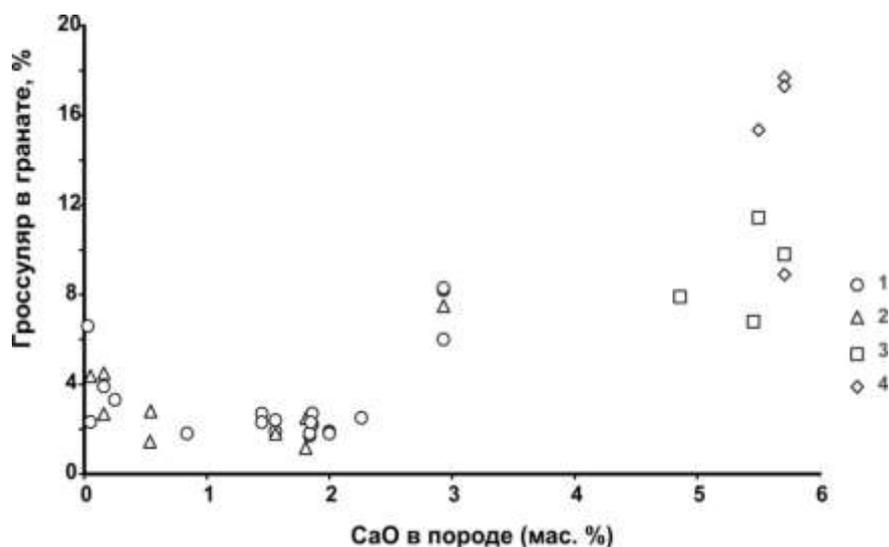


Рис. 6. Диаграмма зависимости содержания гроссулярового минала в гранатах от содержания СаО в гнейсах кольской серии. Составы гранатов из: раннего (1) и позднего(2) минеральных парагенезисов из умереннокальциевых гнейсов; раннего (3) и позднего (4) минеральных парагенезисов из высококальциевых гнейсов

Аналогичным образом на этой диаграмме располагаются и фигуративные составы биотитов из умереннокальциевых гнейсов, красно-коричневые биотиты ранней генерации находятся в пределах поля гранулитовой фации метаморфизма, а светло-зелёные поздней генерации – амфиболитовой. Составы биотитов из эндербитов на фациальной диаграмме TiO_2 , масс. % – f, ат.к. [12] располагаются в пределах поля гранулитовой фации и лишь с появлением зеленоватого оттенка смещаются к границе поля амфиболитовой фации метаморфизма. Незначительное повышение MnO у биотитов первой генерации для всех разновидностей пород наблюдается с возникновением у них зеленого оттенка, что подтверждает присутствие в разной степени диафторированных.

Термодинамические условия образования минеральных парагенезисов метаморфизма

Ранние парагенезисы $Grt_{55-69} + Bt_{25-32}$ (красно-коричневый) $\pm Sil + Pl_{23-29} \pm Kfs + Qtz$ в умереннокальциевых гнейсах и $Grt_{59-69} + Bt_{32-45}$ (коричневый) $+ Pl_{69-99} \pm Kfs + Qtz$ в высококальциевых гнейсах свидетельствует о принадлежности изученных пород на кульминационной стадии метаморфизма гранулитовой фации.

Термодинамические условия образования минеральных парагенезисов высококальциевых гнейсов определялись с использованием Grt-Bt геотермометра Л.Л. Перчука и др. [13], и эмпирически откалиброванных Т. Хойшем [14, 15] геобарометрических равновесий для ассоциации Grt+Bt+Pl+Qtz.

По данным изучения химических составов ядерных зон минералов ассоциации Grt-Bt-Pl термодинамические значения раннего кульминационного метаморфизма гранулитовой фации оцениваются в $T = 765-830$ °C и $P = 8.5-11.3$ кбар.

Полученные оценки давления для высококальциевых гнейсов завышены, что, возможно, обусловлено спецификой химизма их пород и минералов, а также, соответственно, возможностями использованных геотермобарометров, которые были разработаны для умеренно кальциевых ассоциаций. [9, 10].

Для оценок P-T условий более поздних преобразований, с которыми связано образование следующей генерации гранат-биотит-плагноклазовых парагенезисов высококальциевых пород были использованы составы минеральных пар в точках их соприкосновения, а также центральные части новообразованных минеральных ассоциаций из рассланцованных разностей пород. Следует отметить, что составы всех минералов переменного состава в краях зерен существенно колеблются в пределах одного шлифа и даже одного зерна, что может свидетельствовать о неравновесности изученных систем. В таком случае можно предположить, что составы контактирующих минералов в местах их соприкосновения находились в равновесии, но каждый из этих участков отражает разные ступени

равновесия, которое достижимо при разных температурах. Причины прекращения реакций на разных ступенях охлаждения, возможно, были обусловлены исключительно локальными кинетическими факторами [16]. Равновесность соприкасающихся минералов косвенным образом подтверждается тем, что полученные по ним значения температуры и давления находятся в близкой линейной зависимости друг от друга и поэтому не могут рассматриваться как случайные.

Полученные оценки Р-Т параметров для центральных частей гранатов второй генерации равны 580–640 °С и 4.0–6.0 кбар. В целом Р-Т условия стадии образования внешних зон граната первой генерации при наложенном метаморфизме для большинства образцов из умереннокальциевых гнейсов отвечают параметрам, рассчитанным для центральных частей гранатов второй генерации, и изменяются от 634 до 533 °С и от 5.6 до 2.0 кбар. Значения 742–655 °С и 6.7–3.6 кбар, полученные по составам краевой части граната первой генерации и матричного биотита, возможно, отражают самые начальные этапы охлаждения. Оценки температуры и давления ретроградной стадии метаморфизма с учётом биотитов, включенных в гранат первой генерации, определяются в интервале 620–450 °С, а с учетом биотитов, включенных в гранат второй генерации, равны 530–520 °С, что в среднем на 100 °С ниже, чем расчеты в ассоциации с матричными биотитами. Полученные оценки Р-Т параметров для краевых зон гранатов второй генерации составляют 644–533 °С и 5.3–2.2 кбар.

Для центральных частей гранатов второй генерации из высококальциевых гнейсов получены Р-Т параметры 600–675 °С и 5.0–7.7 кбар. Оценки Р-Т условий стадии роста граната первой генерации для образцов из высококальциевых гнейсов укладываются в интервал 611–675 °С и 5.5–8.0 кбар и хорошо согласуются с результатами по ядерным зонам гранатов второй генерации [9, 10].

С учетом указанных выше оценок Т и Р архейский метаморфизм в гнейсах исследуемого района относится к типу умеренных давлений по В.А. Глебовицкому [17]. Общая эволюция Р-Т режимов метаморфизма по оценкам Р-Т параметров соответствует серии АБ, промежуточной между And и Ky-Sil типами.

Возраст образования метаморфических парагенезисов

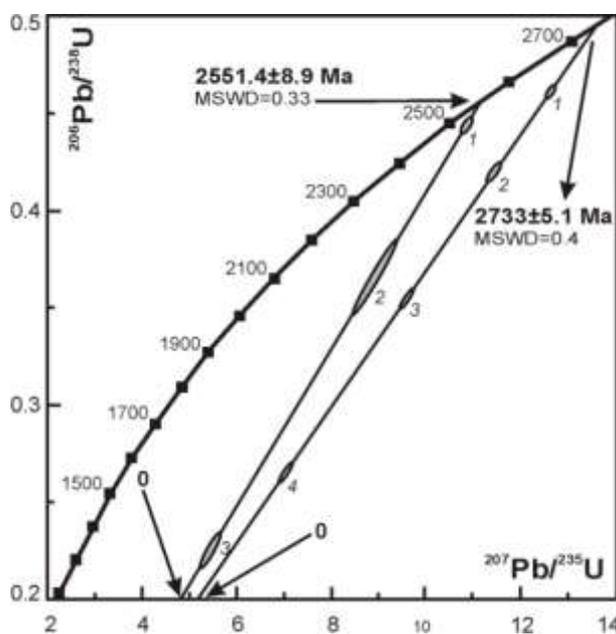


Рис. 7. U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов из умереннокальциевых гнейсов кольской серии [18]

Проведенное минералогическое и изотопно-геохронологическое изучение акцессорных цирконов в высококальциевых гнейсах кольской серии позволило установить разновозрастные генерации этого минерала, отвечающие двум этапам минералообразования (метаморфизма) в данной породе [18]. Ранняя генерация цирконов образована призматическими, прозрачными кристаллами изометрического облика, светло-коричневого цвета с алмазным блеском, средние размеры – 0.09 x 0.09

мм, $K_u=1$. Величина массы среднего кристалла – 3×10^{-6} г. Концентрации U (до 90 ppm) и Pb низкие (до 50 ppm); такие цирконы по генезису отнесены к гранулитовым. U-Pb возраст цирконов ранней генерации определен в 2733 ± 5.1 млн лет (рис. 7) при СКВО = 0.4 [18]. Этот возраст интерпретируется как время проявления метаморфизма гранулитовой фации в высококальциевых гранат-биотитовых гнейсах кольской серии, что близко по времени к этому же параметру гранулитового метаморфизма в умереннокальциевых гнейсах кольской серии (2724 ± 49 млн лет) [1].

Поздняя генерация цирконов – призматические кристаллы гиацинтово-цирконового типа, водянопрозрачного цвета, стеклянного блеска. Средние размеры – 0.123×0.07 мм, $K_u = 1.8$. Величина массы среднего кристалла составляет 2.4×10^{-6} г. По высоким концентрациям U (125–250 ppm) и Pb (120–220 ppm) генезис таких цирконов может быть метаморфическим и соответствует амфиболитовой фации метаморфизма в высококальциевых гнейсах. U-Pb возраст цирконов поздней генерации определен в 2551.4 ± 8.9 млн лет при СКВО = 0.33 [18]. Этот возраст интерпретируется как время проявления наложенного метаморфизма амфиболитовой фации в высококальциевых гранат-биотитовых гнейсах кольской серии, что близко к наложенному метаморфизму в умереннокальциевых гнейсах кольской серии (2568 ± 10 млн лет) [1].

Проблема первичной природы высококальциевых гнейсов.

Высокоглиноземистые гнейсы, как отмечалось выше, слагают обособленную толщу, в которой одновременно присутствуют обычные гнейсы и амфиболиты. Метаморфическая история высококальциевых гнейсов по времени и термодинамическим характеристикам аналогична метаморфической истории обычных гнейсов кольской серии. Это однозначно свидетельствует о принадлежности высококальциевых гнейсов к супракрустальному комплексу. Остается открытым вопрос: это первично осадочные, терригенные образования, или же первично специфические по составу вулканические и осадочно-вулканогенные породы?

Была предпринята попытка осветить этот вопрос с использованием различных классификационных диаграмм, основанных на соотношении главных петрогенных элементов: бинарной диаграммы Н. (de) LaRoche, M. Roubault [19] с координатами $x = Al/3 - Na$, $y = Al/3 - K$ (ат.к.); ФАК (мол.к.) А.А. Предовского; диаграммы М.И. Дубровского, А.Н. Микляева [21] $Qu_{\text{нор}} - [Al - (2Ca + Na + K)]$ (ат.к.); А.Н. Неелова [22] с координатами $Al/Si - Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn + Mg + Ca$ (ат.к.).

На диаграмме Н. де Ля Роша [19] фигуративные точки составов высококальциевых гнейсов располагаются в поле осадочных пород, другая часть точек составов высокоглиноземистых гнейсов находится в полях вулканических, что может свидетельствовать о гетерогенном осадочном и осадочно-вулканогенном генезисе гнейсов. Для сравнения были взяты составы архейских супракрустальных пород Титовского, Терского, Аннамско-Хихнаярвинского [23] и Центрально-Кольского блоков Кольского региона [6]. Расположение полей, образованных точками составов этих пород, сходно с положением фигуративных точек гнейсов кольской серии района Пулозеро – Полнек-Тундры, они также частично охватывают поля осадочных пород и вулканических, что указывает на их вероятную осадочно-вулканогенную природу [11].

Фигуративные точки гнейсов кольской серии района Пулозеро на диаграмме А.А. Предовского [20] лежат в полях зернистых осадочных и смешанных пород (граувакки и субграувакки) и пелитов (гидрослюдистые глины). Здесь же находятся поля аналогичных позднеархейских супракрустальных пород из сопоставляемых гранулитовых комплексов. С помощью петрохимического анализа диаграммы ФАК устанавливается, что среди гнейсов кольской серии района Пулозеро различаются аналоги умеренной основности: для умереннокальциевых гнейсов это гидрослюдистые глины и граувакки с $F=0.100-0.254$, а для высококальциевых гнейсов – граувакки и субграувакки с $F=0.07-0.138$ [11]. По данным В.П. Петрова и др. [23], глинистые кластоциты по особенностям метаморфических преобразований ближе к глинам, чем к песчаникам, и поэтому разграничение метапелитов и метапсаммитов предлагается проводить по среднему значению $A \approx 40$, что не совсем совпадает с принятой границей полей глинистых и кластоцитов по А.А. Предовскому [20].

Точки составов высококальциевых гранат-биотитовых и биотитовых гнейсов, а также умереннокальциевых силлиманит-гранат-биотитовых гнейсов на диаграмме М.И. Дубровского и А.Н. Микляева [21] $Qu_{\text{нор}} - [Al - (2Ca + Na + K)]$ располагаются как в поле осадочных пород, так и

в полях вулканитов от андезитов до риолитов. Составы аналогичных позднеархейских супракрустальных пород из сопоставляемых гранулитовых комплексов также находятся как в полях осадочных пород, так и полях вулканитов [11].

На диаграмме А.Н. Неелова [22], для определения исходной природы метаосадочных пород точки составов высококальциевых гнейсов имеют субгоризонтальный тренд и лежат в пределах полей граувакковых песчаников (Шб), аркозов и субаркозов (Ша), а также полимиктовых (IVа) и граувакковых (IVб) алевролитов и туффитов основного состава. Составы умереннокальциевых гнейсов характеризуются субвертикальным трендом и более низкими значениями параметра b в связи с более низким содержанием СаО. Точки их составов находятся в диапазоне полей от аркозов, субаркозов (Ша) до полей, соответствующим пелитовым аргиллитам (VIа), что, вероятно, может отражать рост доли глинистого компонента [24].

Таким образом, отмеченное при реконструкции первичной природы петрохимическое сходство гнейсов кольской серии района Пулозеро – Полнек-Тундра с позднеархейскими супракрустальными гранулитовыми комплексами Кольского п-ова позволяет предположить, что исходными породами для них также были осадочные и вулканогенно-осадочные породы [11, 24].

Однако этот вывод относительно высококальциевых гнейсов не согласуется с положением их фигуративных составов на диаграмме С.Д. Werner [25] (рис. 8), высококальциевые гнейсы четко обособляются от обычных гнейсов и ложатся в поле ортопород (магматитов), образуя единое поле с точками эндербитов, слагающих интрузивный комплекс, для которого гнейсы кольской серии – вмещающие породы.

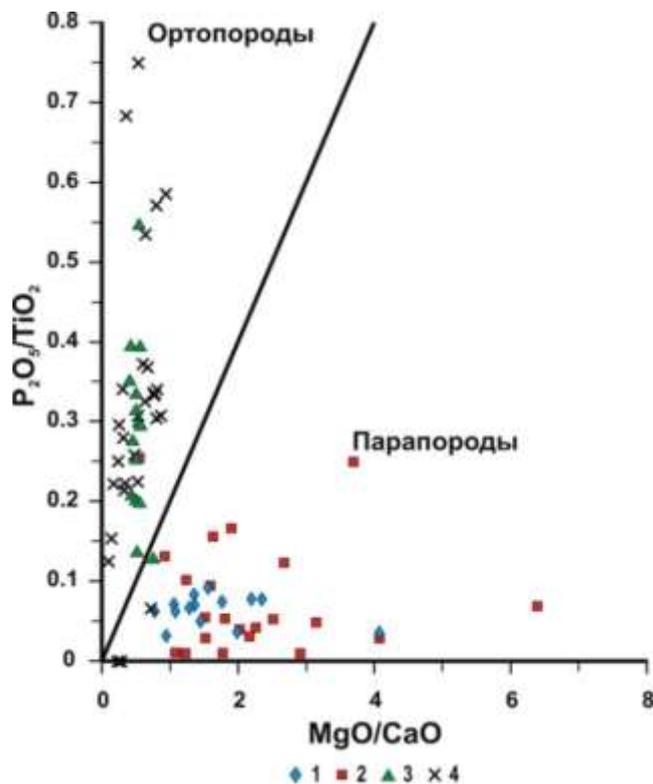


Рис. 8. Диаграмма $P_2O_5/TiO_2 - MgO/CaO$ [25] для разновидностей пород ЦКБ
 Условные обозначения: 1-2 – умереннокальциевые гнейсы кольской серии ЦКБ:
 1 – северо-западной части блока (район реки Малая Титовка); 2 – центральной части блока
 (район озера Пулозеро); 3 – высококальциевые гнейсы кольской серии центральной части ЦКБ
 (гора Полнек-Тундра); 4 – эндербиты

В связи с тем, что на классификационной диаграмме С.Д. Werner [25] составы высококальциевых гнейсов кольской серии, совместно с эндербитами, находятся в поле ортопород, их дальнейшая классификация проводилась с использованием диаграммы для магматических пород в системе координат TAS (рис. 9). На этой диаграмме фигуративные точки

составов высококальциевых гнейсов и эндробитов располагаются в поле пород дацитового состава. Высококальциевые гнейсы имеют пониженную щелочность по сравнению с эндробитами в силу специфики своего химического состава.

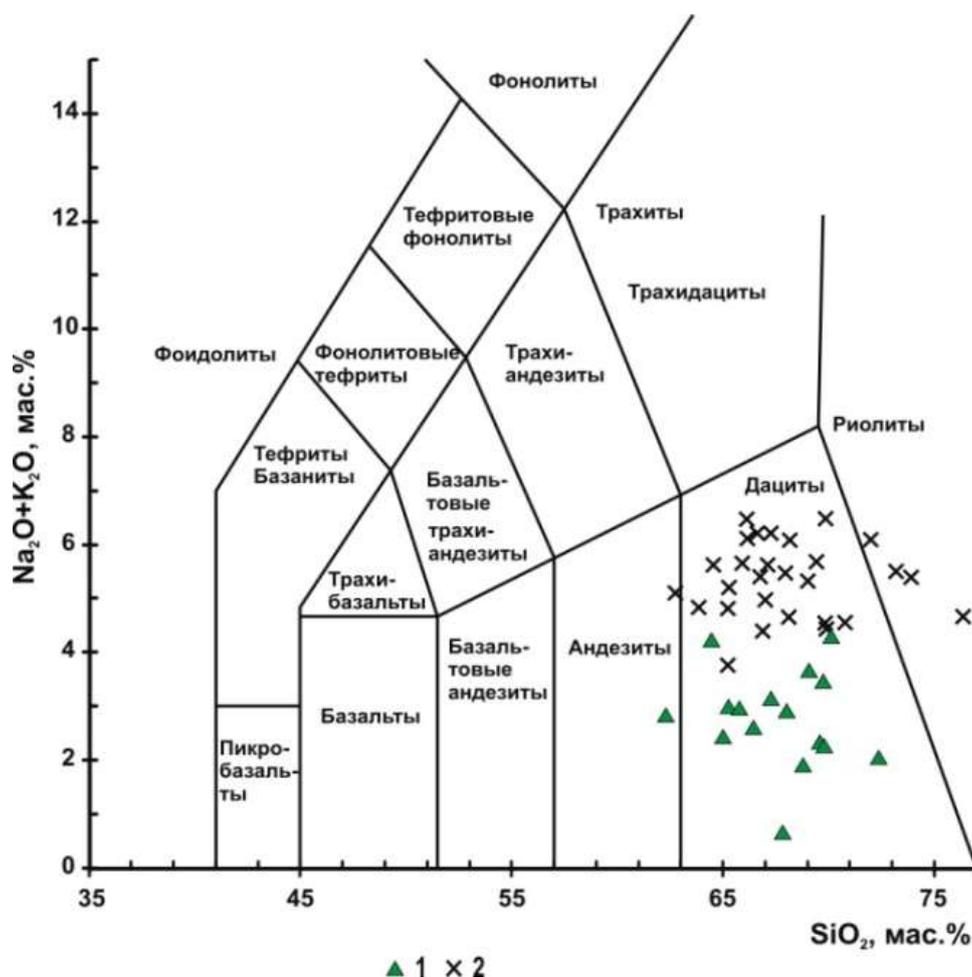


Рис. 9. Химическая классификация высококальциевых гнейсов кольской серии и эндробитов в системе координат TAS. Условные обозначения:
 1 – высококальциевые гнейсы кольской серии центральной части ЦКБ (гора Полнек-Тундра);
 2 – эндробиты

Для дальнейшей петрохимической классификации химический анализ высококальциевых гнейсов и эндробитов был пересчитан на нормативный минеральный состав по методу CIPWD и нанесен на классификационную диаграмму М.И. Дубровского [26]. По классификации М.И. Дубровского (рис. 10), эндробиты относятся к кварцнормативной группе (гранодиориты, микроклин-плагиоклазовые граниты, плагиограниты) низкой щелочности, но при этом фигуративные точки составов пород смещены к границе пород нормального ряда. По коэффициенту фемичности породы отвечают мезо- и лейкократовым разностям. Расположение фигуративных точек эндробитов в поле микроклин-плагиоклазовых гранитов связано с присутствием в породе до 15% биотита. Высококальциевые гнейсы также принадлежат к кварцнормативной группе (лейкограниты, силекситы) низкой щелочности и, как и составы эндробитов, смещены к границе пород нормального ряда (рис. 10), но по коэффициенту фемичности они не отвечают ни одному из родов, т.к. точки составов выходят за пределы треугольника $q_{норм} - fem - feld$ (рис. 10). По рис. 10 видно, что фигуративные точки составов высококальциевых пород лежат левее линии $fem^{50} - q_{норм}^{50}$, т.е. в изученных породах содержание fem компоненты больше, чем может существовать в кислых магматических системах, что, вероятно, указывает на немагматическую природу этих гнейсов.

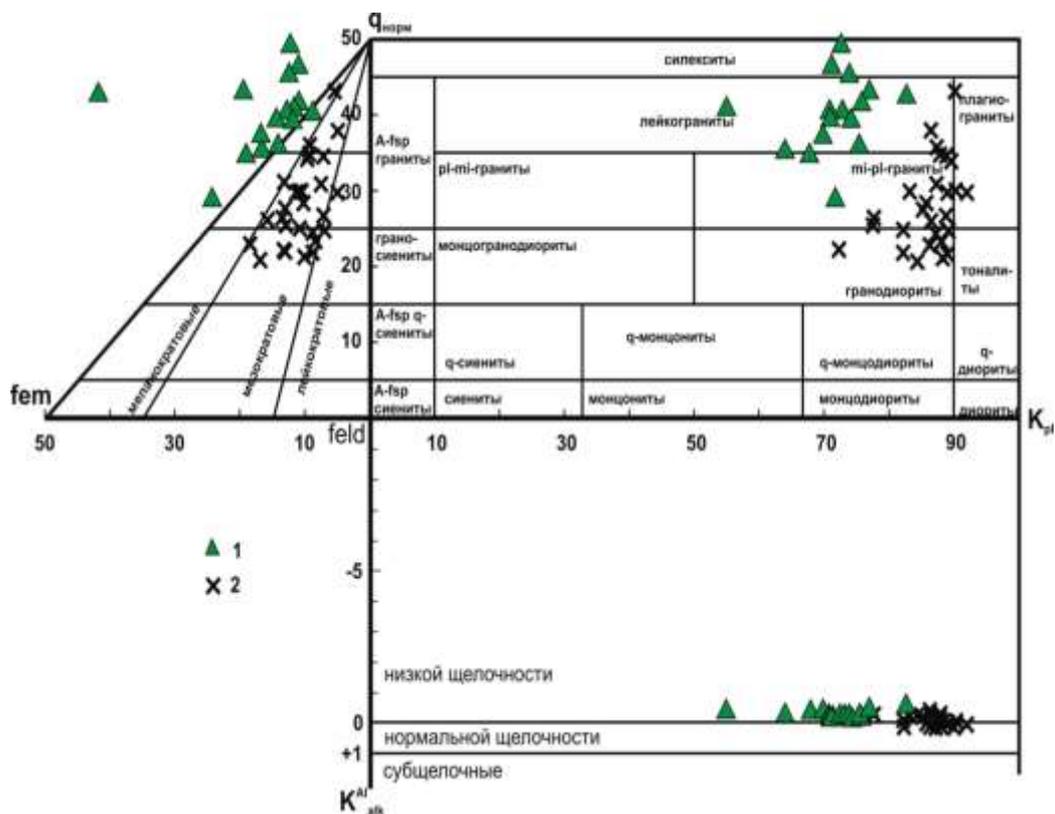


Рис. 10. Положение фигуративных точек высококальциевых гнейсов кольской серии и эндербитов на классификационной диаграмме для кварцнормативных «плутонических» пород Fe-Mg ряда [26]. Условные обозначения: 1 – высококальциевые гнейсы кольской серии центральной части ЦКБ (гора Полнек-Тундра); 2 – эндербиты. q – нормативный кварц; $K_{pl} = (Ab+An)/(Ab+An+Or) \times 100\%$ – полевошпатовое отношение; $K_{alk}^{Al} = 2Ca' - [Al - (Na+K)]/2Ca$ (в атом. кол.) – коэффициент щелочности; fem – фемичность породы (сумма фемических минералов без аксессуаров)

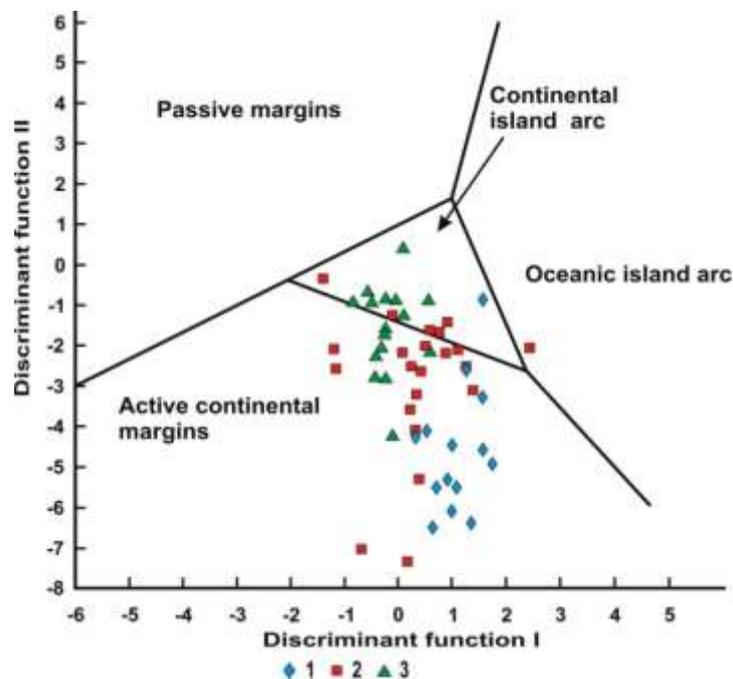


Рис. 11. Положение фигуративных точек составов гнейсов кольской серии на дискриминантной диаграмме F1 – F2 [27]. Условные обозначения: 1–2 – умереннокальциевые гнейсы кольской серии ЦКБ: 1 – северо-западной части блока (район реки Малая Титовка); 2 – центральной части блока (район озера Пулозеро); 3 – высококальциевые гнейсы кольской серии центральной части ЦКБ (гора Полнек-Тундра)

Применение петрохимических методов реконструкции первичной характеристики метаморфических пород района Пулозеро – Полнек-Тундры показало, что природу высококальциевых гнейсов кольской серии нельзя назвать однозначно осадочной или магматической.

На диаграмме MukulR. Bhatia [27] F1 – F2 (рис. 11) фигуративные точки составов высококальциевых гнейсов кольской серии ЦКБ образуют поле, которое охватывает область значений, характерных для отложений, сформированных как в обстановках океанических вулканических дуг, так и активных континентальных окраин. Точки же умереннокальциевых гнейсов кольской серии северо-западной и центральной части ЦКБ располагаются в области значений, которые характерны для отложений, сформированных в обстановках активных континентальных окраин.

Анализ диаграмм La/Sc – Th/Co [28] и Co/Hf – Ce/Cr [29] указывает, что существенную роль в качестве источника сноса играли магматические породы кислого состава (рис. 12), которые по своему геохимическому составу близки к среднему архейскому аргиллиту (рис.13).

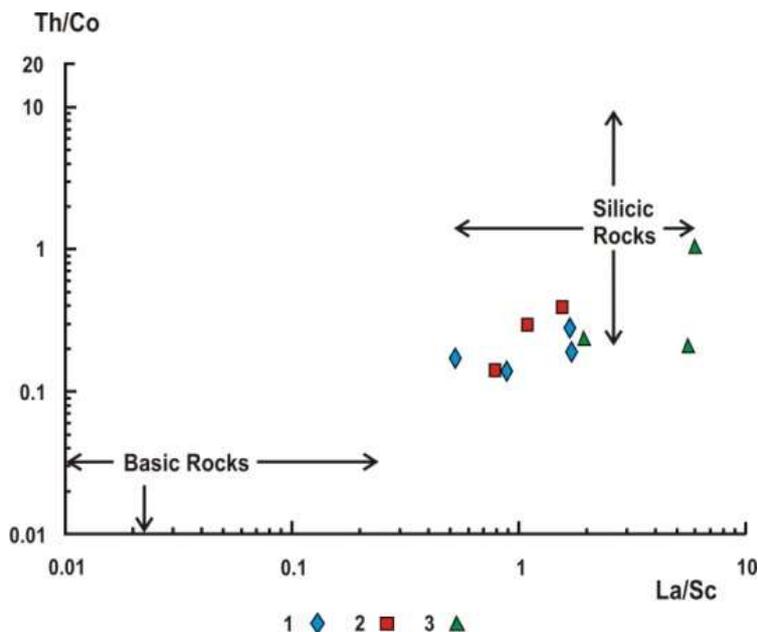


Рис. 12. Положение фигуративных точек составов гнейсов кольской серии на дискриминантной диаграмме La/Sc – Th/Co [28]. Условные обозначения см. на рис. 11

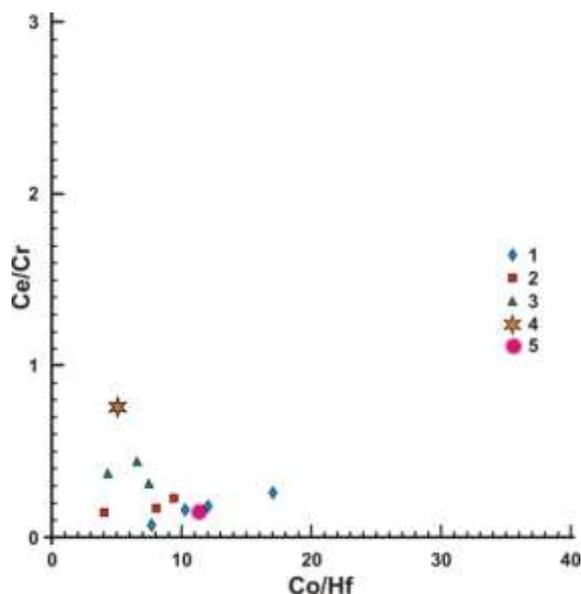


Рис. 13. Положение фигуративных точек составов гнейсов кольской серии на дискриминантной диаграмме La/Sc – Th/Co [29]. Условные обозначения: 1–3 см. на рис. 11; 4 – PAAS – постархейский глинистый сланец [30]; 5 – ARSh – средний архейский аргиллит

Таким образом, изучены специфические по составу высококальциевые гнейсы кольской серии ЦКБ, отличающиеся от умереннокальциевых гнейсов по содержанию таких элементов, как CaO, Na₂O и FeO*. В высококальциевых гнейсах содержание CaO почти в два раза выше, а Na₂O в 3–4 раза ниже, чем в умереннокальциевых гнейсах при близких содержаниях кремнезема, а также отмечается более низкое содержание таких элементов, как Cu, Ni, Cr, V, Pb, Sr, Ba, и более высокое содержание Ga и Sn относительно умереннокальциевых гнейсов.

Результаты геолого-петрографических исследований алюмосиликатных высококальциевых гнейсов кольской серии района горы Полнек-Тундра ЦКБ позволяют сделать вывод об их полиметаморфической природе. В них установлены два минеральных парагенезиса: ранний парагенезис представлен $\text{Grt}_{59-69} + \text{Bt}_{32-45}$ (коричневый) + $\text{Pl}_{69-99} \pm \text{Kfs} + \text{Qtz}$, поздний – $\text{Grt}_{74-81} + \text{Bt}_{23-38}$ (зеленый) + $\text{Pl}_{63-92} + \text{Qtz}$. Значения раннего кульминационного метаморфизма гранулитовой фации оцениваются в $T = 765-830^\circ\text{C}$ и $P = 8.5-11.3$ кбар, а позднего – $T = 600-675^\circ\text{C}$ и $P = 5.0-7.7$ кбарсоответственно.

U-Pb возраст цирконов ранней минеральной ассоциации определен в 2733 ± 5.1 млн лет [18] и интерпретируется как время проявления метаморфизма гранулитовой фации в высококальциевых гнейсах кольской серии, что близко к гранулитовому метаморфизму в умереннокальциевых гнейсах кольской серии (2724 ± 49 млн лет) [1]. Полученный U-Pb возраст цирконов поздней генерации 2551.4 ± 8.9 млн лет [18] интерпретируется как время проявления наложенного метаморфизма амфиболитовой фации в высококальциевых гранат-биотитовых гнейсах кольской серии, это близко к наложенному метаморфизму в умереннокальциевых гнейсах кольской серии (2568 ± 10 млн лет) [1].

Применение петрохимических методов реконструкции первичной природы высококальциевых и умереннокальциевых гнейсов ЦКБ показало, что их протолиты нельзя назвать однозначно осадочными или магматическими. Особенности их химического состава можно объяснить смешанным осадочным и осадочно-вулканогенным генезисом исходных пород, а также влиянием процессов метаморфизма. С учетом анализа данных по редкоземельным элементам из глиноземистых гнейсов Центрально-Кольского блока [6] и модели, предложенной С.М. Мак-Леннаном, С.Р. Тейлором [30, 31], можно предположить, что гнейсы кольской серии Центрально-Кольского блока есть также высокометаморфизованные и мигматизированные продукты эрозии и смешения выветривавшихся пород бимодальных вулканоплутонических комплексов.

В заключение следует отметить, что проблема природы специфических высококальциевых гнейсов кольской серии ЦКБ пока до конца не решена. Возможно, это специфические образования неорархей, дальнейшее изучение которых позволит более подробно реконструировать геологическую историю высокометаморфизованных гранулитогнейсовых областей ЦКБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Этапы и условия формирования архейского эндрбит-гранулитового комплекса района Пулозеро – Полнек-Тундра Центрально-Кольского блока (Кольский п-ов) / Л.С. Петровская [и др.] // ДАН. 2007. Т. 416, №3. С. 370–373.
2. Бондаренко Л.П. Стратиграфия кольской серии архея в зоне Центрально-Кольского антиклинория / Л.П. Бондаренко, В.Б. Дагелайский // Стратиграфия и изотопная геохронология докембрия восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1971. С. 15–20.
3. Бондаренко Л.П. Геология и метаморфизм пород архея центральной части Кольского п-ова / Л.П. Бондаренко, В.Б. Дагелайский // Л.: Наука, 1986. 168 с.
4. Добрыжинецкая Л.Ф. Структурно-метаморфическая эволюция кольской серии // М.: Наука, 1978. 148 с.
5. Горяинов П.М. Кольско-Норвежский мегаблок – древнейший кратон в докембрии Кольского п-ова // Региональная геотектоника раннего докембрия СССР. Л.: Наука, 1980. С. 88–103.
6. Авакян К.Х. Геология и петрология Центрально-Кольской гранулитогнейсовой области архея / М.: Наука, 1992. 168 с.
7. Неорархейский эндрбит-гранулитовый комплекс района Пулозеро – Полнек-Тундра Центрально-Кольского блока: этапы и термодинамические режимы развития (Кольский п-ов) / Л.С. Петровская [и др.] // Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. 78 с.
8. Радченко А.Т. Объяснительная записка к геологической карте северо-восточной части Балтийского щита масштаба 1:500000 / А.Т. Радченко, В.В. Балаганский, А.А. Басалаев // Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 96 с.
9. Петровская Л.С. Метаморфизм гнейсов кольской серии района Полнек-Тундры (Центрально-Кольский блок) / Л.С. Петровская, М.Н. Петровский, А.В. Базай // Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита. Международное (X Всероссийское) петрографическое совещание: Петрография XXI век. Т. 3. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005 а. С. 223–225.
10. Петровская Л.С. Термодинамические условия образования гранатов из высококальциевых гнейсов кольской серии района Полнек-Тундры (Центрально-Кольский блок) / Л.С. Петровская, М.Н. Петровский, А.В. Базай // XV Российское совещание по экспериментальной минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2005 б. С. 292–294.
11. Петровская Л.С. Петрогеохимическая реконструкция первичной природы позднеархейских гнейсов кольской серии района Пулозеро – Полнек-Тундры (Кольский п-ов) / Петрология магматических и метаморфических комплексов. / Л.С. Петровская, М.Н. Петровский // Материалы Всероссийской петрографической конференции. Вып. 5, т. 2. Томск, 2005. С. 385–391.
12. Другова Г.М.

Некоторые закономерности изменения состава граната, биотита, роговой обманки при региональном метаморфизме / Г.М. Другова, В.А. Глебовицкий // Региональный метаморфизм докембрийских формаций СССР. Л.: Наука, 1965. С. 33–45. **13.** Перчук Л.Л. Биотит-гранат-кордиеритовые равновесия и эволюция метаморфизма / Л.Л. Перчук, И.В. Лаврентьева, Л.Я. Аранович. М.: Наука, 1983. 197 с. **14.** Hoisch T.D. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz+muscovite+biotite+plagioclase+garnet // Contrib. Mineral. and Petrol. 1990. Vol. 104. P. 225–234. **15.** Hoisch T.D. Equilibria within the mineral assemblage quartz+muscovite+biotite+plagioclase, and implication for the mixing properties of octahedrally-coordinated cations in muscovite and biotite // Contrib. Mineral. and Petrol. 1991. Vol. 108. P. 43–54. **16.** Герасимов В.Ю. Температурная эволюция метаморфизма и обратимость минеральных равновесий. М.: Наука, 1992. 129 с. **17.** Глебовицкий В.А. Минеральные фации как критерии оценки Р-Т параметров метаморфизма // Термо- и барометрия метаморфических пород. Л.: Наука, 1977. С. 5–39. **18.** Petrovskaya L.S. The Neoarchean enderbite-granulite complex of the Central Kola block: Stages of evolution (Kola Peninsula) / L.S. Petrovskaya, T.B. Bayanova, V.P. Petrov // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15. № 2. С. 395–402. **19.** La Roche H. (de), Roubault M. Comportement géochimique différentiel de Na et Al dans les formations volcaniques et sédimentaires: un guide pour l'étude des formations métamorphiques et plutoniques // Comptes Rendus. Acad. Sci. Paris. 1968. V. 267. P. 39–42. **20.** Преодовский А.А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия / Л.: Наука, 1980. 152 с. **21.** Дубровский М.И. Геология, вещественный состав и генезис «гиперстенных диоритов» восточного предгорья Главного хребта / М.И. Дубровский, А.Н. Микляев // Основные и ультраосновные породы Кольского пояса и их металлогения. Апатиты: Изд. Кольский филиал АН СССР, 1975. С. 91–108. **22.** Неелов А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных и вулканических пород // Л.: Наука, 1980. 100 с. **23.** Петров В.П. Метаморфизм супракrustальных комплексов раннего докембрия: (северо-восточная часть Балтийского щита) / В.П. Петров, О.А. Беляев, З.М. Волошина. Л.: Наука, 1986. 272 с. **24.** Петровская Л.С. К вопросу о первичной природе и возрасте высококальциевых гнейсов кольской серии, Центрально-Кольский блок / Л.С. Петровская [и др.] // Минералогия, петрология и полезные ископаемые Кольского региона. Труды VIII Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 135-летию со дня рождения академика Д.С. Белянкина (18–19 апреля 2011 г.). Апатиты: Изд-во K&M, 2011. С. 196–202. **25.** Werner C.D. Saxonian granulites – a contribution to the geochemical diagnosis of original rocks in high metamorphic complexes // Gerlands Beitr. Geophys. 1987. Vol. 96, № 3–4. P. 271–290. **26.** Дубровский М.И. Парагенетический анализ минеральных ассоциаций гранитоидов // Л.: Наука, 1987. 256 с. **27.** Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geology. 1983. Vol. 91, № 6. P. 611–627. **28.** Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. 2002. Vol. 191. P. 305–327. **29.** Gu X.X. Geochemical characteristics of the Triassic turbidities in the northwestern Sichuan, China, implications for provenance and interpretation of the tectonic setting // Geochim. et cosmochim. acta. 1994. Vol. 58. P. 4615–4631. **30.** Тейлор С.Р. Континентальная кора её состав и эволюция. Рассмотрение геохимической летописи, запечатленной в осадочных породах / С.Р. Тейлор, С.М. Мак-Леннан. М.: Мир, 1988. 384 с. **31.** Мак-Леннан С.М. Архейские осадочные породы и их соотношения с составом архейской континентальной коры / С.М. Мак-Леннан, С.Р. Тейлор // Геохимия архея. М.: Мир, 1987. С. 68–97.

Сведения об авторах

Петров Валентин Петрович – д.г.-м.н., профессор, зам. председателя КНЦ РАН;

e-mail: petrov@admksk.apatity.ru

Петровская Лариса Сергеевна – к.г.-м.н., научный сотрудник;

e-mail: petrovskaya@geoksc.apatity.ru

Петровский Михаил Николаевич – к.г.-м.н., научный сотрудник;

e-mail: petrovskiy@geoksc.apatity.ru

Тимофеева Марина Геннадьевна – к.б.н., научный сотрудник; e-mail: marhim@mail.ru

ТРЕХМЕРНОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ КОВДОРСКОГО КОМПЛЕКСНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАГНЕТИТА, АПАТИТА И БАДДЕЛЕИТА

Г.Ю. Иванюк^{1,2}, А.О. Калашников¹, В.А. Сохарев³, Я.А. Пахомовский^{1,2}, А.В. Базай^{1,2}, Ю.А. Михайлова^{1,2}, Н.Г. Коноплева², В.Н. Яковенчук^{1,2}, П.М. Горяинов¹
¹ГИ КНЦ РАН; ²ЦНМ КНЦ РАН, ³ОАО «Ковдорский ГОК»

Аннотация

Представлена трехмерная минералогическая модель Ковдорского комплексного месторождения магнетита, апатита и бадделеита, являющего собой концентрически-зональную фоскорит-карбонатитовую трубку, приуроченную к восточному контакту щелочных и ультраосновных пород Ковдорского массива. Показано, что петрографическая зональность фоскорит-карбонатитовой трубки отражена в составе и свойствах всех добываемых минералов. Выявлена вертикальная зональность рудного тела, которая должна учитываться при долгосрочном планировании его разработки, а также при оптимизации процессов добычи и обогащения комплексных руд.

Ключевые слова:

Ковдорский массив, фоскорит-карбонатитовый комплекс, Комплексное месторождение, магнетит, апатит, бадделеит, трехмерная модель.

Введение

Промышленное освоение Ковдорского месторождения магнетита, апатита и бадделеита – один из самых удачных в мировой практике примеров комплексного использования многокомпонентной руды. Изучению геологии, петрографии и минералогии Ковдорского фоскорит-карбонатитового комплекса посвящено большое число работ, основными из которых являются монографии А.А. Кухаренко и др. «Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского п-ова и Северной Карелии» [1], О.М. Римской-Корсаковой и Н.И. Красновой «Геология месторождений Ковдорского массива» [2], а также два производственных отчета: Б.И. Сулимов и др. «Отчет о геологоразведочных работах, выполненных на Ковдорском месторождении железных руд в 1963–1971 гг., с подсчетом запасов по состоянию на 1 февраля 1971 г.» [3]; Е.М. Эпштейн и др. «Закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и оценка железо-фосфоро-редкометаллических руд Ковдорского месторождения» [4]. Однако приведенные в них данные в значительной степени устарели, прежде всего, ввиду появления локальных методов изучения вещества, без которых немислима ни современная петрология, ни минералогия.

Вызовы современной экономики требуют радикального усовершенствования технологии извлечения минералов и обеспечения постоянного состава товарных концентратов. Без знания тонких свойств рудообразующих минералов, без понимания особенностей их взаимного комбинирования и положения в объеме рудного тела добиться решения этих задач невозможно. В качестве материала для исследования послужили 550 образцов керна, отобранных погоризонтно (-80, -110, -140, -170, -230, -290, -410, -530 и -650 м) из скважин, пробуренных ОАО «Мурманская ГРЭ» в рамках проекта по доразведке Ковдорского комплексного месторождения магнетита, апатита и бадделеита (рис. 1).

Изготовленные из этих образцов комбинированные шлифы были изучены при помощи электронного микроскопа LEO-1450 с энергодисперсионным микроанализатором Röntek и волнодисперсионного микроанализатора MS-46 «Cameca» в ГИ КНЦ РАН. Результаты изучения химического состава минералов и их гранулометрии анализировались при помощи стандартных (гео)статистических программ. Построение блоковой модели минерально-химической зональности рудного тела произведено при помощи программы «Геомикс» с параметрами интерполяции, определенными для каждой переменной по соответствующим всенаправленным вариограммам [5].

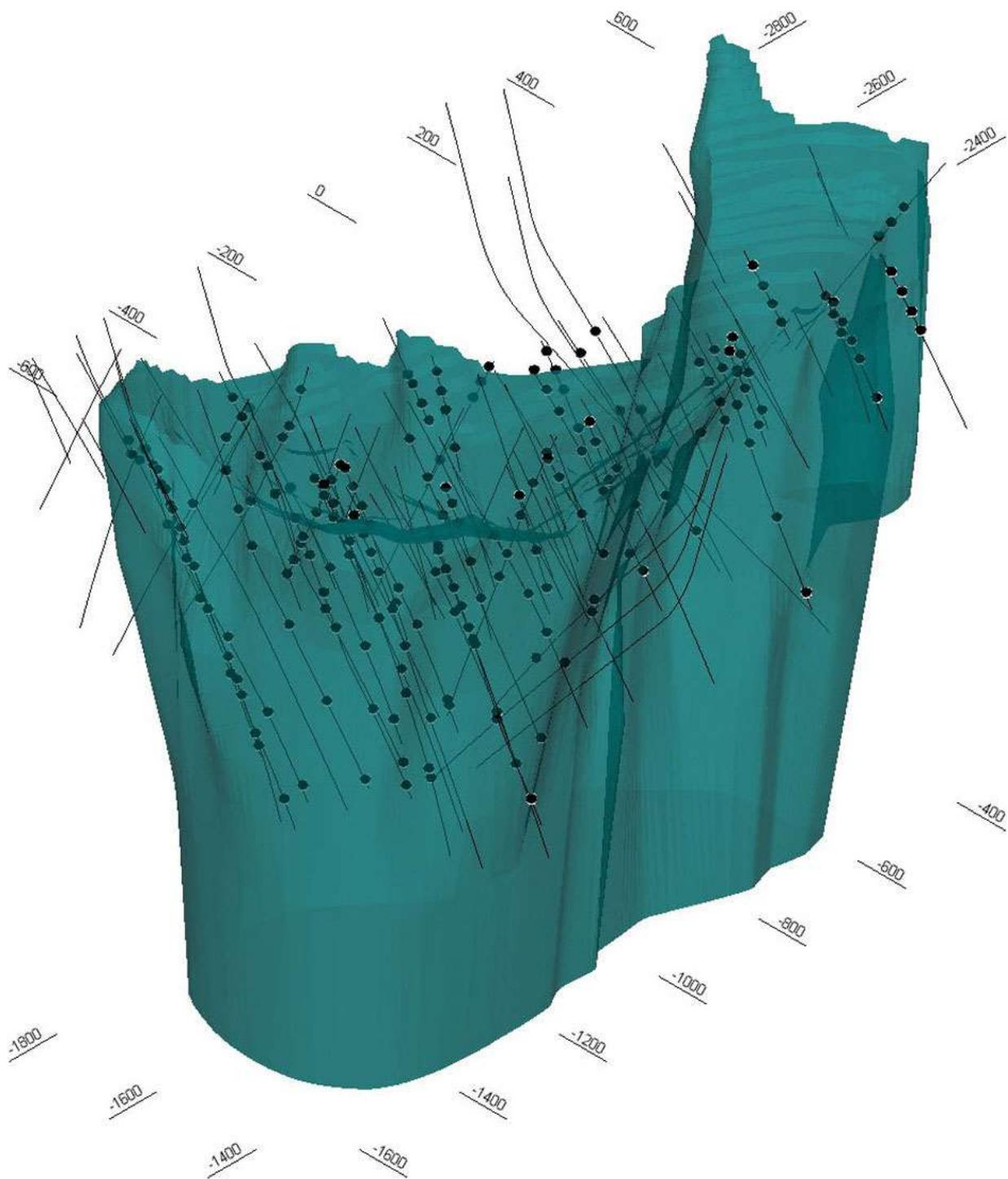


Рис. 1. Схема опробования фоскорит-карбонатитовой трубки

Петрография фоскорит-карбонатитового комплекса

Трехмерная петрографическая модель фоскорит-карбонатитового комплекса, построенная по данным инструментального минералогического изучения комбинированных шлифов, выявляет его концентрическую зональность, особенно ярко проявленную на верхних горизонтах (рис. 2).

Осевая зона фоскорит-карбонатитовой трубки находится в ее крайней южной части и прослеживается на всю доступную изучению глубину (по крайней мере, до -800 м). Она сложена наиболее молодыми карбонатсодержащими разновидностями фоскоритов и рудных карбонатитов (при содержании карбонатов более 50 об. %), связанных друг с другом непрерывными переходами, – а также более поздними жильными кальцитовыми карбонатитами. В северной части рудного тела

находится еще одно воронковидное тело кальцит-апатит-магнетитовых пород, сопоставимое по диаметру с южным, но полностью выклинивающееся уже к глубине -320 м. Практически весь остальной объем рудного тела представлен апатит-форстерит-магнетитовыми породами – наиболее распространенной разновидностью ковдорских фоскоритов, – а апатит-магнетитовые породы играют второстепенную роль.

На контакте фоскорит-карбонатной трубки с вмещающими фойдолитами и диопсидитами локализованы наиболее ранние разновидности фоскоритов: апатит-форстеритовые и форстеритовые. Восточнее рудного тела на границе диопсидитов и оливинитов расположено тело магнетит-доломит-серпентиновых пород, и сюда же протягивается из центральной части рудного тела зона развития доломитовых карбонатитов.

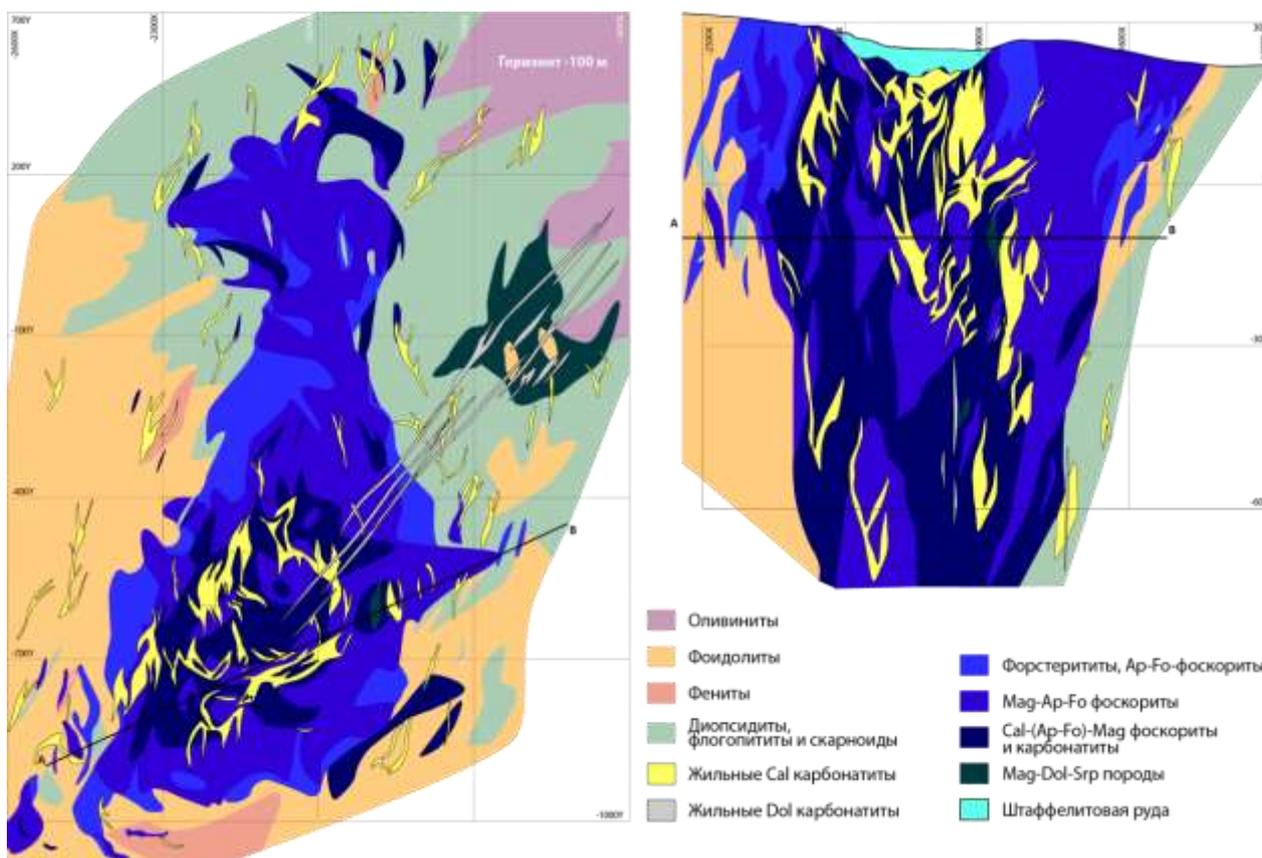


Рис. 2. Горизонтальное и вертикальное сечения Ковдорской фоскорит-карбонатной трубки по данным 3D-картирования

Смена минеральных парагенезисов при формировании фоскорит-карбонатного комплекса может быть наглядно представлена в виде простой схемы (рис. 3), определяющей следующую последовательность пород: форстерититы – апатит-форстеритовые фоскориты – магнетит-(апатит-форстеритовые) фоскориты – кальцит-(магнетит-апатит)-магнетитовые фоскориты – кальцит-(магнетит-апатит)-форстеритовые фоскориты – кальцит-(форстерит)-магнетитовые породы – рудные карбонатиты (содержание карбонатов более 50 об. %) – жильные кальцитовые карбонатиты, доломитовые карбонатиты и магнетит-доломит-флогопит-серпентиновые породы. Ею мы и будем руководствоваться при характеристике минералов.

Магнетит

Магнетит – аксессуарный минерал фойдолитов, диопсидитов, флогопититов и доломитовых карбонатитов; аксессуарный или второстепенный порообразующий минерал форстерититов, апатит-форстеритовых пород и кальцитовых карбонатитов; главный порообразующий минерал всех прочих разновидностей фоскоритов. Морфология, анатомия, размер и состав зерен магнетита, состав

продуктов распада его твердых растворов со шпинелью и ульвошпинелью, в целом, подчиняются концентрической зональности карбонатит-фоскоритовой трубки.

Во всех типах фоскоритов магнетит присутствует в виде зерен неправильной формы и метакристаллов с многочисленными пойкилитовыми включениями окружающих минералов, – прежде всего апатита, форстерита и бадделеита. Включения могут занимать до 60% объема зерна магнетита и располагаться либо по периферии, что особенно характерно для включений бадделеита, либо равномерно во всем объеме метакристалла. Часто в крупных выделениях магнетита присутствуют небольшие участки окружающей породы, захваченные в процессе роста метакристалла. Кроме того, выделения магнетита содержат множество трещин – открытых либо залеченных более поздними минералами, такими как кальцит, доломит и флогопит. Правильно образованные кристаллы для магнетита не характерны, хотя у некоторых зерен на контакте с кальцитом или доломитом может наблюдаться 1–4 грани с неровной, извилистой, ступенчатой поверхностью.

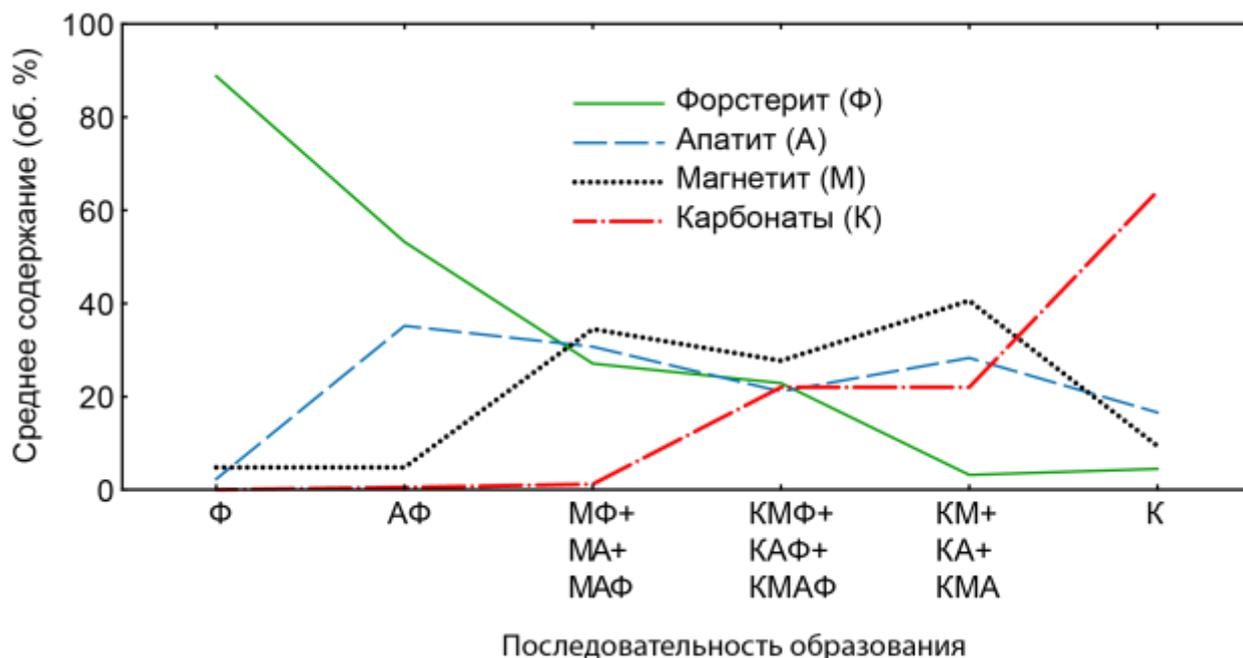


Рис. 3. Средний модальный состав фоскоритов и рудных карбонатитов в естественной последовательности их образования

Метакристаллы магнетита практически всегда содержат мельчайшие включения ильменита–гейкилита и шпинели, сформировавшиеся при высокотемпературном – порядка 600 °С экссолюционном распаде магнетита с высоким содержанием Ti и Al соответственно. Ильменит и гейкилит формируют решетчатые структуры распада, состоящие из тонких пластинок, ориентированных параллельно (111) магнетита. При распаде высокоглиноземистого магнетита по схеме $4(\text{Fe}^{2+}_{0.75}\text{Mg}_{0.25})(\text{Fe}^{3+}_{1.50}\text{Al}_{0.50})\text{O}_4 \rightarrow 3\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4 + \text{MgAl}_2\text{O}_4$ образуются округлые зерна, октаэдрические кристаллы, а также иглообразные и веретенообразные выделения шпинели, ориентированные параллельно октаэдрическим граням магнетита. Характерным спутником экссолюционной шпинели является бадделеит, также образующийся при распаде высокотемпературного магнетита вследствие его самоочистения от Zr. На заключительных этапах распада магнетита в карбонатсодержащих фоскоритах место экссолюционной шпинели занимает квинтинит, формирующийся по аналогичной со шпинелью схеме при температурах порядка 300–200 °С: $8(\text{Mg}_{0.5}\text{Fe}^{2+}_{0.5})(\text{Fe}^{3+}_{1.75}\text{Al}_{0.25})\text{O}_4 + \text{H}_2\text{CO}_3 + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$, – либо замещающий зерна ранее сформировавшейся шпинели: $4\text{MgAl}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{CO}_3 + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{12} + 3\text{Al}_2\text{O}_3$.

Наряду с вышеописанными метакристаллами магнетита, в фоскоритах присутствуют его мелкие однородные зерна, которые чаще всего окружают метакристаллы или располагаются рядом с ними. Форма мелких зерен обычно неправильная или округлая, хотя встречаются и

хорошо образованные кристаллы октаэдрического габитуса. Широко распространен вторичный дисперсный магнетит, образующийся при серпентинизации форстерита по схеме: $MgFeSiO_4 + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + Fe_3O_4 + SiO_2$. С учетом того, что во вмещающих фойдолитах, диопсидитах и флогопититах, равно как в более поздних карбонатитах магнетит содержит преимущественно включения ильменита–гейкилита, а не шпинели, распределение магнетита с этими видами включений в пределах рудного тела изменяется в противофазе (рис. 4 и 5).

Среднее содержание $FeO_{общ}$ в магнетите из различных пород Ковдорского комплексного месторождения варьирует в сравнительно узких пределах: от 87 до 91 мас. % при теоретическом содержании 93.09 мас. %. Разница компенсируется примесями Mg, Ti, Mn, Al, Ca, V, Cr, Si, Zn, Ni и Sc, замещающими Fe по различным схемам изо- и гетеровалентного изоморфизма.

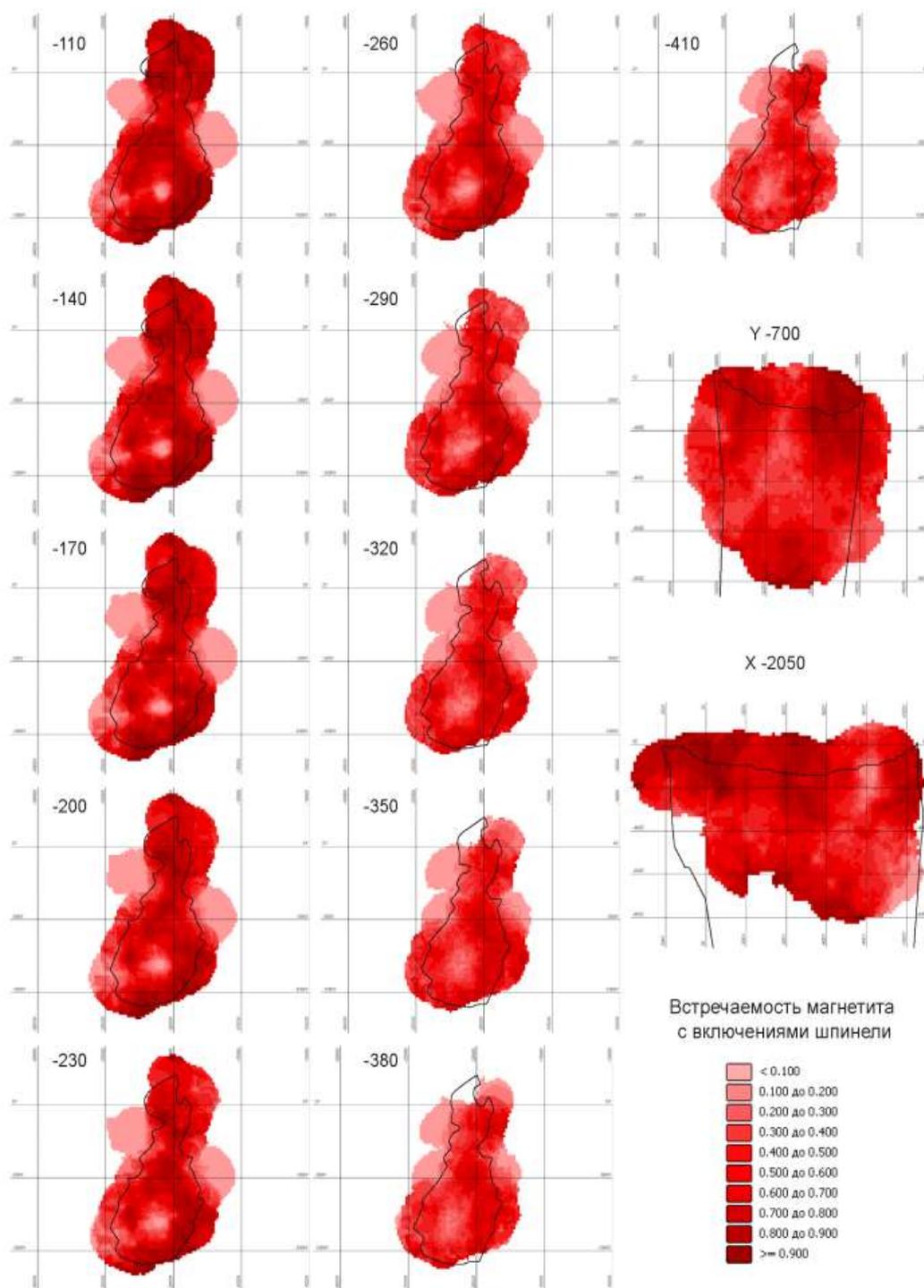


Рис. 4. Встречаемость магнетита с экссолюционными включениями шпинели

Наиболее магниальный магнетит (до 9 мас. % MgO при среднем 4 ± 2 мас. %) характерен для форстеритсодержащих пород, наименее – для фойдолитов, диопсидитов и флогопититов. Микропримеси TiO_2 (в среднем 1.3 ± 0.2 мас. %) и MnO (в среднем 0.5 ± 0.3 мас. %) обычны для акцессорного магнетита из диопсидитов и форстерититов, где их суммарное содержание достигает 3–4 мас. %. Для породообразующего магнетита из рудных фоскоритов типична микропримесь Al_2O_3 , достигающая 4 мас. % при среднем 0.5 ± 0.5 мас. %.

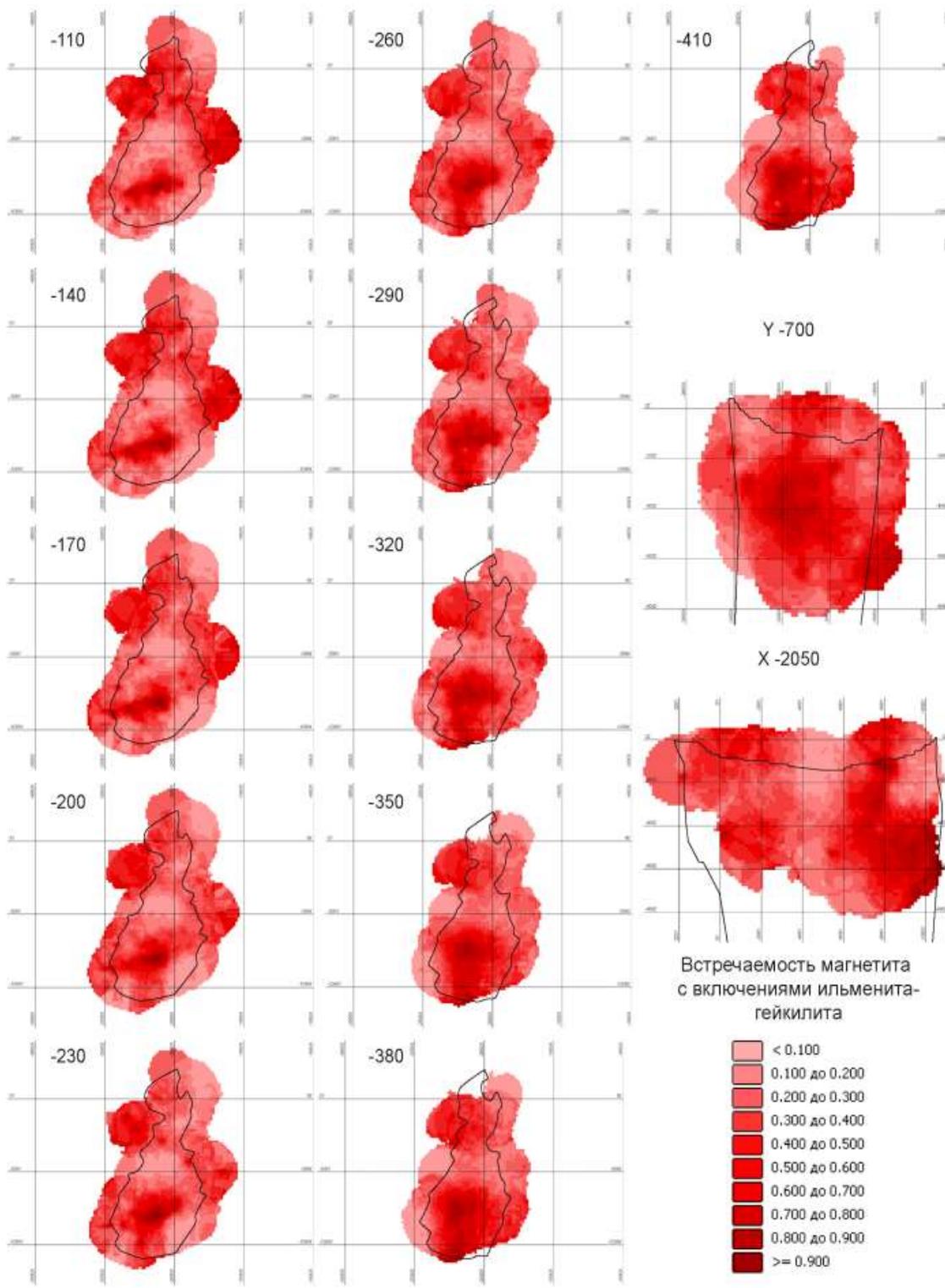


Рис. 5. Встречаемость магнетита с экслюзионными включениями ильменита-гейкилита

В естественной последовательности формирования пород от вмещающих фойдолитов и диопсидитов через разнообразные фоскориты к доломитсодержащим рудам и карбонатитам магнетит последовательно обогащается Ca, Mg и V за счет Ti, Mn и Si. На этом фоне имеется локальный максимум содержания Al и Mg в магнетите, связанный с фоскоритами. Указанная последовательность полностью совпадает с зональностью в распределении магнетита разного состава в пределах фоскорит-карбонатитовой трубки (рис. 6–8): при сравнительно постоянном содержании $FeO_{общ}$ в составе минерала, Mg-Al магнетит получил распространение в карбонатсодержащих фоскоритах, марганцовисто-титанистый – в диопсидитах и форстерититах, титанистый – в карбонатитах.

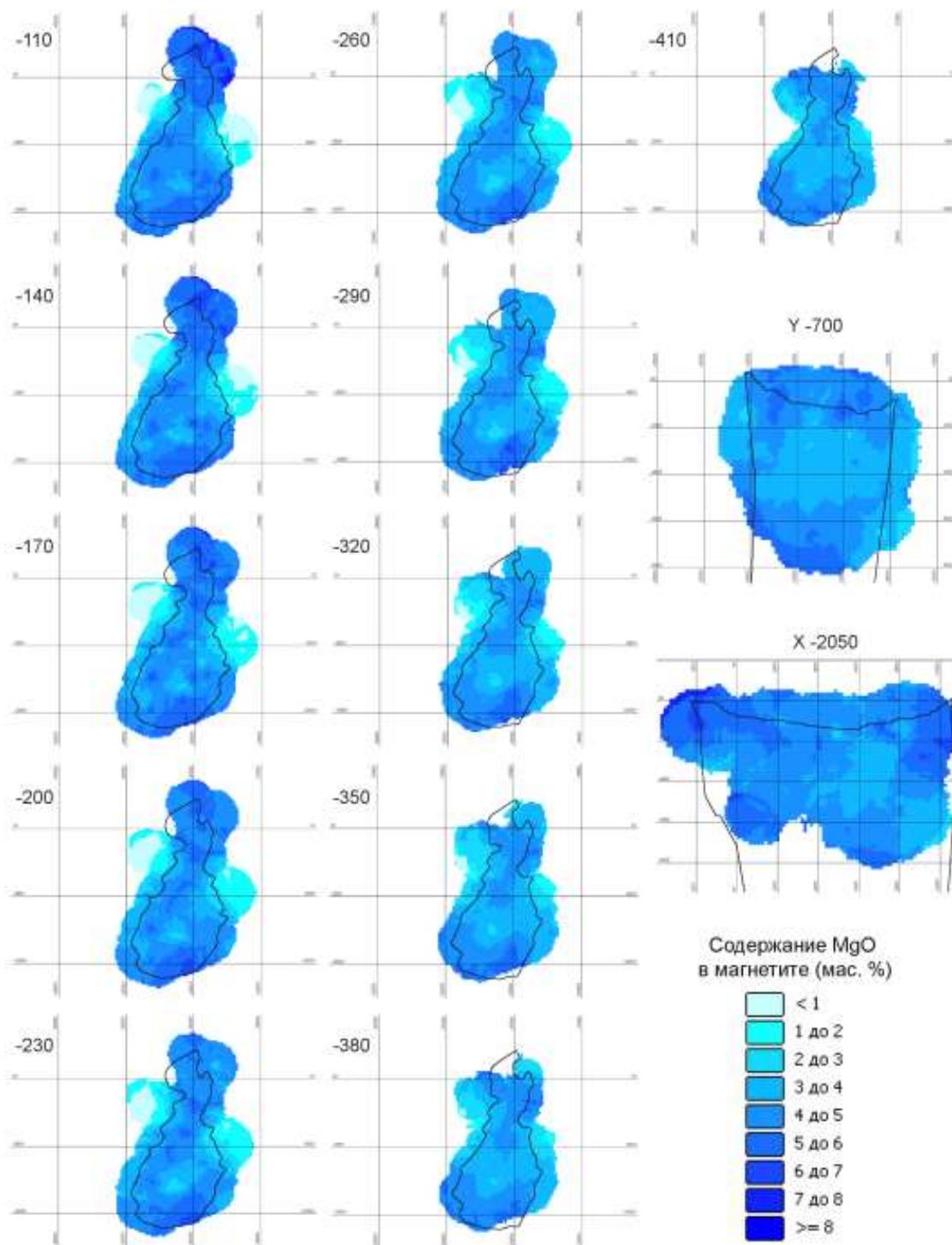


Рис. 6. Изменение содержания MgO в магнетите

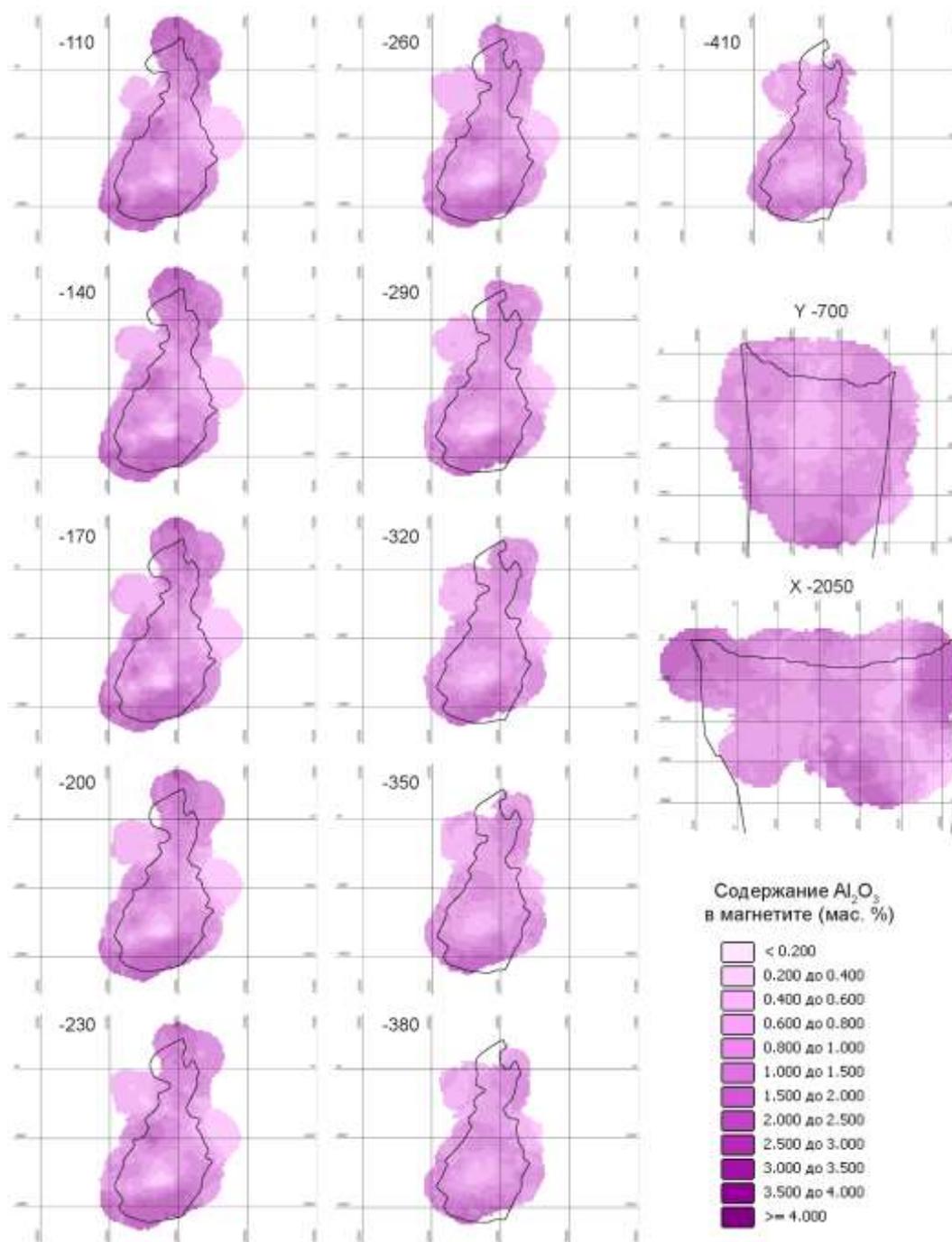


Рис. 7. Изменение содержания Al_2O_3 в магнетите

Апатит

Гидроксилапатит – главный породообразующий минерал большинства фоскоритов, второстепенный породообразующий или акцессорный минерал фоидолитов, пироксенитов, флогопитовых слюдитов, форстерититов, карбонатитов и магнетит-доломит-флогопит-серпентиновых пород. Он всегда ксеноморфен по отношению к форстериту, в интерстициях которого образует выделения неправильной, угловатой формы. По сравнению с сосуществующими магнетитом и кальцитом апатит фоскоритов, наоборот, отличается идиоморфизмом. В породе апатит распределен неравномерно, нередко образует небольшие мономинеральные сегрегации, шлиры. Для его зерен характерны полигональная форма и приблизительно одинаковый размер 0.1–0.4 мм.

Результаты микрозондового анализа апатита показывают постоянство его состава и сравнительно низкое содержание примесных элементов. Апатит с наиболее высоким содержанием CaO и P₂O₅ характерен для апатит-форстеритовых и кальцит-апатит-форстерит-магнетитовых пород, тогда как во вмещающих фойдолитах и диопсидитах, а также в магнетит-доломит-флогопит-серпентиновых породах он незначительно обогащен Si и Ln (рис. 9), замещающих основные элементы по «бритолитовой» схеме Ca²⁺ + P⁵⁺ ↔ Ln³⁺ + Si⁴⁺.

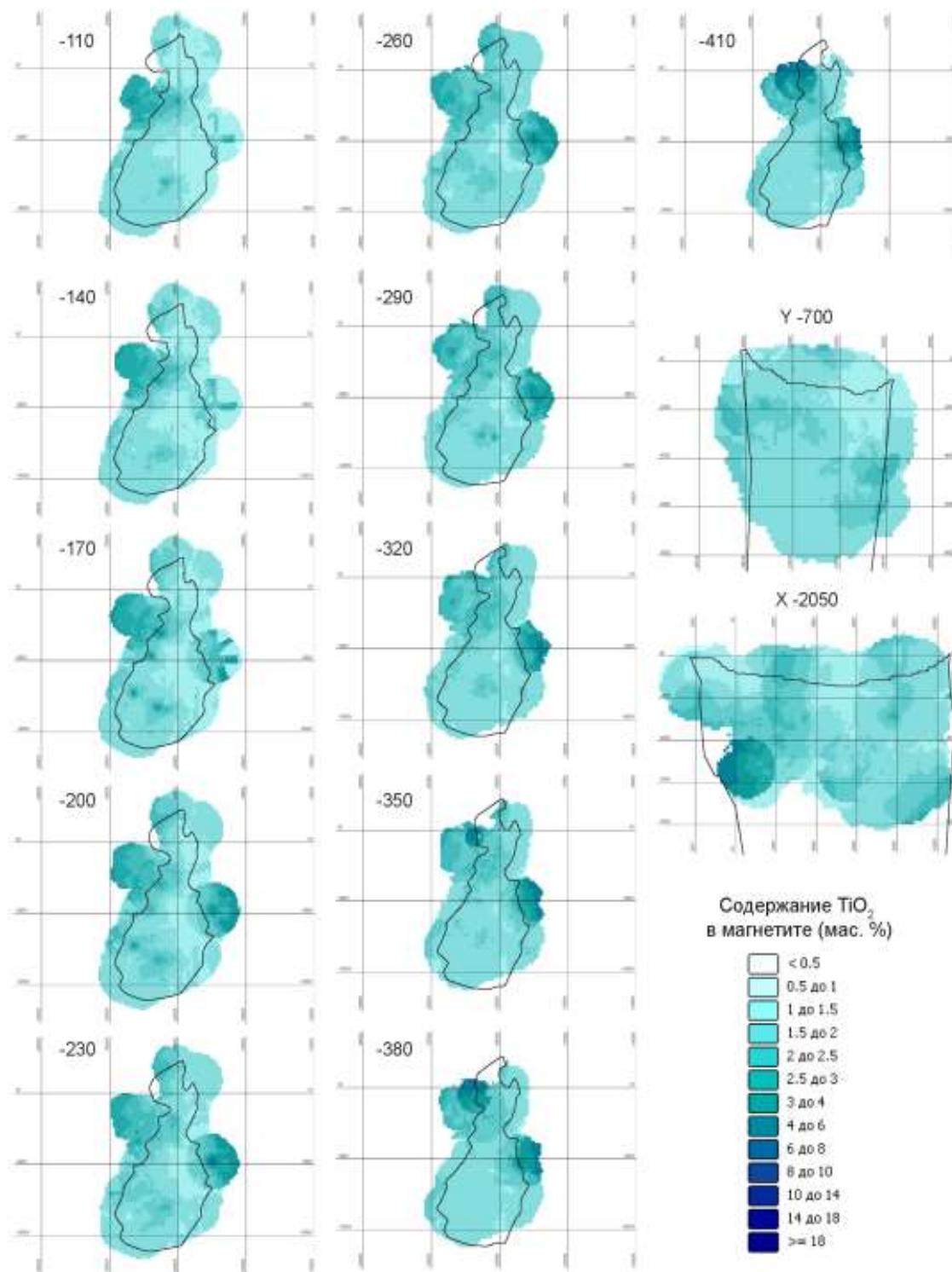


Рис. 8. Изменение содержания TiO₂ в магнетите

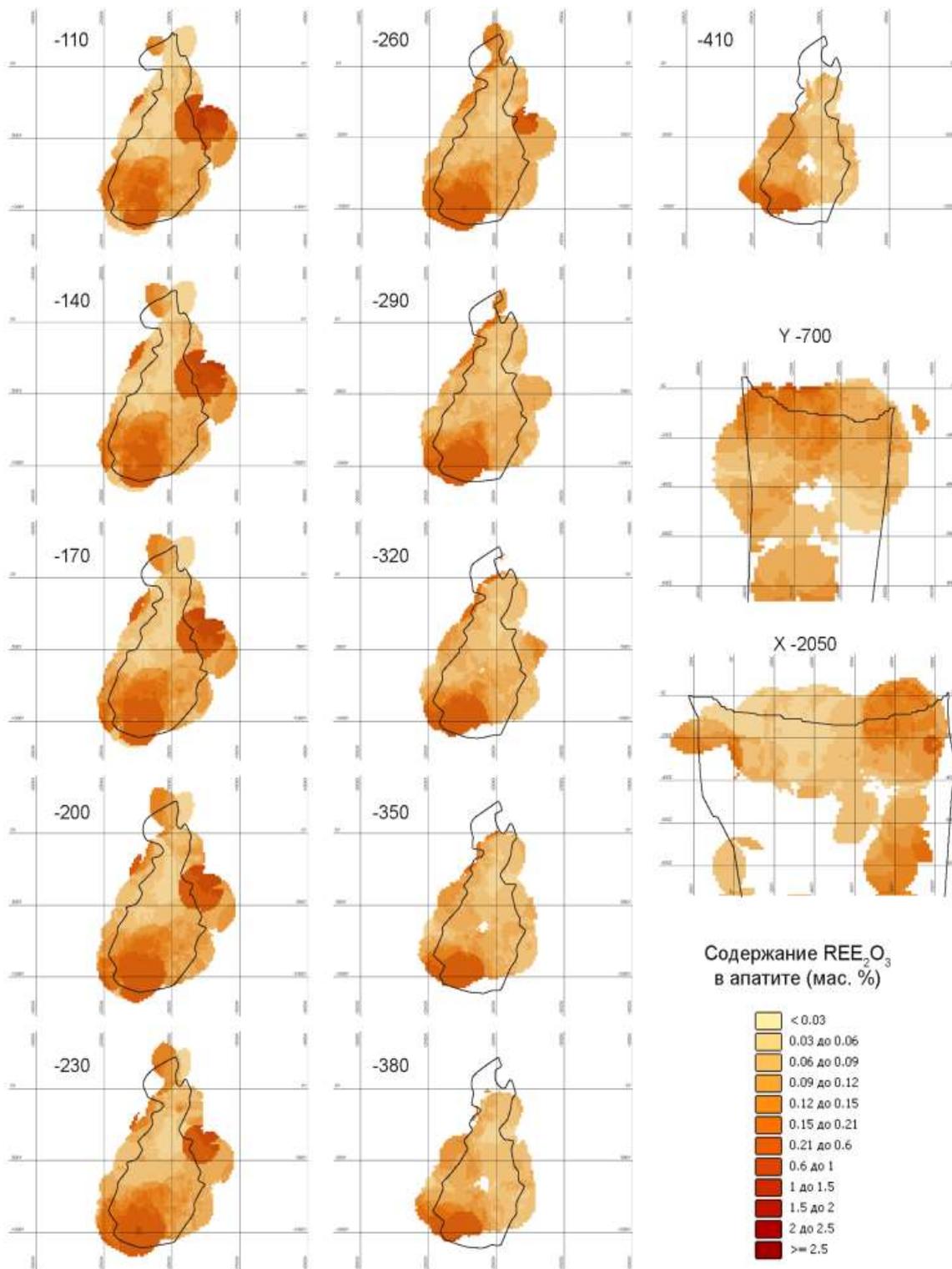


Рис. 9. Изменение содержания Ln_2O_3 в апатите

Бадделейт

Бадделейт – аксессуарный минерал большинства пород Ковдорского щелочно-ультраосновного комплекса, рудные концентрации которого связаны с фоскоритами. В форстерититах и апатито-форстеритовых породах для него наиболее характерны выделения неправильной формы, а также пластинчатые кристаллы и крестообразные двойники. Бадделейт здесь включений не содержит, а сам образует включения в форстерите и апатите. В апатит-форстерит-магнетитовых породах бадделейт представлен метакристаллами, насыщенными мелкими включениями апатита и, реже, форстерита. Для

карбонатсодержащих фоскоритов и рудных карбонатитов характерны зерна неправильной формы, уплощенно-призматические кристаллы и их крестообразные двойники, а также метакристаллы с включениями апатита, пирохлора и цирконолита. Во всех этих породах по бадделеиту интенсивно развиваются пирохлор и цирконолит, иногда полностью его замещающие, причем интенсивность этого процесса заметно увеличивается с глубиной.

Концентрическая зональность фоскорит-карбонатитового комплекса нашла свое очередное отражение в последовательном увеличении размера выделений бадделеита от вмещающих пород и бескарбонатных фоскоритов краевой зоны к карбонатсодержащим фоскоритам и рудным карбонатитам осевой части рудного тела (рис. 10).

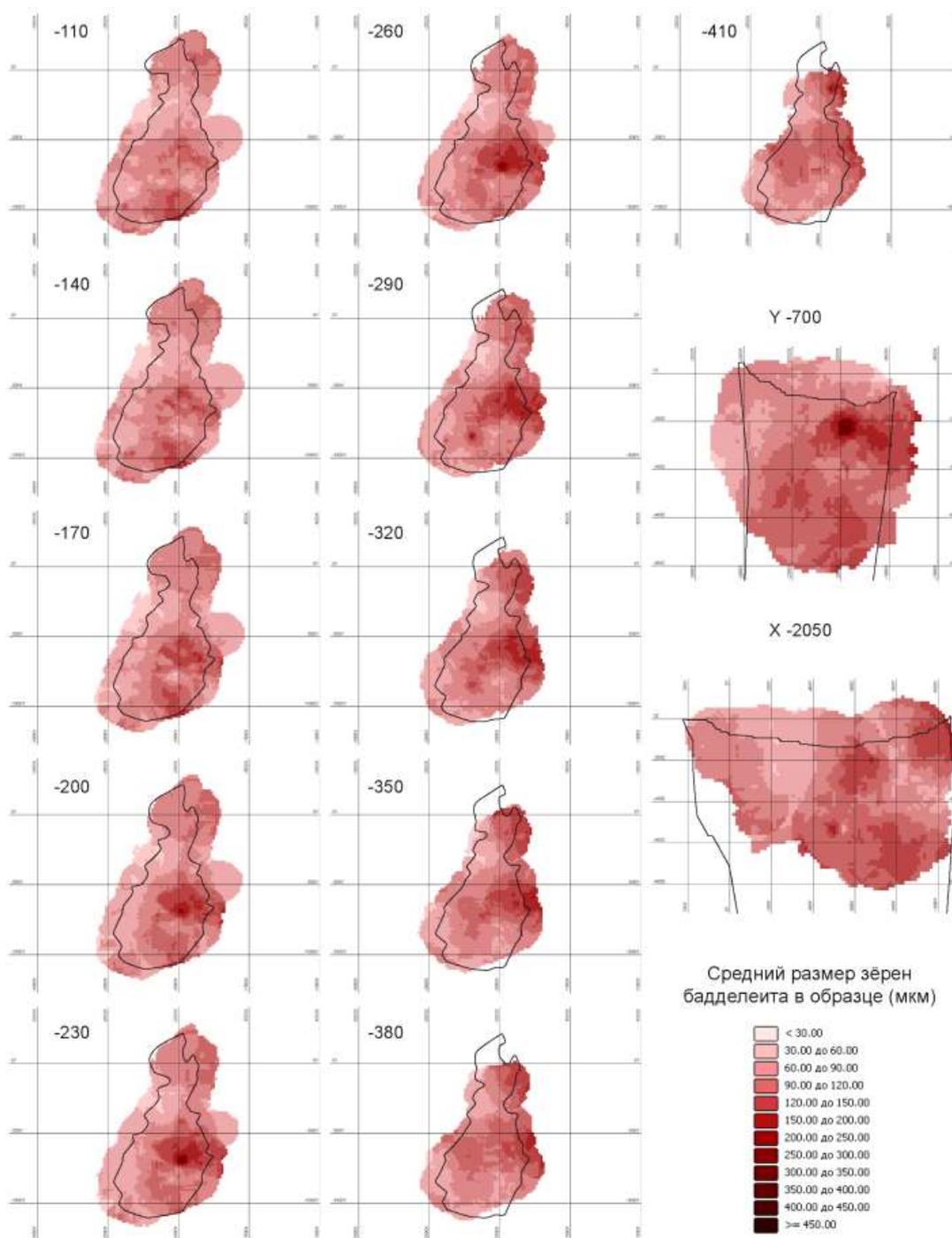


Рис. 10. Изменение среднего размера зерен бадделеита в образце

Состав бадделеита в пределах рудного тела изменяется в соответствии с общей зональностью фоскорит-карбонатитового комплекса (рис. 11). Повышенные концентрации микропримесей в бадделеите из краевой (Fe, Si, Mg) и осевой (Sc, Nb, Ta, Ti, Ca) зон карбонатит-фоскоритовой трубки обусловили соответствующую зональность по содержанию ZrO_2 в этом минерале, близкую, в частности, к распределению Mg и Al в магнетите.

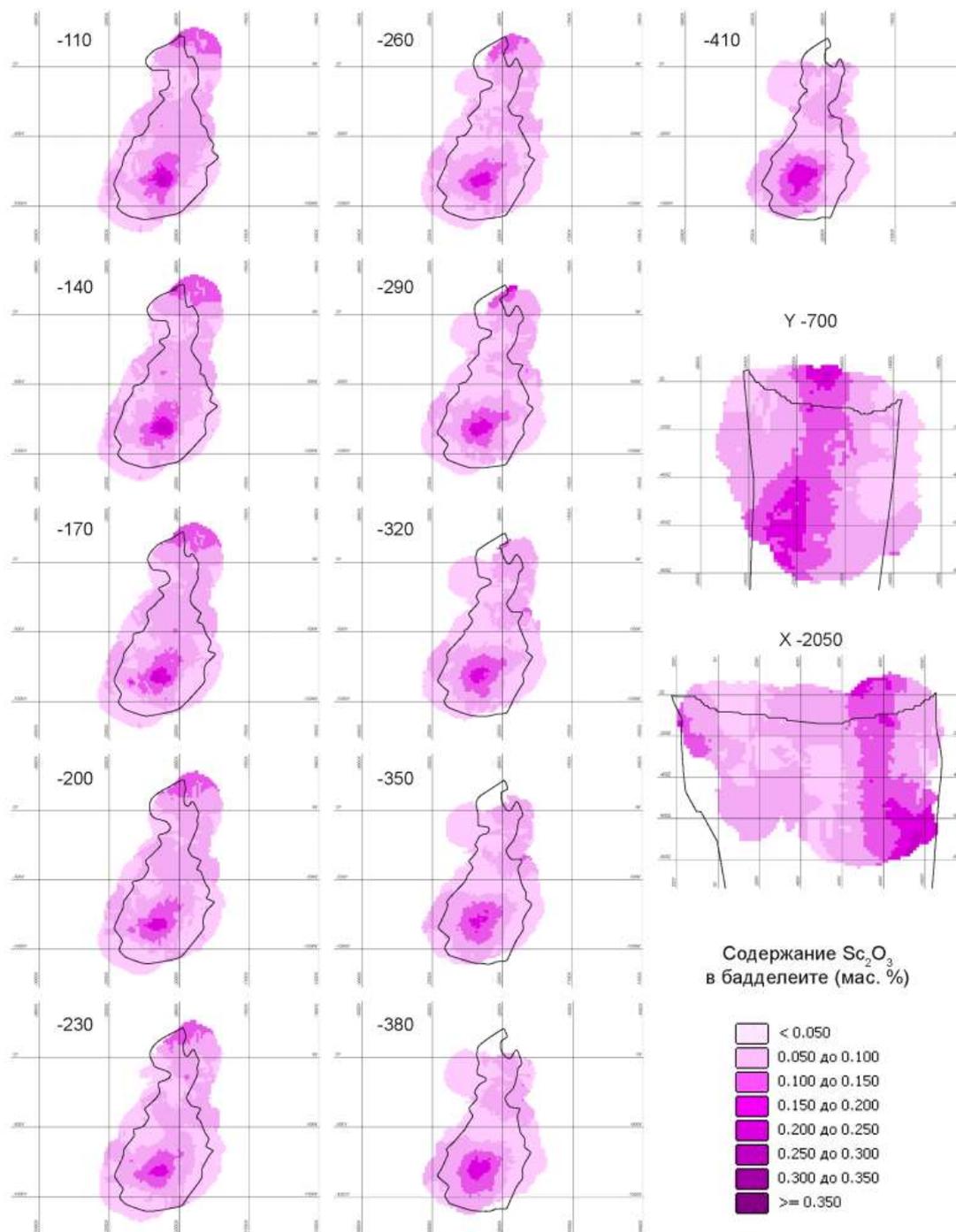


Рис. 11. Изменение содержания Sc_2O_3 в бадделеите

Полученные данные позволяют связать состав и размер зерен рассмотренных выше минералов с результатами рудничного опробования пород. Многомерный регрессионный анализ размера зерен и состава промышленно-ценных минералов, а также результатов рядового опробования руд на $Fe_{общ.}$, $Fe_{магн.}$, P_2O_5 , CO_2 , ZrO_2 и $S_{общ.}$ подтвердил возможность прогнозирования минералогических характеристик по составу пород, – но с достаточно низкой точностью (с коэффициентом корреляции

порядка 0.1–0.5). Использование для прогнозирования состава обобщенных проб (переменные рядового опробования плюс содержание TiO_2 , MgO , CaO , SiO_2 , K_2O , Na_2O , Al_2O_3 в породе и $Fe_{общ.}$, TiO_2 , MgO , ZnO , $S_{общ}$ и P_2O_5 в магнитной фракции) увеличивает достоверность прогноза в 1.5–2 раза, в результате чего коэффициент корреляции между составом блоков в моделях, построенных по результатам минералогических исследований и прогноза, достигает 0.4–0.8 (ср. рис. 6 и 12).

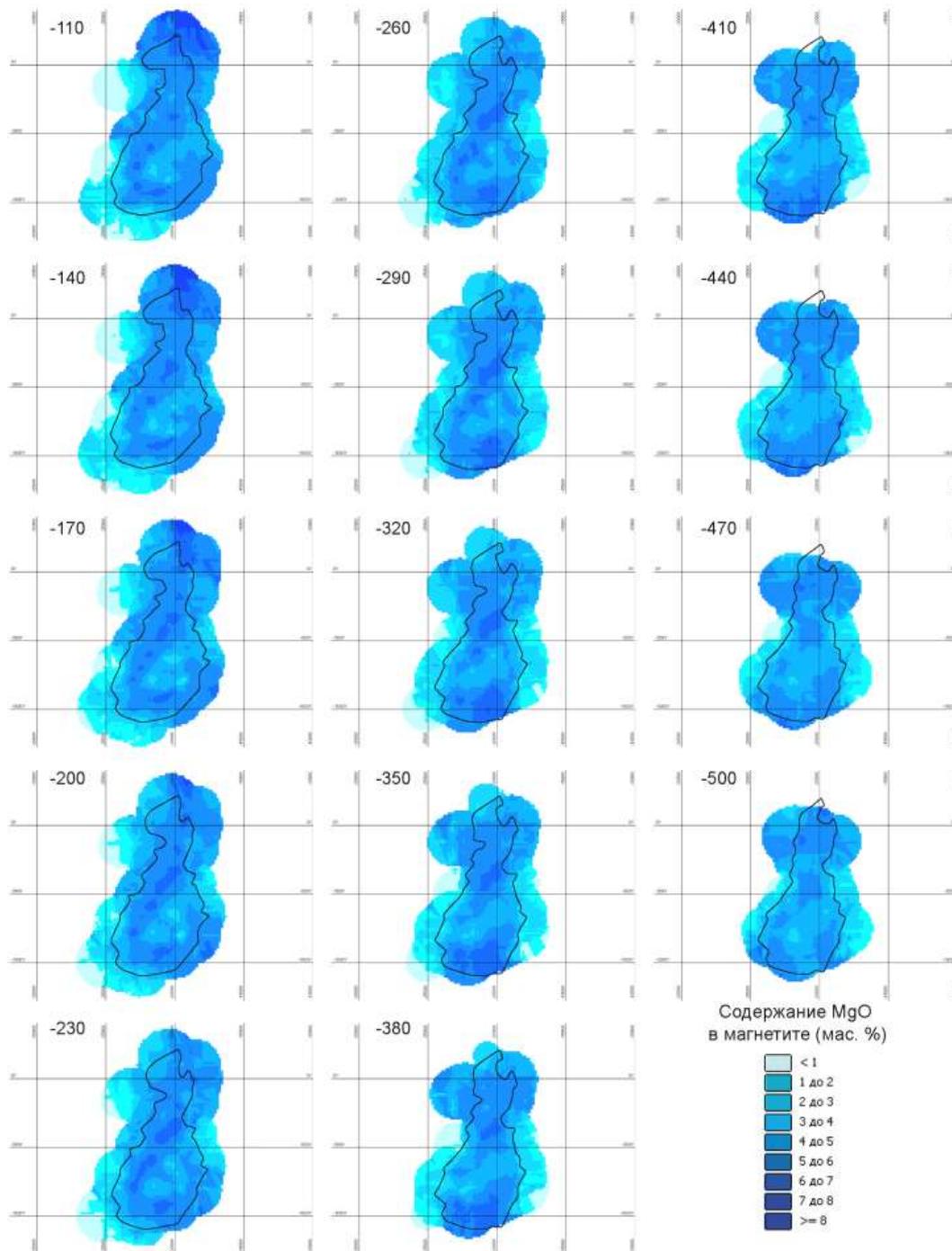


Рис. 12. Содержание MgO в магнетите, спрогнозированное посредством многомерного регрессионного анализа состава обобщенных проб

Таким образом созданную трехмерную модель можно использовать как для понимания общих трендов изменения того или иного параметра в пространстве, так и для прогноза минералогических и гранулометрических характеристик руды в конкретных эксплуатационных блоках. Как было показано, такой прогноз может быть сделан двумя независимыми способами. Первый способ базируется на

геостатистическом исследовании каждой технологически важной переменной (посредством вариографии выявляется корреляционная структура изменчивости переменной в объеме месторождения и на этой основе проводится предсказание значений между точками опробования методом кригинга).

Второй способ заключается в нахождении корреляционной связи между данными рядового и/или группового опробования, полученными в процессе предварительной и эксплуатационной разведки, и технологически важными переменными, такими как содержание Mg в магнетите или Sc в бадделеите.

По результатам трехмерного минералогического картирования и сопоставления его с требованиями технологии обогащения и запасами создается блочная модель, в которой отражается способ переработки каждого блока – направление его на ту или иную обогатительную линию, на тот или иной шихтовочный склад, на перспективный рудный склад или же в отвал. Фактически, это блочная модель «геометаллургических единиц» – групп руд и пород, набор структурно-вещественных свойств которых позволяет предсказывать их поведение при обогащении (или металлургической переработке) и, в итоге, производимые из них конечные продукты [5].

Работа поддержана  , грант 12-05-98802-р_север_а.

Президиумом РАН (проект 1.2.4 программы № 27), правительством Мурманской области.

Исследования финансировались ОАО «Ковдорский ГОК» в рамках работ по доразведке Ковдорского месторождения магнетитовых и апатитовых руд в 2007–2011 гг..

ЛИТЕРАТУРА

1. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского п-ова и Северной Карелии / А.А. Кухаренко [и др.] // Геология месторождений Ковдорского массива. СПб.: Изд. СПбГУ, 2002. 146 с. 2. Римская-Корсакова О.М., Краснова Н.И. Геология месторождений Ковдорского массива / О.М. Римская-Корсакова, Н.И. Краснова. СПб.: Изд. СПбГУ, 2002. 146 с. 3. Сулимов Б.И. Отчет о геологоразведочных работах, выполненных на Ковдорском месторождении железных руд в 1963–1971 гг., с подсчетом запасов по состоянию на 1 февраля 1971 г. (Мурманская область). Том I: Комплексные железные руды / Б.И. Сулимов, Б.В. Афанасьев, С.С. Осипов. Ковдор, 1971. 417 с. 4. Закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и оценка железо-фосфоро-редкометалльных руд Ковдорского месторождения. Отчет о НИР. Том 1 / Е.М. Эпштейн [и др.]. Москва, 1970. 217 с. 5. Трехмерное минералогическое картирование Ковдорского карбонатит-фоскоритового комплекса / А.О. Калашиков [и др.] // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона. Труды IX Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию Геологического института КНЦ РАН. Апатиты, 2-3 апреля 2012 г. / Ред. Ю.Л. Войтеховский. Апатиты: Изд-во K&M, 2012. С. 332–334.

Сведения об авторах

Иванюк Григорий Юрьевич – д.г.-м.н., зав. лаб. ГИ КНЦ РАН, старший научный сотрудник ЦНМ КНЦ РАН; e-mail: ivanyuk@geoksc.apatity.ru

Калашиков Андрей Олегович – к.г.-м.н., научный сотрудник ГИ КНЦ РАН; e-mail: kalashikov@geoksc.apatity.ru

Сохарев Виктор – главный геолог ОАО «Ковдорский ГОК»; e-mail: victor.sokharev@eurochem.ru

Пахомовский Яков Алексеевич – к.г.-м.н., зав. лаб. ГИ КНЦ РАН, научный сотрудник ЦНМ КНЦ РАН; e-mail: pakhom@geoksc.apatity.ru

Базай Ая Валерьевна – к.г.-м.н., научный сотрудник ГИ КНЦ РАН, младший научный сотрудник ЦНМ КНЦ РАН; e-mail: a.bazai@mail.ru

Михайлова Юлия Александровна – к.г.-м.н., научный сотрудник ГИ КНЦ РАН, младший научный сотрудник ЦНМ КНЦ РАН; e-mail: ylya_korchak@mail.ru

Коноплева Наталья Геннадьевна – к.г.-м.н., младший научный сотрудник ЦНМ КНЦ РАН; e-mail: konoplyova55@mail.ru

Яковенчук Виктор Нестерович – к.г.-м.н., старший научный сотрудник ГИ КНЦ РАН, научный сотрудник ЦНМ КНЦ РАН; e-mail: yakovenchuk@geoksc.apatity.ru

Горяинов Павел Михайлович – д.г.-м.н., главный научный сотрудник ГИ КНЦ РАН; e-mail: pgor@geoksc.apatity.ru

БОЛЬШИЕ ГЛУБИНЫ – НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.В. Лукичѳв

Горный институт КИЦ РАН

Аннотация

Современное состояние горнодобывающей отрасли характеризуется тенденцией к быстрому увеличению глубины горных работ, что приводит к увеличению себестоимости добычи полезных ископаемых и отрицательно влияет на безопасность горных работ.

Снизить себестоимость открытых горных работ можно за счет укрупнения бортов карьеров при выполнении ряда условий, невыполнение которых может приводить к серьезным последствиям: гибели людей, поломке техники, остановке или снижении производительности предприятия.

Необходимость учета структурных особенностей массива, его напряженного состояния, влияния сезонных осадков на устойчивость откосов делает задачу расчета оптимальных углов наклона борта карьера и откосов уступов очень непростой. Подобного рода задача была решена применительно к Ковдорскому ГОКу.

Радикальное решение проблемы безопасности – переход на малолюдные, а в перспективе и безлюдные технологии добычи. Такие технологии являются перспективными не только с точки зрения безопасности горняков, но и снижения издержек, связанных с созданием комфортных и безопасных условий труда.

Существует опыт применения полностью автономных погрузочно-доставочных машин (ПДМ) на рудниках компании LKAB (Швеция) и Inca (Канада), а также рудниках EITeniente (Чили) и Jundee (Австралия).

В последние годы активно ведутся работы по автоматизации технологических процессов при ведении открытых горных работ.

Ключевые слова:

горные работы, карьер, подземный рудник, борт карьера, угол откоса, берма, коэффициент вскрыши, напряженно-деформированное состояние, горный удар, техногенное землетрясение, малолюдная технология, дистанционное управление, автономный транспорт.



Современное состояние горнодобывающей отрасли, как в нашей стране, так и за рубежом характеризуется тенденцией к быстрому увеличению глубины горных работ, что увеличивает себестоимость добычи полезных ископаемых и отрицательно влияет на безопасность этих работ. В качестве примера можно привести список наиболее

глубоких карьеров в мире (табл.). Значительно большей глубины достигли подземные горные работы – максимальная глубина южноафриканских рудников по добыче золота достигает 3800 м.

Увеличение глубины ведения горных работ усложняет горно-геологические условия разработки месторождений, выражающихся в следующем:

1) с увеличением глубины, как правило, падает содержание полезных ископаемых в руде и уменьшается мощность рудных тел, что хорошо прослеживается на Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях и Ковдорском месторождении бадделеит-apatит-магнетитовых руд, а также большинстве железорудных месторождений;

2) увеличение глубины карьеров приводит к росту коэффициента вскрыши и увеличению расстояния транспортирования горной массы как для открытых, так и подземных горных работ;

3) увеличение глубины карьеров ухудшает их проветривания, а глубины и протяженности подземных горных выработок – к росту затрат на вентиляцию. Следует сказать, что применительно к подземным горным работам вентиляторы – основные потребители электроэнергии. Попытки же искусственного проветривания карьеров показали их бесперспективность;

4) увеличение глубины ведения горных работ приводит к необходимости работы в условиях высокого горного давления, что чревато его проявлениями в форме горных ударов и техногенных землетрясений.

Таблица

Глубокие карьеры

Название	Место-положение	Глубина, м	Размеры, км×км	Добываемое полезное ископаемое
Бингем Каньон (Kennecott Bingham Canyon Mine)	США	1200	4×3.8	Медь, молибден, золото
Чукикамата (Chuquicamata)	Чили	850	4.3×3	Медь, золото, серебро, рений, селен
Палабора (Palabora)	ЮАР	700	1.9×1.7	Медь
Удачный	Россия	640	1.7×1.3	Алмазы
Эскондида (Escondida)	Чили	620	3.8×2.7	Медь, золото, серебро
Мурунтау	Узбекистан	600	3.5×2.5	Золото
Сибайский карьер	Россия	600	2.0×2.0	Медь, цинк, сера
Бату-Худжау (Batu Hijau)	Индонезия	550	2.5×2.2	Золото, медь
Эскондида Нотр (Escondida Notre)	Чили	500	1.6×1.4	Медь, золото, серебро
Ковдорский ГОК	Россия	500	2.3×1.6	Железная руда, апатит, бадделейт

Всё вышесказанное неизбежно увеличивает себестоимость добычи руды, несмотря на использование всё более мощной и производительной техники, что подтверждается данными многолетнего мониторинга экономических показателей деятельности горнодобывающих предприятий Кольского горнопромышленного комплекса (ГПК). На примере нескольких горнодобывающих предприятий ГПК видно, что наибольший рост себестоимости добычи руды наблюдается для открытых горных работ, где основное удорожание идет за счет увеличения объема выемки и транспортирования вскрышных пород.

Снизить коэффициент вскрыши и увеличить экономически допустимую глубину карьера можно за счет увеличения углов наклона его бортов. По нашим оценкам, в зависимости от свойств и состояния массива горных пород (ГП) возможно укрупнение бортов на большинстве действующих карьеров на 5–10°. Но такое достаточно радикальное укрупнение возможно при выполнении следующих условий:

1) детальное изучение геолого-структурного строения месторождения (не только рудных тел, но и вмещающего массива) для получения достоверной информации о прочностных характеристиках массива ГП, наличии и ориентации систем трещин и зон тектонической нарушенности;

2) переход на сдвоенные (как минимум) уступы с близкими к вертикальным углами наклона откосов, что позволяет разместить на борту предохранительные и транспортные бермы необходимой ширины;

3) использование технологии «сходящего» взрывания на конечном контуре карьера, что в минимальной степени нарушает приконтурный массив, сохраняя его несущие свойства;

4) использование в случае необходимости оградительных сеток для предотвращения падения камней в местах работы людей и техники;

5) создание системы мониторинга состояния бортов карьера и приконтурного массива ГП, необходимой для обнаружения зон разрушения массива и выявления опасных деформаций уступов.

Гибель людей, поломка техники, остановка или снижение производительности предприятия – всё это следствие невыполнения этих условий. В качестве такого примера можно привести частичное обрушение борта на карьере «Бингем каньон» (США) в апреле 2013 г., где объем обрушившейся породы составил 165 млн т. Для сравнения: производительность карьера

по горной массе составляла 50 млн т/год. Следует отметить, что система мониторинга состояния бортов, действовавшая на карьере, позволила избежать человеческих жертв и до минимума свести потери техники. Потери устойчивости уступов наблюдались и на карьерах нашего региона, но в значительно меньших масштабах.

Особенность ряда горнодобывающих регионов, куда относятся и месторождения Кольского п-ова, – наличие высоких горизонтальных тектонических напряжений, которые способствуют появлению техногенной сейсмичности уже на малых глубинах (200–300 м) [1]. Это приводит к тому, что динамические проявления горного давления возможны на относительно небольших глубинах и не только на подземных, но и на открытых горных работах. Выполненные в ГоИ КНЦ РАН исследования показали, что горизонтальные напряжения в зависимости от ориентации карьера в их поле могут как повышать, так и снижать риск формирования зон разрушения в прибортовом массиве [2]. Таким образом, необходимость учета структурных особенностей массива, его напряженного состояния, влияние сезонных осадков на устойчивость откосов делает задачу расчета оптимальных углов наклона борта карьера и откосов уступов очень непростой.

Подобного рода задача была решена применительно к Ковдорскому ГОКу. В рамках ее решения совместными усилиями ученых и производителей было сделано следующее:

- силами Геологического института КНЦ РАН, Мурманской геологоразведочной экспедиции и Горного института КНЦ РАН выполнено геолого-структурное картирование месторождения. В результате было выделено 8 секторов в границах карьера, для которых определены предельно допустимые углы наклона борта карьера в верхней (более нарушенной) и нижней (менее нарушенной) зоне;

- разработана конструкция борта карьера со сдвоенными уступами и вертикальными углами наклона их откосов (рис. 1), обеспечивающая формирование борта с заданными углами наклона;



Рис. 1. Реализация конструкции борта со сдвоенными уступами и технологии «щадящего взрывания» на карьере рудника «Железный» Ковдорского ГОКа

- разработана технология «щадящего» взрывания, позволившая уменьшить законтурные разрушения до расстояния в 1 м [3];

- создана система мониторинга состояния бортов карьера и приконтурного массива, обеспечивающая контроль наиболее опасного по критерию устойчивости борта карьера. В основу системы мониторинга положена информация, получаемая в результате обработки микросейсмических данных, что определяет не только местоположении зон разрушения, но и размеры единичных трещин, формируемых в массиве;

- силами специалистов ГОКа и специализированных организаций ведутся экспериментальные работы по формированию сеточного ограждения склонных к осыпанию участков уступов.

Учет геомеханического состояния массива – важное условие обеспечения безопасности и стабильности работы подземных рудников. Неучет геомеханических особенностей эксплуатации месторождений может приводить к разрушениям различного масштаба, гибели людей и поломкам техники. В качестве примера можно привести затопление рудника № 1 ОАО «Уралкалий», в результате которого были потеряны не только запасы полезного ископаемого, но и вследствие провалов поверхности над затопленными выработками возникла опасность разрушения зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения.

Примеры локального разрушения выработок в скальных породах, вызванного напряжениями, действующими в массиве, приведены на рис. 2. Опасность такого проявления заключается в отделении от массива ГП кусков значительной массы, достаточной для серьезного травмирования людей и повреждения горной техники.



Рис. 2. Разрушение выработок под действие высоких напряжений в массиве ГП

Еще более опасными являются крупномасштабные проявления горного давления в форме техногенных землетрясений. Таким землетрясением в августе 1999 г. были разрушены подземные горные выработки рудника «Умбозеро» на протяжении 1.5 км (рис. 3), в результате техногенного землетрясения в 1989 г. на Кировском руднике ОАО «Апатит» нарушены подземные коммуникации.

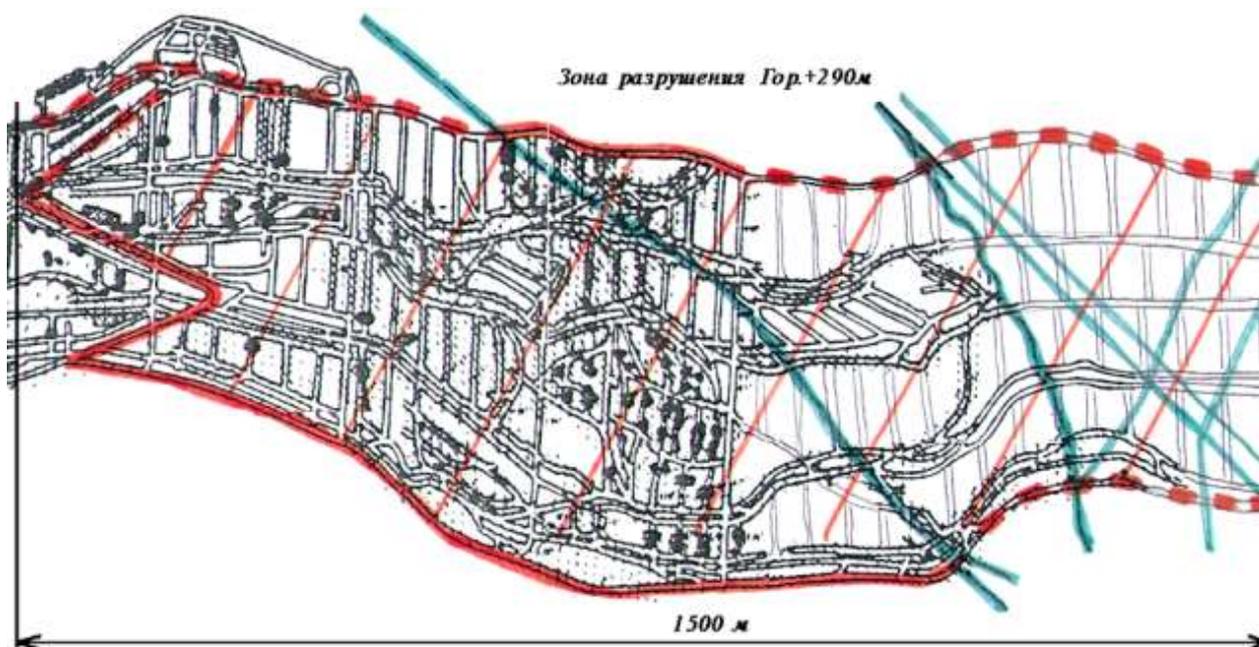


Рис. 3. Разрушение горных выработок рудника «Умбозеро» в результате техногенного землетрясения 17.08.1999 г.

Чтобы избежать потерь, связанных с проявлением горного давления, необходимо уже на стадии проектирования учитывать влияния поля напряжений на конструктивные элементы системы разработки и закладывать в проект соответствующие решения. Но массив ГП – очень неоднородная среда, включающая в себя породы с различными упруго-прочностными характеристиками, тектонические разломы с приуроченными к ним зонами разрушения, системы трещин с отличающимися параметрами. Подземные горные выработки меняют изначально существовавшее поле напряжений, являясь одновременно концентраторами напряжений, что сильно усложняет решение задачи прогноза и обеспечения геомеханической безопасности горных работ. В целом же горные работы выводят массив из состояния равновесия, формируя крайне неоднородное поле напряжений, что и становится основной причиной горных ударов и техногенных землетрясений.

Но горные работы развиваются в пространстве и времени, поэтому необходимо по возможности максимально оперативно учитывать их влияние на изменение геомеханической ситуацию в окружающем массиве. Сделать это возможно, используя средства численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС). Проиллюстрировать это можно на примере работы программного комплекса *Sigma GT*, разработанного в Горном институте и установленного в службах

прогноза и предупреждения горных ударов подземных рудников ОАО «Апатит» [4]. Данные прогнозных расчетов НДС, полученные для моделей месторождения, позволяют в режиме планирования определять зоны концентрации напряжений и выбирать оптимальные по геомеханическим условиям параметры горных работ. На основании данных моделирования можно выбирать как региональные, так и локальные мероприятия по разгрузке участков массива от высоких напряжений, принимать решения о креплении выработок.

Однако в силу неоднородности массива ГП, сложной пространственной конфигурации горных выработок и ограниченных возможностей вычислительной техники невозможно детально, с высокой степенью соответствия природно-техническим условиям смоделировать и спрогнозировать НДС массива и его реакцию на критические значения. Поэтому важная часть мероприятий по обеспечению геомеханической безопасности подземных горных работ – инструментальная оценка состояния массива. И основным методом, позволяющим контролировать микроразрушения массива под действием поля напряжений, является сейсмомониторинг. Исторически на подземных работах он появился раньше, чем на открытых, и на сегодня достаточно широко используется на горнодобывающих предприятиях, отрабатывающих удароопасные месторождения.

Подобная система совместными усилиями Горного института и ОАО «Апатит» была создана для обеспечения геомеханической безопасности при ведении подземных горных работ на Кировском и Расвумчоррском рудниках. Сейсмоприемники – важная часть системы, от количества и местоположения которых зависит точность определения места формирования и энергии сейсмического события. При анализе результатов сейсмомониторинга за длительный период времени выделено три типа зон сейсмической активности (растущая, устойчивая, затухающая), указывающих на высокую или низкую вероятность реализации масштабного разрушения.

Сейсмомониторинг может дать достаточно точный прогноз по месту возможного события, но он не может дать точного прогноза по времени этого события. Для повышения достоверности прогноза по времени необходимо привлечение других методов. В качестве наиболее перспективного можно назвать мониторинг деформаций массива. Подобная система в виде деформационно-наклономерного комплекса развернута на Кировском руднике, и результаты ее работы можно проиллюстрировать рис. 4, из которого видно, что техногенному землетрясению на Кировском руднике в октябре 2010 г. предшествовало резкое увеличение скорости деформаций.

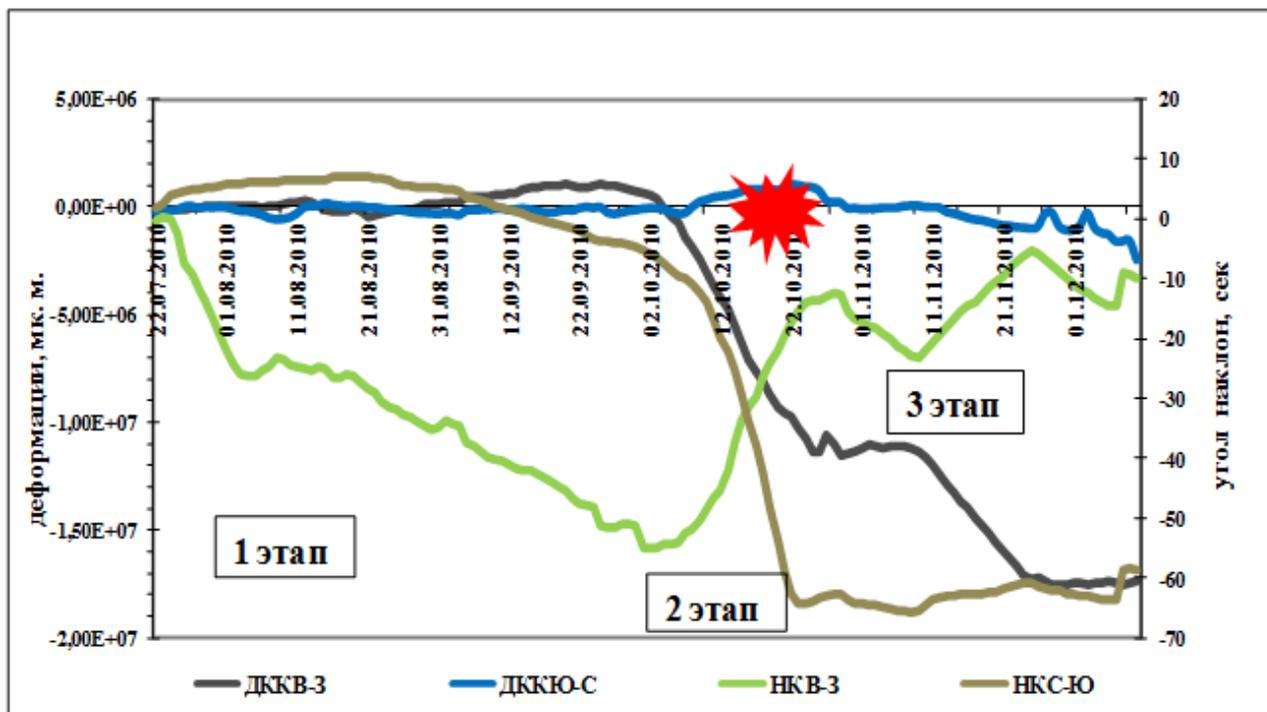


Рис. 4. Данные деформационно-наклономерного комплекса в период подготовки и реализации техногенного землетрясения на Кировском руднике 21.10.2010

Для изучения неоднородностей и напряженного состояния отдельных участков массива в натуральных условиях могут использоваться методы сейсмической томографии, а также локальные методы контроля (телевизионного, ультразвукового разрушения скважин).

Таким образом, на сегодня существуют достаточно развитые методы выявления зон повышенной опасности, где возможны динамические проявления горного давления. Поэтому усилия исследователей направлены на повышение точности прогноза событий по времени. По мнению многих исследователей, в том числе и Горного института, такой прогноз может быть получен на основе комплексного критерия, учитывающего различные формы проявления НДС массива.

Важная задача в этом плане – визуализация и обработка результатов моделирования НДС и данных различных систем мониторинга с привязкой их к моделям геологической среды и выработок. Такая задача в настоящее время решается для Приаргунского производственного горно-химического объединения силами Горного института и ряда научных организаций страны. В основу компьютерной технологии анализа результатов мониторинга положена программа MINEFRAME, созданная в институте [5]. Планируется, что результаты мониторинга и расчета НДС массива наряду с моделями пройденных и проектных выработок будут являться основой планирования горных работ. Все работы будут выполняться в единой моделирующей среде, обеспечивающей комплексное решение геологических, маркшейдерских и технологических задач.

Несмотря на совершенствование горной технологии и быстрое развитие средств оценки геомеханического состояния массива, остается вероятность неконтролируемого развития катастрофических событий. Радикальное решение проблемы – переход на малолюдные, а в перспективе и безлюдные технологии добычи. Переход к таким технологиям является перспективным не только с точки зрения безопасности горняков, но и снижения издержек, связанных с созданием комфортных и безопасных условий труда.

Существенной проблемой глубоких карьеров является их проветривание, что нередко приводит к простоям погрузочной и транспортной техники. Вывод людей из карьера или снижение до минимума времени их пребывания там позволит избежать этих потерь. Необходимость работы вблизи высоких откосов уступов повышает вероятность падения камней с большой кинетической энергией. Для снижения такой вероятности приходится идти на большие издержки, связанные с увеличением ширины берм или использованием сеточных завес. Вывод горняков из этой зоны исключит возможность их травмирования.

Большой статьей расходов при ведении подземных горных работ становится проветривание, обеспечивающее доставку к рабочим местам свежего воздуха и снижения концентрации вредных веществ. Вывод людей на поверхность и переход на электрические машины существенно сократит эти затраты. Падение крупных кусков ГП из кровли и стенок выработок представляет серьезную угрозу при ведении подземных горных работ. Для снижения вероятности травмирования горняков приходится идти на закрепление опасных по заколообразованию поверхностей. Вывод людей из таких зон серьезно снизит или исключит затраты на крепление выработок.

Исторически первыми за решение проблемы автоматизации технологических процессов взялись подземщики. На первом этапе осуществлялся переход на дистанционное управление, которое позволяло при выполнении всех тех же операций на выносном пульте управления обеспечивать большую безопасность оператора. С развитием вычислительной техники и средств связи появилась возможность большую часть операций выполнять в автоматизированном режиме без участия человека. Если говорить о ПДМ, то, в первую очередь, это такие операции, как движение машины по заданной траектории и разгрузка. Уже это давало возможность одному оператору управлять двумя и тремя машинами, оставив за ним наиболее сложную операцию, связанную с погрузкой. Существует опыт применения полностью автономных ПДМ на рудниках компании LKAB (Швеция) и Inca (Канада), а также рудниках ElTeniente (Чили) и Jundee (Австралия).

Лидеры в производстве таких роботизированных машин компании: SandvikTamrock (Финляндия), AtlasCopco (Швеция), Caterpillar (США), Hitachi (Япония). Некоторые модели буровых станков фирм SandvikTamrock и AtlasCopco обеспечивают дистанционное управление как процессом бурения, так и перемещения установок при нахождении оператора на большом расстоянии (в том числе и на поверхности). Подобная технология работы реализована на рудниках LKABKiruna и Maimberget (Швеция) [6].

Крупнейший в мире проект по автоматизации подземных горных работ реализуется на алмазном руднике Аргайл компании RioTinto в Западной Австралии [7]. В основе автоматизированной системы лежит разработка фирмы Sandvik, позволяющая дистанционно с поверхности управлять 11 электропогрузчиками LH514 и 2 дизельными погрузчиками LH410. Предполагается, что эти нововведения повысят производительность рудника до 9 млн т/год.

В целом же переход на автоматизированное управление горной техникой по оценкам зарубежных специалистов повышает ее производительность в среднем на 20% при некотором снижении эксплуатационных затрат за счет увеличения ходимости шин и ресурса двигателя. Существенный фактор – увеличение времени производительной работы оператора из-за отсутствия необходимости спуска в шахту и подъема на поверхность.

В последние годы активно ведутся работы по автоматизации технологических процессов при ведении открытых горных работ. Наиболее интересными представляются работы, связанные с дистанционным, а затем и автоматизированным управлением карьерными самосвалами [8]. Лидером в этой области является компания Модулар, участвующая в стратегическом проекте, по которому впервые в мире осуществляется развертывание системы безоperatorных перевозок. Согласно соглашению между компаниями Komatsu (мировым лидером в области создания роботизированных самосвалов) и RioTinto 150 автономных (работающих без водителей) самосвалов будут введены в эксплуатацию на руднике Yandicoogina в Западной Австралии к концу 2015 г. Рудник получит новый парк автономных самосвалов 930E-B, а также испытательный парк, который будет перебазирован с рудника West Angelas компании RioTinto, где он успешно эксплуатировался с декабря 2008 г. в рамках программы «Рудник будущего» (Mine of the Future™).

В сентябре 2012 года японская компания Hitachi также объявила о планах по разработке к 2017 году системы автономных грузоперевозок полного технологического цикла на основе карьерных самосвалов Hitachi с электроприводом переменного тока.

Еще один ведущий производитель карьерной техники – компания Caterpillar – в настоящее время ведет активные работы по созданию безлюдной системы грузоперевозок с планами запуска первых демонстрационных образцов в 2015 году. Следует сказать, что компания Caterpillar проводит также очень перспективные с точки зрения снижения затрат на топливо работы по переводу дизельных двигателей на природный сжиженный газ, продукты сгорания которого к тому же в меньшей степени, чем дизельного топлива, загрязняют атмосферу.

Компанией «ВИСТ Групп» (Россия) совместно с ОАО «Белорусский автомобильный завод» был разработан и представлен в апреле 2010 года дистанционно-управляемый с рабочего места оператора карьерный самосвал БелАЗ-75137 грузоподъемностью 130 тонн с электроприводом постоянного тока [9]. Рабочее место оператора оснащено такими же органами управления, как в кабине серийного самосвала. На дисплеях отображается дорожная обстановка в реальном времени. Программное обеспечение бортового контроллера и контроллера рабочего места оператора реализует алгоритм дистанционного управления самосвалом путем передачи команд управления по каналу беспроводной связи.

Для повышения безопасности управления предусмотрена система аварийной остановки, которая дистанционно обеспечивает принудительную остановку самосвала при возникновении нештатных ситуаций и автоматическую остановку в движении при пропадании управляющего канала радиосвязи, зависании бортового контроллера и прочих серьезных неисправностях.

Основное отличие роботизированного самосвала БелАЗ-75131 от самосвала с дистанционным управлением – возможность его работы в автономном режиме под управлением бортового компьютера с более совершенной системой видеонаблюдения и предотвращения столкновений. Оператор, находящийся в удаленном рабочем месте, может при необходимости переключаться с автономного режима на ручное управление или программно изменить маршрут движения самосвала.

По словам создателей системы, следующим шагом к автоматизации и повышению производительности горных работ должны стать роботизированные системы управления горнотранспортным комплексом, включающие в себя совместную работу автономной погрузочной техники (экскаваторы, погрузчики), а также другого технологического транспорта и оборудования (бульдозеры, буровые станки и грейдеры). Это в целом отражает мировую тенденцию развития систем автоматизированного управления технологическими процессами, связанными со взрывной подготовкой, погрузкой, доставкой и транспортированием горной массы.

Заключение

Затронутые в статье проблемы и способы их решения не являются чем-то абсолютно новым. Ученые и производственники шли к их решению не один десяток лет. И на сегодня в мире существует научная и техническая база, позволяющая не только оптимизировать параметры горной технологии на основе анализа огромного объема информации о геологии месторождения и геомеханическом состоянии природно-технической системы, но и, переходя на комплексную автоматизацию технологических процессов, одновременно решать две задачи – повышение безопасности и производительности труда горняков. Решение этих задач, в свою очередь, предполагает высокую технологическую культуру, обеспечивающую точное выполнение проектных решений и плановых заданий, а также грамотное использование горной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмичность при горных работах / А.А. Козырев [и др.]. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 325 с. 2. Исследование напряженно-деформированного состояния массива пород численными методами на основе данных натурных измерений в окрестности крупной карьерной выемки / А.А. Козырев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 11. С. 78–89. 3. Совершенствование технологии буровзрывных работ на предельном контуре карьеров / В.А. Фокин [и др.]. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2008. 224 с. 4. Козырев А.А., Семенова И.Э., Аветисян И.М., Геомеханическая модель Хибинского массива как основа прогноза напряженно-деформированного состояния при отработке запасов действующих и перспективных апатитовых месторождений. Труды Всероссийской конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», т.1 / А.А. Козырев, И.Э. Семенова, И.М. Аветисян. Новосибирск, 2011. С. 362–367. 5. Лукичев С.В. Организация работы геолого-маркшейдерской и технологической служб подземного рудника в системе MINEFRAME / С.В. Лукичев, О.В. Наговицын, А.В. Родина // Горный информационно-аналитический бюллетень № 3. Москва, 2010. С. 381–389. 6. Интеллектуализация горных машин – миф или реальность? Режим доступа: http://www.rudana.in.ua/showanalit_12_lang.htm. 7. Истории из деятельности SANDVIKMINING по всему миру. Режим доступа: <http://www.minestories.com/ru>. 8. Решетняк С.П. Перспективные варианты развития технологического оборудования горного производства. Режим доступа: <http://miningworld-russia.primexpo.ru/media/47/presentation/reshetnyak.pdf>. 9. Клебанов Д.А. Принципы построения системы дистанционного и автономного управления карьерным самосвалом / Д.А. Клебанов, И.В. Кузнецов, Н.В. Бигель. Режим доступа: www.vistgroup.ru/pressroom/7/101/.

Сведения об авторах

Мельников Николай Николаевич – академик РАН, директор института;

e-mail: root@goi.kolasc.net.ru

Козырев Анатолий Александрович – д.т.н., профессор, зам. директора по научной работе;

e-mail: kozar@goi.kolasc.net.ru

Лукичев Сергей Вячеславович – д.т.н., зам. директора по научной работе;

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

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ЭКСТРАКЦИИ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ОДНОАТОМНЫМИ АЛИФАТИЧЕСКИМИ СПИРТАМИ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Г.И. Кадырова, Е.К. Копкова, Е.А. Щелокова, П.Б. Громов

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

Аннотация

Методом инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии) изучен механизм экстракции фосфорной кислоты одноатомными алифатическими спиртами: *n*-пентанолом, *n*-октанолом, изо-октанолом и *n*-деканолом. В ИК-спектрах всех экстрактов обнаружены полосы иона гидроксония H_3O^+ и эфирных группировок P-O-Alk . Сделан вывод о протекании процесса экстракции фосфорной кислоты по двум механизмам: гидратно-сольватному и механизму химического взаимодействия. Выявлена корреляция между количеством воды, перешедшей в экстракт при различных $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$, и коэффициентами распределения кислоты.

Ключевые слова:

фосфорная кислота, алифатические спирты, механизм экстракции, ИК-спектроскопия.

Наиболее перспективным для выделения и получения чистой фосфорной кислоты из продукционных растворов переработки природных фосфатов является метод жидкостной экстракции с использованием в качестве экстрагента 100%-го трибутилфосфата (ТБФ), освоенный в промышленных масштабах как в России, так и за рубежом [1–4]. Однако ТБФ как органический растворитель имеет некоторые недостатки. Это относительно дорогой реагент, обладает высокой плотностью насыщенных экстрактов, близкой к плотности воды, что в значительной мере ухудшает гидродинамику экстракционного процесса, приводит к образованию эмульсий и увеличивает время расслаивания фаз. ТБФ растворим в кислых водных технологических растворах, химически недостаточно устойчив, подвергаясь гидролизу и разложению в сильноокислых средах. В этом отношении более приемлемыми могут являться органические реагенты, относящиеся к классу алифатических спиртов (РОН). Эти реагенты производятся в России, более доступны, почти в три раза дешевле трибутилфосфата, имеют низкую плотность и вязкость чистых реагентов и насыщенных экстрактов, что обеспечивает быстрое и четкое расслаивание фаз, незначительную растворимость в водных и еще меньшую в водно-солевых растворах, обладают химической устойчивостью с сохранением физико-химических свойств и высокой емкостью по извлекаемому компоненту (металлы, кислоты и др.).

Ранее были изучены процессы экстракции и реэкстракции фосфорной кислоты одноатомными алифатическими спиртами гомологического ряда РОН ($\text{R}=\text{C}_5\text{--}\text{C}_{10}$), включающего стерические изомеры по положению функциональной группы и структуре углеводородного радикала [5–8].

Было установлено, что экстракция фосфорной кислоты алифатическими спиртами протекает с невысокими коэффициентами распределения, возрастающими при увеличении концентрации кислоты в водной фазе. При содержании H_3PO_4 в исходном растворе менее 5.1 моль/л экстракция незначительна ($D_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 0.05\text{--}0.1$) и возрастает при $\text{C}_{\text{H}_3\text{PO}_4} > 5.1$ моль/л ($D_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 0.3\text{--}0.6$) в зависимости от структуры спирта. Экстракционная способность спиртов по отношению к фосфорной кислоте зависит от длины углеводородного радикала, положения ОН-группы в углеводородном радикале, его пространственного строения и выражается следующей убывающей последовательностью [5–8]: пентанол > изо-пентанол > *n*-гексанол > *n*-гептанол > *n*-октанол > изо-октанол > *n*-нонанол > *n*-деканол.

Это согласуется с общими представлениями теории экстракции об ухудшении экстракционных свойств экстрагента при увеличении длины радикала за счет эффекта разбавления, а также меньшей доступности функциональной группы (октанол-2) и стерических

затруднениях, возникающих при разветвлении радикала вблизи функциональной группы (изо-пентанол, изо-октанол) [9].

Было проведено также изучение основных физико-химических свойств (плотности, вязкости, удельной электропроводности) фосфорнокислых спиртовых экстрактов и показано увеличение значений величин d , η и χ с ростом концентрации в экстрактах H_3PO_4 , что свидетельствует о преобладании процессов диссоциации экстрагируемых комплексов в органической фазе, обусловленных сильной сольватирующей способностью алифатических спиртов. Изучена кинетика процесса экстракции H_3PO_4 н-октанолом и показано влияние основных факторов (температура, соотношение объемов фаз) на степень извлечения и коэффициент распределения кислоты с выбором оптимальных условий проведения процесса. Установлена концентрационная граница полного смешения фаз при экстракции H_3PO_4 спиртами, которая составляет: 11.82, 12.29, 14.09, 14.63, 13.32, 12.54, 12.85 моль/л H_3PO_4 для н-пентанола, изо-пентанола, н-гексанола, н-гептанола, н-октанола, н-нонанола, н-деканола соответственно. Методом насыщения определена емкость спиртов по H_3PO_4 , которая соответствовала их экстракционной способности и составляла: 7.52; 5.74; 6.37; 6.92; 6.80; 4.67; 4.59; 3.94; моль/л, соответственно, для н-пентанола, изо-пентанола, н-гексанола, н-гептанола, н-октанола, изо-октанола, н-нонанола, н-деканола [5, 6].

На примере н-октанола показано, что максимальное содержание фосфорной кислоты в экстракте при сохранении его устойчивости и отсутствии гомогенизации фаз, соответствующее емкости экстрагента, составляет около 4.67 моль/л, что соответствовало значениям коэффициента распределения кислоты 0.39–0.41. Более высокое содержание H_3PO_4 в исходном растворе приводит к образованию гомогенной, прозрачной, практически не расслаивающейся органической фазы. Разделение фаз еще наблюдалось при значениях равновесной концентрации фосфорной кислоты в рафинате, соответствующей плотности $d = 1.480$ г/см³. В этих условиях объем н-октанольного экстракта увеличивался почти в 4 раза по сравнению с объемом исходной органической фазы. Образование гомогенной фазы наблюдалось при равновесной концентрации фосфорной кислоты в водной фазе более 15.1 моль/л. После разбавления водно-органической эмульсии водой и разделения полученных фаз было отмечено изменение цвета органической фазы и появление характерного эфирного запаха [6]. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о сложном механизме экстракции H_3PO_4 спиртами, связанным, вероятно, с образованием в области высоких концентраций фосфорной кислоты молекул соответствующих сложных эфиров по реакции этерификации.

Настоящая работа посвящена изучению механизма экстракции фосфорной кислоты одноатомными алифатическими спиртами на примере н-пентанола, н-октанола, изо-октанола и н-деканола методом ИК-спектроскопии. Экстрагенты использовали без разбавителя. Модельные растворы H_3PO_4 готовили разбавлением реактивной фосфорной кислоты марки «ч» ГОСТ-6552-80 дистиллированной водой. Основные физико-химические свойства спиртов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства алифатических спиртов [10, 11]

Спирт	Мол. масса	Плотность d , г/см ³	Динамич. вязкость η , спз	Диэлектр. проницаемость ϵ_{20}	Растворимость в воде, % мас.	T , °C	
						воспл.	кип.
н-пентанол $CH_3(CH_2)_3CH_2OH$	88.15	0.818 (20 °C)	4.650 (15 °C) 3.347 (25 °C)	13.90	2.19 (25 °C)	56	138.0 6
н-октанол $CH_3(CH_2)_6CH_2OH$	130.23	0.826 (20 °C) 0.822 (25 °C)	10.64 (15 °C) 8.4 (20 °C) 6.125 (30 °C)	10.34	0.0538 (25 °C)	93	195.2 8
изо-октанол (2-этилгексанол) i- $CH_3(CH_2)_6CH_2OH$	130.23	0.834 (20 °C) 0.819 (25 °C)	9.8 (15 °C)	8.20	0.07 (25 °C)	83	179.1 5
н-деканол $C_{10}H_{21}OH$	158.28	0.829	–	–	нерастворим	114	231.0

Для изучения механизма экстракции фосфорной кислоты алифатическими спиртами были записаны ИК-спектры чистых спиртов, спиртов после контакта с водой и экстрактов с различной концентрацией фосфорной кислоты, которая варьировалась от 0.9 до 5.7 моль/л. ИК-спектры записывали на инфракрасном Фурье-спектрометре Nicolet 6700 в тонких пленках между окнами KBr в интервале $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$. Полученные спектры приведены на рис. 1–4.

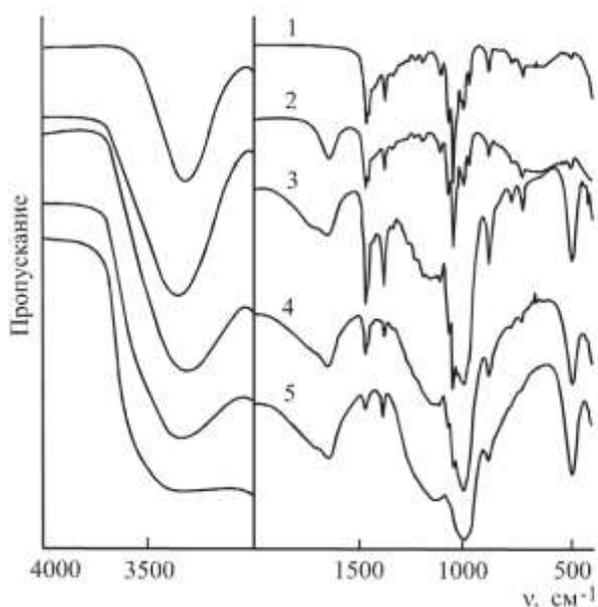


Рис. 1. ИК-спектры *n*-пентанольных экстрактов фосфорной кислоты:
1 – чистый *n*-пентанол; 2 – *n*-пентанол + H_2O ; *n*-пентанол + H_3PO_4 , моль/л:
3 – 1.3; 4 – 2.6; 5 – 5.7

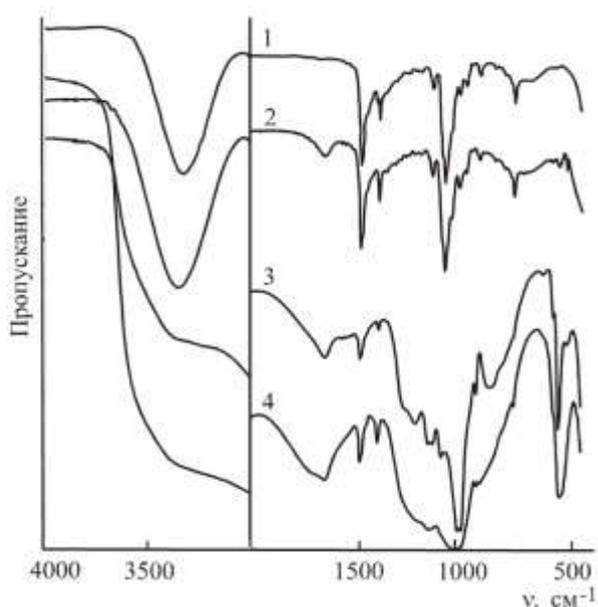


Рис. 2. ИК-спектры *n*-октанольных экстрактов фосфорной кислоты:
1 – чистый *n*-октанол; 2 – *n*-октанол + H_2O ; *n*-октанол + H_3PO_4 , моль/л:
3 – 1.4; 4 – 4.7

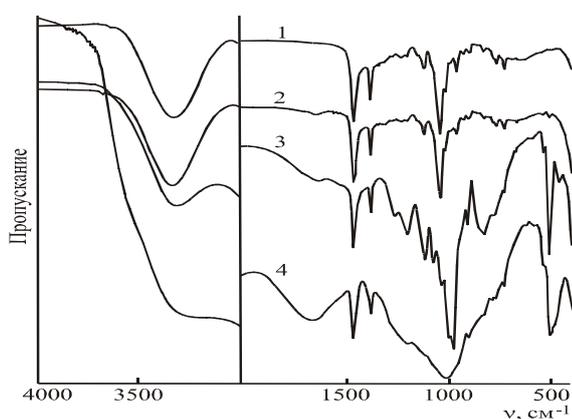


Рис. 3. ИК-спектры изо-октанольных экстрактов фосфорной кислоты:
1 – чистый изо-октанол, 2 – изо-октанол + H_2O ; изо-октанол + H_3PO_4 , моль/л: 3 – 0.9; 4 – 4.7

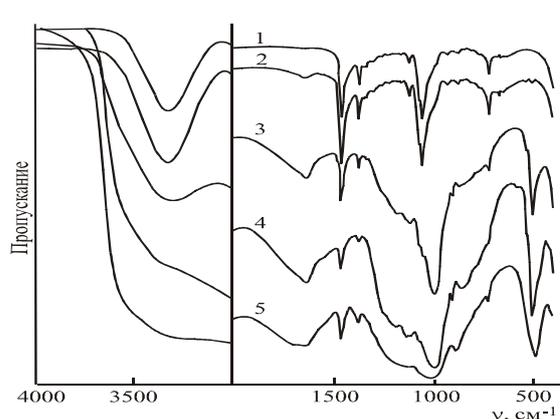
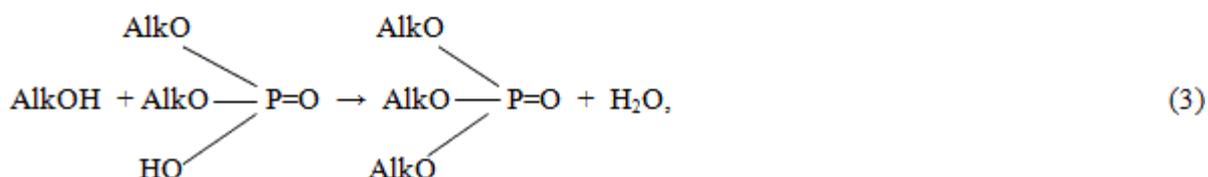
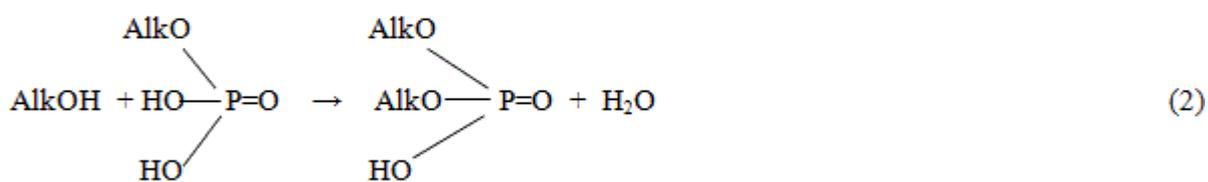
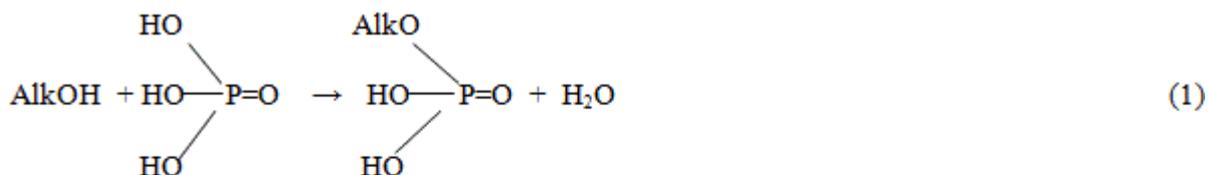


Рис. 4. ИК-спектры *n*-деканольных экстрактов фосфорной кислоты:
1 – чистый *n*-деканол, 2 – *n*-деканол + H_2O ; *n*-деканол + H_3PO_4 , моль/л:
3 – 1.3; 4 – 3.4; 5 – 5.7

Помимо полос валентных и деформационных колебаний метильных и метиленовых групп ($2950\text{--}2855$, 1460 , 1380 , 700 см^{-1}) [12], наиболее характерны для алифатических спиртов полосы поглощения групп С-ОН, находящиеся у первичных спиртов при $1050\text{--}1060\text{ см}^{-1}$ (рис. 1–4,

кривые 1), и полосы валентных колебаний ОН-группы в области 3400–3300 см⁻¹, появляющиеся вследствие образования полиассоциатов спирта за счет водородных связей [12, 13]. После контакта с водой в спектрах всех спиртов возникает слабоинтенсивная симметричная полоса деформационных колебаний воды с ν_{\max} при 1640 см⁻¹ (рис. 1–4, кривые 2).

Спектры экстрактов резко отличаются от спектров чистых спиртов. Уже при концентрации Н₃РO₄ 0.9–1.3 моль/л в спектрах всех экстрактов проявляется сложная полоса с ν_{\max} 1000 см⁻¹, принадлежащая деформационному колебанию группы Р-О-Алк [12]. Появление в спектрах эфирной группировки свидетельствует об образовании в органической фазе при контакте спиртов с фосфорной кислотой сложных эфиров по реакции этерификации:



где Alk – н – C₃H₁₁, н – C₈H₁₇, изо – C₈H₁₇, н – C₁₀H₂₁.

С ростом концентрации кислоты в экстрактах полосы эфирных группировок уширяются и несколько размываются, однако ν_{\max} при 1000 см⁻¹ сохраняется (рис. 1–4, кривые 3, 4). Вероятно, в зависимости от концентрации Н₃РO₄ в органической фазе образуется смесь моноалкил-, диалкилфосфорной кислоты и, возможно, триалкилфосфата. И если при С_{Н₃РO₄} ≤ 1.3 моль/л превалирует, по-видимому, моноалкилфосфорная кислота, то при С_{Н₃РO₄} > 1.3 моль/л возможно образование смеси эфиров, содержащих диалкилфосфорную кислоту и триалкилфосфат, что и приводит к уширению и размыванию полосы Р-О-Алк.

Колебание фосфорильной группы Р = О, имеющей ν_{\max} при 1275 см⁻¹ [12, 13], не проявляется в виде индивидуальной полосы (рис. 1–4, кривые 3, 4). Однако поглощение в этой области в экстрактах существенно больше, чем в спектрах чистых спиртов. По-видимому, полоса Р=О накладывается на полосы 1-, 2- и 3-х замещенных эфиров фосфорной кислоты. Отметим также, что в спектрах всех экстрактов четко фиксируется полоса группы РO₄ при 500 см⁻¹ [14] (рис. 1–4, кривые 3, 4).

Обращает на себя внимание тот факт, что в спектрах всех экстрактов присутствует полоса с ν_{\max} при 1640 см⁻¹, принадлежащая $\delta_{\text{H}_2\text{O}}$, однако форма и интенсивность этой полосы отличается от формы и интенсивности полосы деформационных колебаний воды в спектрах чистых спиртов, содержащих воду (рис. 1–4, кривые 2). Интенсивность этой полосы в спектрах экстрактов значительно выше, чем в спектрах спиртов, а форма асимметрична: появляется значительное поглощение в более коротковолновой области. Интенсивность и асимметрия полос усиливается с ростом концентрации кислоты во всех экстрактах (рис. 1–4, кривые 3, 4). Вычитанием из спектра экстракта спектра спирта, содержащего воду, получена полоса с ν_{\max} при 1712 см⁻¹ (рис. 5), что свидетельствует о присутствии в спектрах экстрактов иона гидроксония Н₃О⁺ [15].

Значительные изменения претерпевает и полоса валентных колебаний воды (рис. 1–4, кривые 3–5). С ростом концентрации H_3PO_4 в экстрактах нарушается симметрия полосы: увеличивается поглощение как в коротковолновой области ($3600\text{--}3400\text{ см}^{-1}$), так и в длинноволновой ($3400\text{--}3000\text{ см}^{-1}$). Увеличение поглощения в длинноволновой области в экстрактах со значительной концентрацией кислоты объясняется появлением «связанной» воды, переходящей из водной в органическую фазу в виде гидратно-сольватных комплексов [15, 16]. Отметим, что наиболее значительны изменения интенсивности и формы полосы валентных колебаний воды при сопоставимых концентрациях фосфорной кислоты для *n*-пентанола и *n*-деканола, менее значительны – для *n*-октанола и изо-октанола.

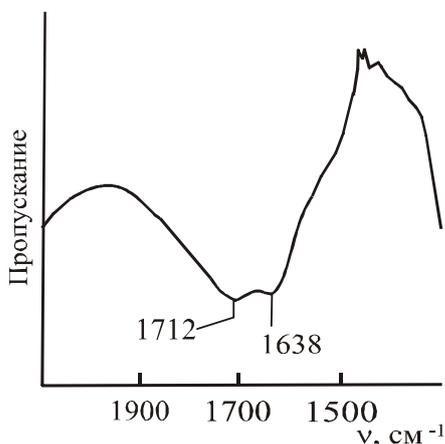


Рис. 5. Результат вычитания из спектра *n*-пентанольного экстракта с $C_{\text{H}_3\text{PO}_4} = 5.7$ моль/л, спектра *n*-пентанола, содержащего воду

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что экстракция фосфорной кислоты алифатическими спиртами идет по двум механизмам: гидратно-сольватному и механизму химического взаимодействия. О гидратно-сольватном механизме свидетельствует наличие в спектрах экстрактов полосы поглощения иона гидроксония H_3O^+ , что, согласно [15–17], является доказательством этого механизма. Таким образом, можно считать, что часть фосфорной кислоты переходит в органическую фазу в виде гидратно-сольватных комплексов состава, $[\text{H}_3\text{O}(\text{H}_2\text{O})_n\text{S}_m]^+\text{An}^-$, где An^- – анион кислоты, S – молекула экстрагента. О химическом взаимодействии алифатических спиртов с фосфорной кислотой свидетельствует появление интенсивных полос эфирных группировок P-O-Alk в спектрах всех экстрактов,

содержащих фосфорную кислоту.

Протекание процесса экстракции по двум механизмам можно объяснить следующим образом. Известно, что фосфорная кислота является слабой кислотой. Согласно [18, 19] ее константы диссоциации по трем ступеням составляют $8.1 \cdot 10^{-3}$; $6.0 \cdot 10^{-8}$; $1.2 \cdot 10^{-12}$ соответственно. Полагая в первом приближении, что диссоциация H_3PO_4 идет, в основном, по первой ступени, так как $K_2 \ll K_1$, а также принимая во внимание увеличение диссоциации по мере разбавления раствора, можно считать, что в растворах исследуемых концентраций часть H_3PO_4 присутствует в диссоциированном виде с выделением соответствующего количества ионов H^+ в раствор, а часть – в недиссоциированном виде. Недиссоциированная кислота вступает в реакцию этерификации со спиртами по уравнениям (1)–(3), переходя в органическую фазу за счет химического взаимодействия. Диссоциированная часть кислоты образует ионы H^+ , с помощью которых происходит экстракция H_3PO_4 по гидратно-сольватному механизму.

Исходя из предложенной модели механизма экстракции фосфорной кислоты алифатическими спиртами, можно констатировать, что в экстрактах присутствует вода трех видов. Первая – вода, перешедшая в органическую фазу за счет водородных связей спирта с водой. Вторая – вода, перешедшая в органическую фазу в составе гидратно-сольватного комплекса. Третья – вода, образующаяся в органической фазе вследствие реакции этерификации.

Интересные закономерности прослеживаются при анализе экспериментальных данных по количеству воды, перешедшей в экстракт при различных концентрациях фосфорной кислоты для разных спиртов, и корреляции этих данных с коэффициентами распределения (табл. 2). При относительно низких исходных концентрациях H_3PO_4 (3–6 моль/л) вследствие более высокой степени диссоциации кислоты по сравнению с более концентрированными растворами, вода переходит в органическую фазу, по-видимому, в основном по гидратно-сольватному механизму в виде гидратно-сольватных комплексов. Коэффициенты распределения кислоты в этих условиях невелики: 0.11–0.24 для *n*-пентанола и 0.04–0.08 для *n*-деканола. При более высокой исходной концентрации H_3PO_4 (8–14 моль/л), когда содержание недиссоциированной кислоты становится ощутимым, увеличивается доля воды, образовавшейся в органической фазе по второму

механизму – реакции этерификации, и общее содержание воды в экстрактах увеличивается для всех спиртов по сравнению с менее концентрированными растворами H_3PO_4 (табл. 2).

Таблица 2

Экстракция фосфорной кислоты алифатическими спиртами

$C_{H_3PO_4_{исх}}$, моль/л	H_3PO_4		
	$C_{H_2O_{о.ф.}}$	$C_{H_3PO_4_{о.ф.}}$	D
н-пентанол			
3.07	3.83	0.34	0.11
6.04	4.06	1.30	0.24
8.23	8.27	2.62	0.36
11.24	10.95	5.49	0.58
11.82	11.69	5.74	0.59
н-октанол			
3.13	0.47	0.13	0.04
6.39	1.30	0.62	0.10
8.71	2.69	1.45	0.18
11.47	3.38	3.17	0.31
13.32	3.76	4.67	0.40
ИЗО-ОКТАНОЛ			
3.13	0.34	0.10	0.03
6.39	1.20	0.42	0.07
8.71	2.13	0.90	0.11
11.47	2.67	2.03	0.19
14.64	2.72	4.69	0.37
н-ДЕКАНОЛ			
3.13	0.41	0.12	0.04
6.39	0.64	0.49	0.08
8.71	1.34	1.30	0.16
11.47	2.83	3.17	0.27
12.85	3.45	3.39	0.31

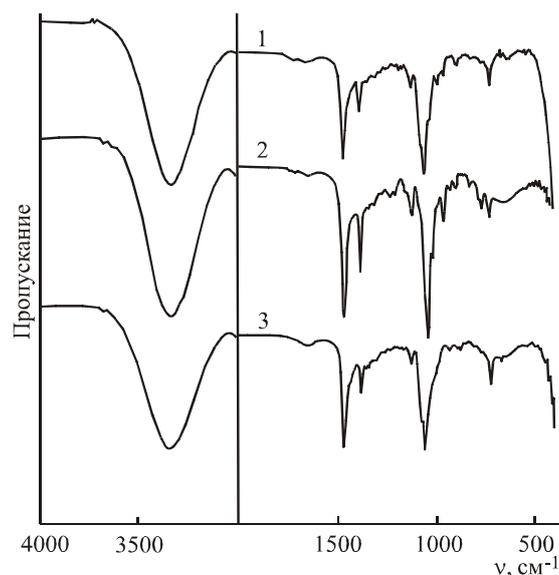


Рис. 6. ИК-спектры отмытых спиртов: 1 – н-октанол; 2 – изо-октанол; 3 – н-деканол

Коэффициенты распределения ощутимо выше при экстракции H_3PO_4 из более концентрированных растворов кислоты. Отметим, что по данным C_{H_2O} органической фазы и $D_{H_3PO_4}$ прослеживается влияние длины цепи и строения углеводородного радикала спирта на экстракцию H_3PO_4 . Для *n*-пентанола и те, и другие значения выше, чем для изо-октанола, что объясняется стерическими затруднениями при подходе иона H^+ к ОН-группам в разветвленных радикалах. Сравнение C_{H_2O} и $D_{H_3PO_4}$ для *n*-пентанола и *n*-деканола также свидетельствует о влиянии длины цепи углеводородного радикала на экстракцию H_3PO_4 : чем больше длина цепи, тем хуже идет процесс экстракции.

Большое значение в экстракционных технологиях имеет вопрос регенерации экстрагента. Проведенные эксперименты показали, что трехкратная промывка экстрактов водой при соотношения $V_0:V_B=1:3$ приводит к полной реэкстракции кислоты из органической фазы и регенерации алифатических спиртов с возможностью их повторного использования (рис. 6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Состояние и перспективы развития производства ортофосфорной кислоты за рубежом / *А.В. Гриневич* [и др.] // Бюл. «Мир серы, азота, фосфора и калия». 2001. №6. С. 7–13.
2. Очистка ЭФК из апатитового концентрата экстракцией три-*n*-бутилфосфатом / *А.В. Гриневич* [и др.] // Хим. пром-сть. 1986. №7. С. 405–407.
3. Очистка фосфорной кислоты трибутилфосфатом / *В.М. Лембриков* [и др.] // Хим. технология. 2004. №8. С. 4–8.
4. Свойства экстракционной системы фосфорная кислота из хибинского апатита – три-*n*-бутилфосфат / *В.М. Лембриков* [и др.] // Ж. неорг. химии. 2006. Т. 79, вып. 2. С. 198–202.
5. Экстракция фосфорной, серной и фтороводородной кислот из бинарных и тройных смесей изомерами октанола / *Е.К. Копкова* [и др.] // Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН. Апатиты, 2009. 22 с. – Рус. Деп. в ВИНТИ 01.07.09, № 424-В2009.
6. Физико-химические свойства экстрактов и взаимная растворимость фаз в экстракционной системе алифатические спирты $ROH(R=C_5-C_{10})$ –минеральная кислота (HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4) / *Е.А. Щелокова* [и др.] // СПб, 3–6 июня 2013 года. Ч. I. Апатиты. Изд. КНЦ РАН, 2013, 246 с. С.279–282.
7. Высокомолекулярные алифатические спирты- перспективные экстрагенты для выделения и глубокой очистки экстракционной фосфорной кислоты / *Е.А. Щелокова* [и др.] // Материалы научно-практической конференции «Наука и образование – 2007» Научно-практические проблемы химии и технологии комплексного использования минерального сырья Кольского п-ова, Апатиты, 8–10 апреля 2007 г. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. С.1–6.
8. Экстракция минеральных кислот одноатомными высокомолекулярными алифатическими спиртами и перспективы ее практического использования / *Е.К. Копкова* [и др.] // «Химическая технология»: сборник тезисов докладов Международной конференции по химической технологии ХТ' 07. Т.3 / под ред. А.А. Вошкина, А.И. Холькина. М.: ЛЕНАНД, 2007. С. 150–152.
9. Золотов Ю.А. Экстракция галогенидных комплексов металлов / *Ю.А. Золотов, Б.З. Иоффа, Л.К. Чучалин*. М.: Наука, 1973. 378 с.
10. Николотова З.И. Экстракция нейтральными экстрагентами. Справочник по экстракции / *З.И. Николотова, Н.А. Карташова*. М.: Атомиздат, 1976. 245 с.
11. Вайсберг А. Органические растворители / *А. Вайсберг, Э. Проскауэр, Дж. Риддин*. М.: Иностран. лит-ра, 1958. 520 с.
12. Казыцына Л.А. Применение УФ-, ИК- и ЯМР- спектроскопии в органической химии / *Л.А. Казыцына, Н.Б. Куплетская*. М.: Изд-во «Высшая школа», 1966 263 с.
13. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Изд-во Иностран. лит-ры, 1963. 590 с.
14. Атлас инфракрасных спектров фосфатов. Ортофосфаты. М.: Изд-во «Наука», 1981. 247 с.
15. Золотов Ю.А. Гидратация и сольватация экстрагирующихся кислот и солей // Успехи химии. 1963. Т. 32, № 2. С. 220–238.
16. О гидратации и сольватации сильных кислот / *Серякова И.В.* [и др.] // Ж. неорганической химии. 1963. Т. 8, № 2. С. 474–480.
17. Даймонд Р.М. Экстракция неорганических соединений / *Р.М. Даймонд, Г.Д. Так*. М.: Госхимиздат, 1963. 88 с.
18. Marcus Y. Ion exchange and solvent extraction of metal complexes. London: Wiley- Interscience / *Y. Marcus, A.S. Kertes*. 1969. 1037 с.
19. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Изд-во «Химия», 1967. 390 с.

Сведения об авторах:

Кадырова Галиябану Измайловна – к.х.н., старший научный сотрудник;
e-mail: info@chemy.kolasc.net.ru

Копкова Елена Константиновна – к.т.н., старший научный сотрудник
e-mail: kopkova@chemy.kolasc.net.ru

Щелокова Елена Анатольевна – младший научный сотрудник; e-mail: info@chemy.kolasc.net.ru

Громов Петр Борисович – к.т.н., зав. лабораторией, зам. директора по научной работе;
e-mail: gromov@chemy.kolasc.net.ru

КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА УСТОЙЧИВЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ЧАСТИЦ В РАСПЛАВАХ ГАЛОГЕНИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

В.Г. Кременецкий, С.А. Кузнецов

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

Аннотация

Основная цель работы – квантовохимическое обоснование существования в расплавах галогенидов щелочных металлов устойчивых комплексных частиц, образованных галогенидным комплексом переходного металла и внешнесферной оболочкой определенного состава. Новизна подхода, использованного в данной работе, заключается в прямом расчете энергий взаимодействия фрагментов второй координационной сферы как с самим комплексом, так и с внешним окружением фрагмента данного состава.

В качестве примера использованы расширенные модельные системы $M_3CrCl_6+18MCl$ ($M - Na, K$), для которых квантовохимическими методами получены оптимизированные структуры и энергии. На основании этих данных и дополнительных расчетов, относящихся к фрагментам указанных систем, сделан вывод об образовании в этих системах устойчивых частиц "комплекс плюс внешнесферная оболочка".

Ключевые слова:

хлоридный комплекс хрома, DFT-расчеты, стабильные частицы в расплаве, энергия взаимодействия фрагментов.



Введение

Ранее было обнаружено, что при квантовохимических исследованиях модельных систем $nM^+ \cdot [NbF_7]$, $nM^+ \cdot [NbCl_6]$, $nM^+ \cdot [CrCl_6]$ ($M - Na, K, Cs$; $n=1 \div n_{lim}$), включающих в себя анионный комплекс с внешнесферной (ВС) катионной оболочкой, наибольшей термодинамической устойчивостью обладают составы с некоторым промежуточным числом ВС катионов $n_{max} < n_{lim}$, где n_{max} – число ВС катионов в составе комплекса, обладающего максимальной устойчивостью; n_{lim} –

предельное количество ВС катионов, удерживаемых данным комплексом [1–7]. Иначе говоря, квантовохимические расчеты указывают, что наиболее стабильные – отнюдь не те частицы, состав второй координационной сферы (КС) которых равен или близок к предельному в кристаллохимическом отношении. Полученные выводы были подкреплены сопоставлением расчетных энергий активации с экспериментальными константами скорости переноса заряда для ряда электрохимических систем. Оказалось, что соотношение величин энергий активации в ряду ВС катионов $Na-K-Cs$, соответствующее электрохимическим данным, наблюдается для максимально устойчивых составов либо таких составов, которые имеют по сравнению с ними на один-два ВС катиона больше. Но никогда соответствие экспериментальных и квантовохимических данных не наблюдается для составов с $n < n_{max}$.

Встает вопрос: почему подобные – достаточно простые – модельные системы обеспечивают качественно верное соотношение энергий активации переноса заряда? Является ли это результатом компенсации целого ряда погрешностей, обусловленных несовершенством моделей, или же модельные системы данного уровня отражают некоторые существенные особенности реальных расплавов? От ответа на этот принципиальный вопрос зависит отношение как к полученным частным выводам, так и к развиваемому подходу в целом.

В качестве примера в данной работе, наряду с модельными системами традиционного состава $nM^+ \cdot [CrCl_6]^{3-}$ (системы типа **I**), рассмотрены расширенные системы $M_3CrCl_6+18MCl$ (системы типа **II**), где $M - Na, K$; n – число ВС катионов комплекса $[CrCl_6]^{3-}$ в системе **I** или в соответствующем фрагменте системы **II**. Количество ионов электролита в системе **II** достаточно для

заполнения второй и третьей КС хрома, определяющих специфику взаимодействия иона-комплексобразователя с внешним окружением. Более удаленные координационные сферы, обладая симметрией, близкой к сферической, не оказывают специфического влияния на внутренние взаимодействия частицы, состоящей из комплекса и внешнесферной оболочки.

Переход от модельных систем типа **I** к системам **II** открывает новые возможности для анализа, позволяя, в частности, ответить и на поставленный вопрос. Новизна данной работы заключается в использовании одной из таких возможностей, а именно, в реализации прямого расчета энергии взаимодействия фрагментов второй КС как с комплексом, так и с внешним окружением фрагмента данного состава.

Расчетные методы

Оптимизация структур проведена с помощью пакета квантовохимических программ Firefly [8], частично основанного на кодах программы GAMESS(US) [9], методами теории функционала плотности (DFT/UHF) с использованием гибридного функционала B3LYP. Для атомов Cr, Na, K использован полноэлектронный базис WTBS, для атомов F, Cl – стандартный базис 6-311++G(2d,2p) [10, 11]. Все приведенные данные соответствуют истинным минимумам на поверхности потенциальной энергии (отсутствуют мнимые частоты в колебательном спектре).

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены зависимости энергии образования внешнесферной катионной оболочки E_{os} в системах **I** и **II**, рассчитанные по соотношению (1):

$$E_{os} = E(S) - E(com) - nE(M^+), \quad (1)$$

где $E(S)$, $E(com)$, $E(M^+)$ – энергии системы **I** (или аналогичного фрагмента системы **II**) и свободных комплекса $[CrCl_6]^{3-}$ и катиона M^+ , соответственно.

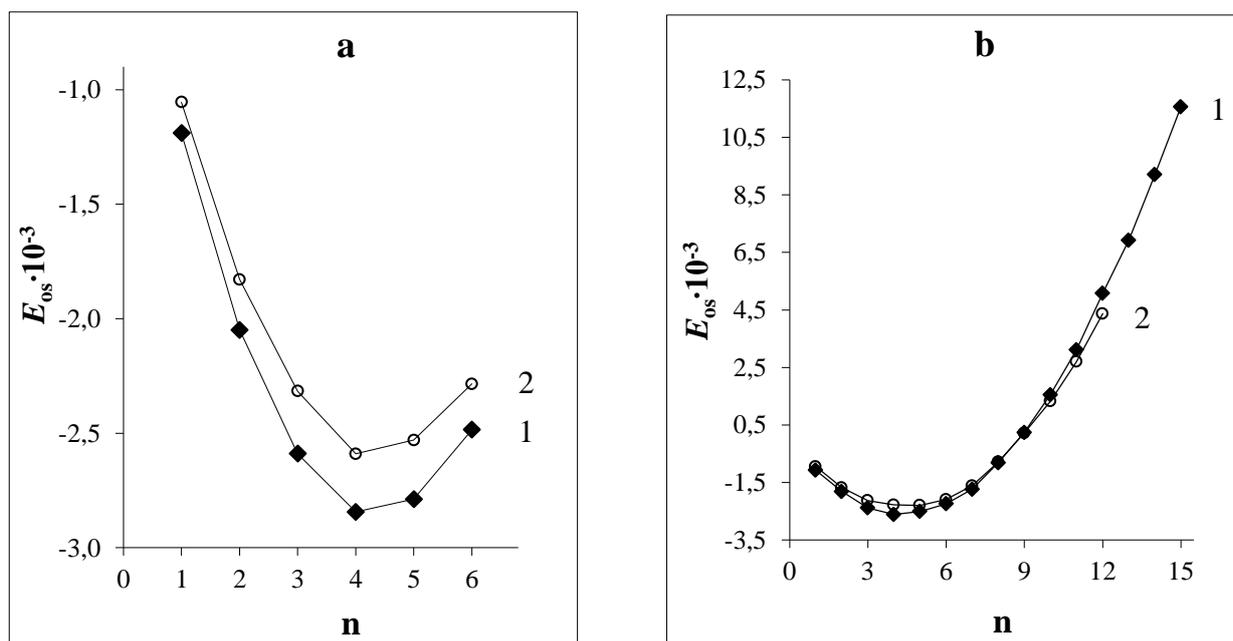


Рис. 1. Зависимость энергии образования внешнесферной катионной оболочки E_{os} комплекса $[CrCl_6]^{3-}$ от числа ВС катионов n : **a** – в системе **I**; **b** – в системе **II**; 1– Na, 2– K (кДж/моль)

Данный тип зависимости всегда имеет минимум при некотором промежуточном значении n_{min} . Наличие минимума в основном обусловлено возрастанием отталкивания ВС катионов с увеличением их числа. Состав системы в точке n_{min} наиболее устойчив. В данном случае

для системы $In_{\min}=4$ как для Na, так и для K (рис. 1а), ближайший по энергии состав имеет $n=5$. Максимальное число ВС катионов, удерживаемое комплексом хрома в системе **I**, равно 6.

На рис. 1b представлена зависимость энергии образования внешнесферной катионной оболочки E_{os} для аналогичных фрагментов системы **II**. Несмотря на то, что вторая КС здесь содержит 15 катионов в Na-системе и 12 катионов в K-системе, энергетический минимум соответствует $n_{\min}=4$ и 5 в Na- и K-системах соответственно, причем для последней ближайшим по энергии к составу, соответствующему минимуму, является состав с $n=4$.

Таким образом, *существенного смещения минимума при переходе от систем I к системам II не произошло*. Это объясняет соответствие (на качественном уровне) расчетных параметров, полученных в системах типа **I**, их экспериментальным аналогам и позволяет рассматривать выводы, основанные на исследовании систем **I**, в качестве обоснованной первичной оценки.

Тем не менее, контрольный расчет структуры систем **II** желателен, так как дает возможность в некоторых специфических случаях выявить изменение состава *первой* лигандной оболочки атома-комплексобразователя вследствие взаимодействия с внешним окружением исходного комплекса, содержащегося в системе **II**[12]. На рис. 2 приведены примеры модельных структур **I** и **II** типов Na-систем.

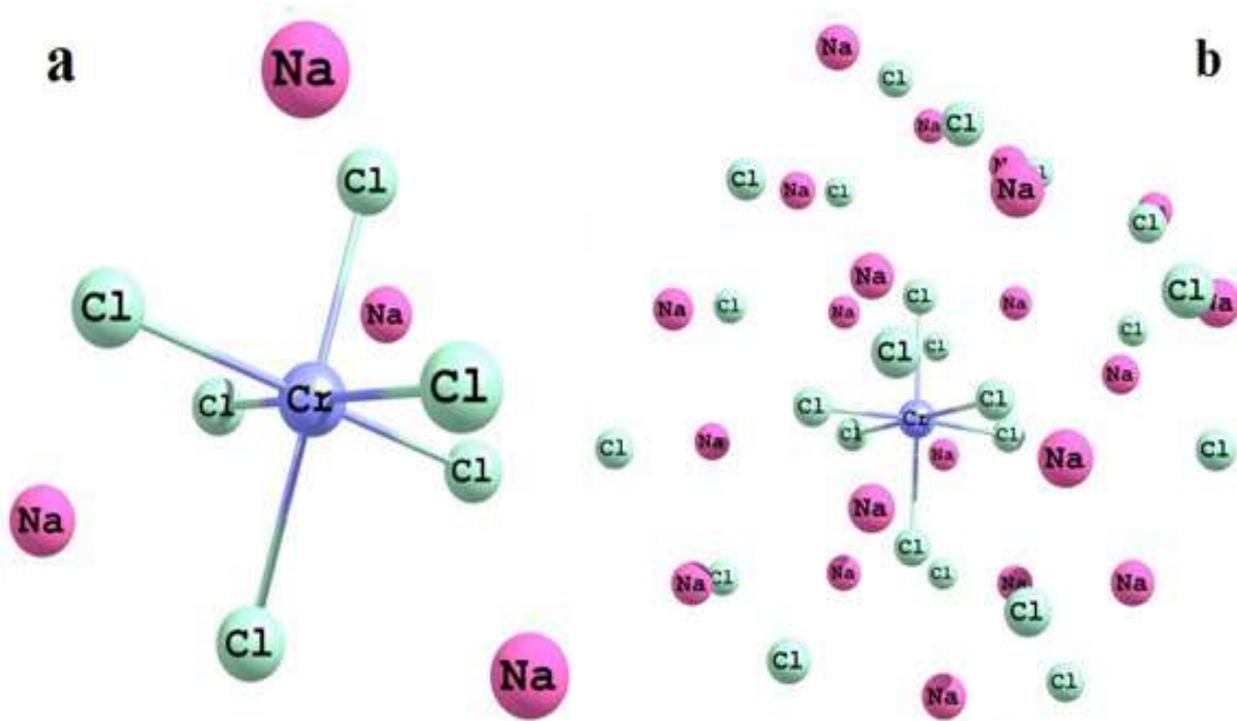


Рис. 2. Оптимизированные структуры $4Na^+ \cdot [CrCl_6]^{3-}$ (а) и $Na_3CrCl_6 + 18MCl$ (b)

В отличие от систем типа **I**, в системах **II** становится возможным прямой расчет энергий взаимодействия внешнесферной оболочки с комплексом и остальной частью системы. Если энергия взаимодействия ВС оболочки с комплексом превышает энергию ее взаимодействия с внешним окружением, можно говорить о наличии в системе такого динамического равновесия, которое обеспечивает существование достаточно стабильных комплексных частиц определенного ВС состава. Необходимые расчетные данные представлены ниже.

На рис. 3а приведена зависимость энергии взаимодействия $E_{int}(p)$ фрагмента $nM^+ \cdot [CrCl_6]^{3-}$ с внешним окружением от числа ВС катионов n (система **II**). Энергия этого взаимодействия минимальна (по модулю) при $n=3$.

Таким образом, состав указанного фрагмента, при котором его взаимодействие с окружением минимально ($n=3$), близок к наиболее устойчивым составам ($n=4, 5$).

Наконец, рассмотрим зависимость величины ΔE , представленную на рис. 3б. Она получена следующим образом. Вначале рассчитаны два типа энергии взаимодействия ВС катионной оболочки (M_n): 1) энергия взаимодействия с комплексом $E_{\text{int}}(M_n \cdot \text{com})$; 2) энергия взаимодействия с оставшейся частью системы $\Pi E_{\text{int}}(M_n \cdot \text{rest})$. Приведенная на рис. 3б величина ΔE равна разности этих энергий:

$$\Delta E = E_{\text{int}}(M_n \cdot \text{rest}) - E_{\text{int}}(M_n \cdot \text{com}) \quad (2)$$

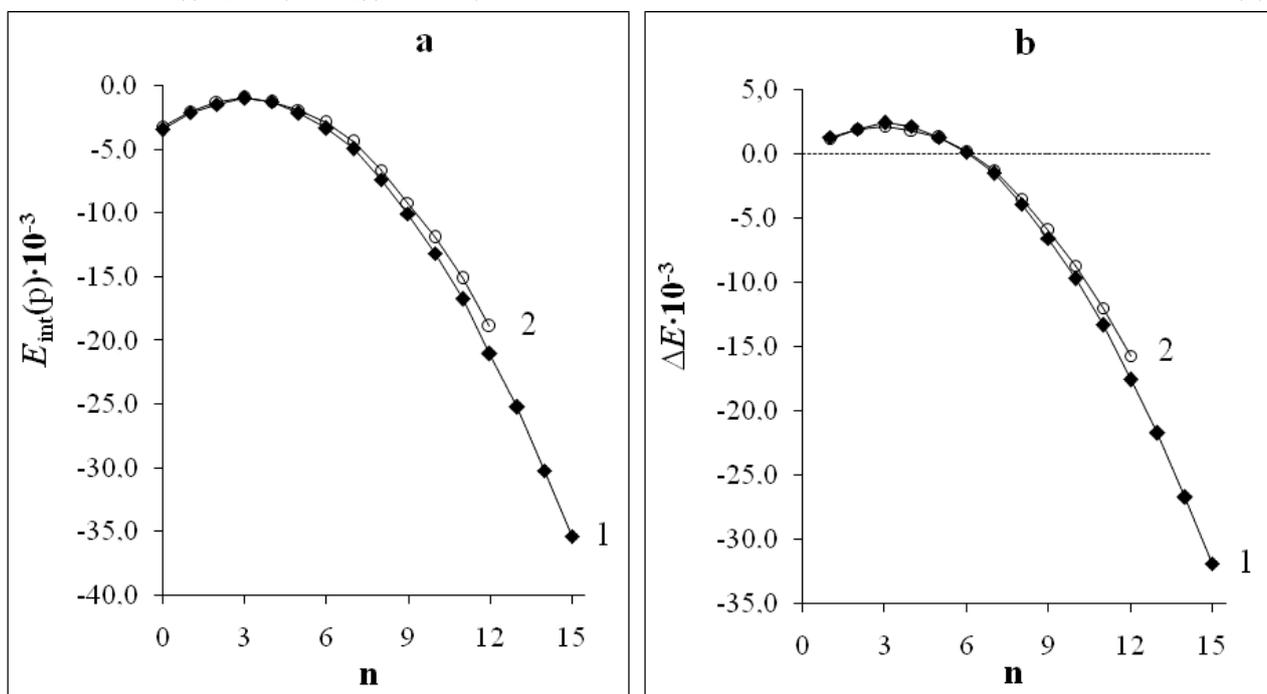


Рис. 3. Зависимости энергий $E_{\text{int}}(p)$ (а) и ΔE (б) от числа ВС катионов фрагмента $nM^+ \cdot [CrCl_6]^{3-}$; 1 – Na, 2 – K (кДж/моль)

Как видно из рис. 3, в интервале $n=1-6$ энергия связи катионной оболочки (M_n) с комплексом больше, чем с внешним окружением.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы. Наиболее устойчивыми, а значит, доминирующими в системе Π являются составы фрагмента $nM^+ \cdot [CrCl_6]^{3-}$ с $n=4, 5$, как это вытекает из рис. 1б. Согласно рис. 3б такие фрагменты следует считать единой частицей, относительно слабо связанной с внешним окружением (рис. 3а). Состав фрагментов, обладающих максимальной устойчивостью, совпадает или близок к составу наиболее стабильных частиц в системах I .

Таким образом, в данной работе впервые получены доказательства существования в расплавах галогенидов щелочных металлов устойчивых комплексных частиц, основанные не на косвенных данных (оставляющих, как правило, определенную свободу для альтернативных интерпретаций), а на прямом квантовохимическом расчете соответствующих взаимодействий.

Выводы, полученные при анализе аналогичной пары систем – $nM^+ \cdot [CrF_6]^{3-}$ и $M_3CrF_6 + 18MCl$, полностью совпадают с приведенными.

В заключение заметим, что речь, конечно же, не идет о существовании в расплаве частиц с жесткой геометрической структурой. Динамический процесс межионного обмена энергией вызывает постоянные деформации, разрушение одних структурных связей и образование других. Но среднестатистически доминирующие составы частиц "комплекс плюс ВС оболочка" должны быть близки к вышеупомянутым. Это подтверждают, в частности, и результаты работ [1–7].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 11-03-00280-а) и Фонда содействия отечественной науке и Совета по грантам при Президенте Российской Федерации по поддержке ведущих научных школ (НШ-1937.2012.3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Необычное влияние второй координационной сферы на стандартные константы скорости переноса заряда редокс_пары Nb(V)/Nb(IV) в хлоридно-фторидных расплавах / С.А. Кузнецов [и др.] // ДАН. 2009. Т. 428, № 6. С. 770–773.
2. Квантовохимический подход к оценке состава устойчивых комплексных частиц в расплавах галогенидов щелочных металлов / В.Г. Кременецкий [и др.] // ДАН. 2011. Т. 437, № 6. С. 782–784.
3. Кременецкий В.Г. Влияние внешнесферной оболочки на параметры комплексов ниобия: квантовохимический расчет / В.Г. Кременецкий, О.В. Кременецкая, А.Д. Фофанов // Расплавы. 2011. № 3. С. 33–37.
4. Yu.V. Stulov Effect of the Second Coordination Sphere on the Standard Rate Constants of Charge Transfer for the Cr(III)/Cr(II) Redox Couple in Chloride Melts / Yu.V. Stulov, V.G. Kremenetsky, S.A. Kuznetsov // ECS Transactions. 2012. Vol. 50, № 11. P. 135–152.
5. Stulov Yu.V. Influence of the Second Coordination Sphere on the Electrochemical Behavior of Chromium Complexes in Chloride Melts: Experimental and Calculation Methods / Yu.V. Stulov, V.G. Kremenetsky, S.A. Kuznetsov // Int. J. Electrochem. Sci. 2013. Vol. 8. P. 7327–7344.
6. Квантово-химическое обоснование образования устойчивых комплексных частиц в расплавах галогенидов щелочных металлов / В.Г. Кременецкий [и др.] // ДАН. 2013. Т. 452, № 3. С. 290–293.
7. Стандартные константы скорости переноса заряда редокс пары Nb(V)/Nb(IV) в хлоридно-фторидных расплавах: экспериментальные и расчетные методы / А.В. Попова [и др.] // Электрохимия. 2010. Т. 46, № 6. С. 714–722.
8. Granovsky A.A. Firefly version 7.1.G. // URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/games/index.html>.
9. General Atomic and Molecular Electronic Structure System / M.W. Schmidt [et al.] // J. Comput. Chem. 1993. Vol. 14. P. 1347–1363.
10. Feller D.J. Basis Set Exchange: A Community Database for Computational Sciences // Comp. Chem. 1996. Vol. 17. P. 1571–1586.
11. A Community Database for Computational Sciences / K.L. Schuchardt [et al.] // J. Chem. Inf. Model. 2007. Vol. 47. P. 1045–1052.
12. Ab initio estimation of NbF₆⁻, NbClF₆²⁻ and NbF₇²⁻ complexes stability in alkali chloride melts / V.G. Kremenetsky [et al.] // Z. Naturforsch. 2010. Vol. 65a. P. 1020–1026.

Сведения об авторах

Кременецкий Вячеслав Георгиевич – к.х.н., с.н.с.; e-mail: kreme_vg@chemy.kolasc.net.ru

Кузнецов Сергей Александрович – д.х.н., зав. лабораторией высокотемпературной химии и электрохимии; e-mail: kuznet@chemy.kolasc.net.ru

УДК 550.383

СОБЫТИЕ СМЕ (КОРОНАЛЬНЫЙ ВЫБРОС МАССЫ) 24.01.2012 ПО НАЗЕМНЫМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Т.А. Корнилова, И.А. Корнилов

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты

Аннотация

Анализировался эффект импульсного воздействия на спокойную магнитосферу скачка давления солнечного ветра 24.01.2012 в 15.04 UT, вызванного солнечным корональным выбросом. Использовались наземные магнитные и телевизионные данные, а также данные спутников, расположенных в магнитосфере и солнечном ветре (ACE, WIND, GEOTAIL, THEMIS). Практически одновременно со сжатием магнитосферы обнаружено появление слабых субвизуальных сияний в Ловозере и, с задержкой около 7 мин., активизация сияний в Баренцбурге. Вывод – наблюдаемая задержка является характерным временем перестройки токовых систем магнитосферы.

Ключевые слова:

корональный выброс массы, солнечный ветер, магнитосфера, аврора.



Введение

Корональный выброс массы, так называемый СМЕ (coronal mass ejection), представляет собой мощное взрывное явление в атмосфере Солнца. Если во время солнечных вспышек накопленная в активных областях Солнца магнитная энергия высвобождается в основном в виде электромагнитного излучения различных диапазонов (гамма и рентгеновское излучение, видимый свет и радиоволны), то в событиях СМЕ почти вся энергия расходуется на ускорение

больших масс вещества. Происходит перенос в межпланетное пространство огромного количества плазмы (в основном это электроны с энергией 100–200 эВ и протоны – около 1 кэВ), кинетической

энергии и магнитного потока [1–4]. Захваченная в магнитное облако плазма распространяется со скоростью около 1 тыс. км/с и, достигая орбиты Земли, является главным фактором космической погоды, оказывая очень существенное влияние на околоземное пространство и условия жизни на планете. Среди основных эффектов СМЕ можно отметить магнитные бури, полярные сияния, нарушения в работе космического и наземного электрооборудования, угрозу здоровью космонавтов, ухудшение условий распространения радиоволн, изменение погоды, обострение сердечно-сосудистых заболеваний и т.д. В данной работе исследуются некоторые наземные проявления события коронального выброса массы 24.01.2012.

Наблюдения

На рис. 1 представлены наблюдения магнитного облака спутниками ACE, WIND, THEMIS и GEOTAIL. Координаты спутников в горизонтальной плоскости магнитосферы представлены в правой части рисунка. Круг схематически демонстрирует местоположение Земли, светлая часть соответствует освещенной Солнцем дневной стороне, темная – ночной.

Видно, как магнитное облако постепенно приближается к Земле. Компонента V_z межпланетного магнитного поля (показана только для спутника GEOTAIL, остальные идентичны) долгое время была положительной (8), т.е. магнитосфера была спокойной, полярная шапка сжатой, и овал был смещен на север. Спутники находились в солнечном ветре, перед магнитосферой, исключение составлял ThemisA (4), который первоначально был внутри магнитосферы, но после сжатия ее магнитным облаком оказался в солнечном ветре.

Спутник GEOTAIL (5–8) регистрирует увеличение скорости солнечного ветра от 400 км/с в спокойных условиях до 700 км/с в магнитном облаке (7). Также отмечается резкое увеличение давления плазмы (6). После столкновения с магнитным облаком произошло сильное сжатие магнитосферы – ее лобовая точка приблизилась к Земле с расстояния 15 R_E (15 земных радиусов) до 10 R_E .

На рис. 2 – результаты измерений наземного магнитного поля на различных станциях, расположенных во всем интервале широт – от северной Канады до Антарктиды. На рисунках отмечены географические координаты станций – широта и долгота. Все станции отмечают характерный, совершенно одновременный скачок магнитного поля, соответствующий моменту сжатия магнитосферы. Хорошо видно, что импульсное сжатие магнитосферы приводит к возбуждению резонансных колебаний силовых линий земного магнитного поля, что проявляется в виде затухающего цуга магнитных пульсаций. Так как длина силовых линий для более южных станций уменьшается, период пульсаций растет с широтой, а зависимость от долготы, естественно, отсутствует (нижняя часть рисунка).

На рис. 3 представлены кеограммы сияний в Баренцбурге (1) и Ловозере (2). Ниже (3 и 4) показаны вариации интегральной яркости (нормированная сумма всех элементов телевизионного кадра). Хотя обе камеры не имели интерференционных фильтров и, значит, не имели абсолютной калибровки чувствительности, грубое сопоставление интенсивностей сияний, основанное на сравнении яркостей звезд, показывает, что яркость сияний в Баренцбурге была больше, чем в Ловозере в 60–80 раз. Очень слабые, почти субвизуальные сияния в Ловозере начинают регистрироваться практически одновременно (задержка не более 20–30 сек.) с регистрацией принесенных СМЕ электронов (а также и протонов) спутником ThemisA (5) и с моментом резкого увеличения наземного магнитного поля (6). Далее сияния становятся ярче и постепенно затухают, оставаясь наиболее яркими на северной границе поля зрения камеры (15:05–15:15 UT). На кеограмме Ловозера (2) отдельным фрагментом, подвергнутым высокочастотной пространственной фильтрации для выделения слабых субвизуальных деталей (2а), отображен начальный интервал активизации сияний, отмеченный белой горизонтальной чертой на основной кеограмме.

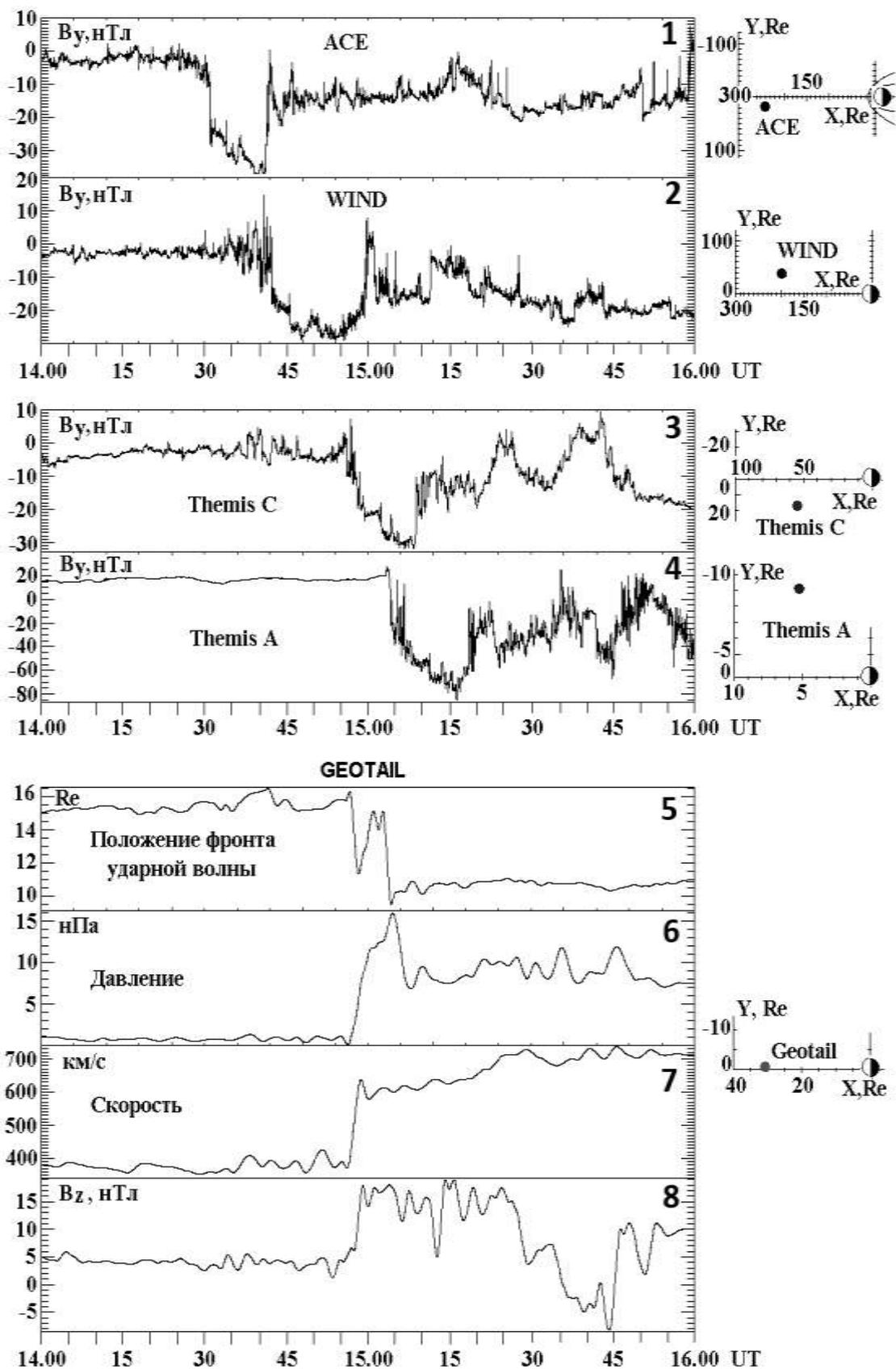


Рис. 1. Спутниковые наблюдения в солнечном ветре

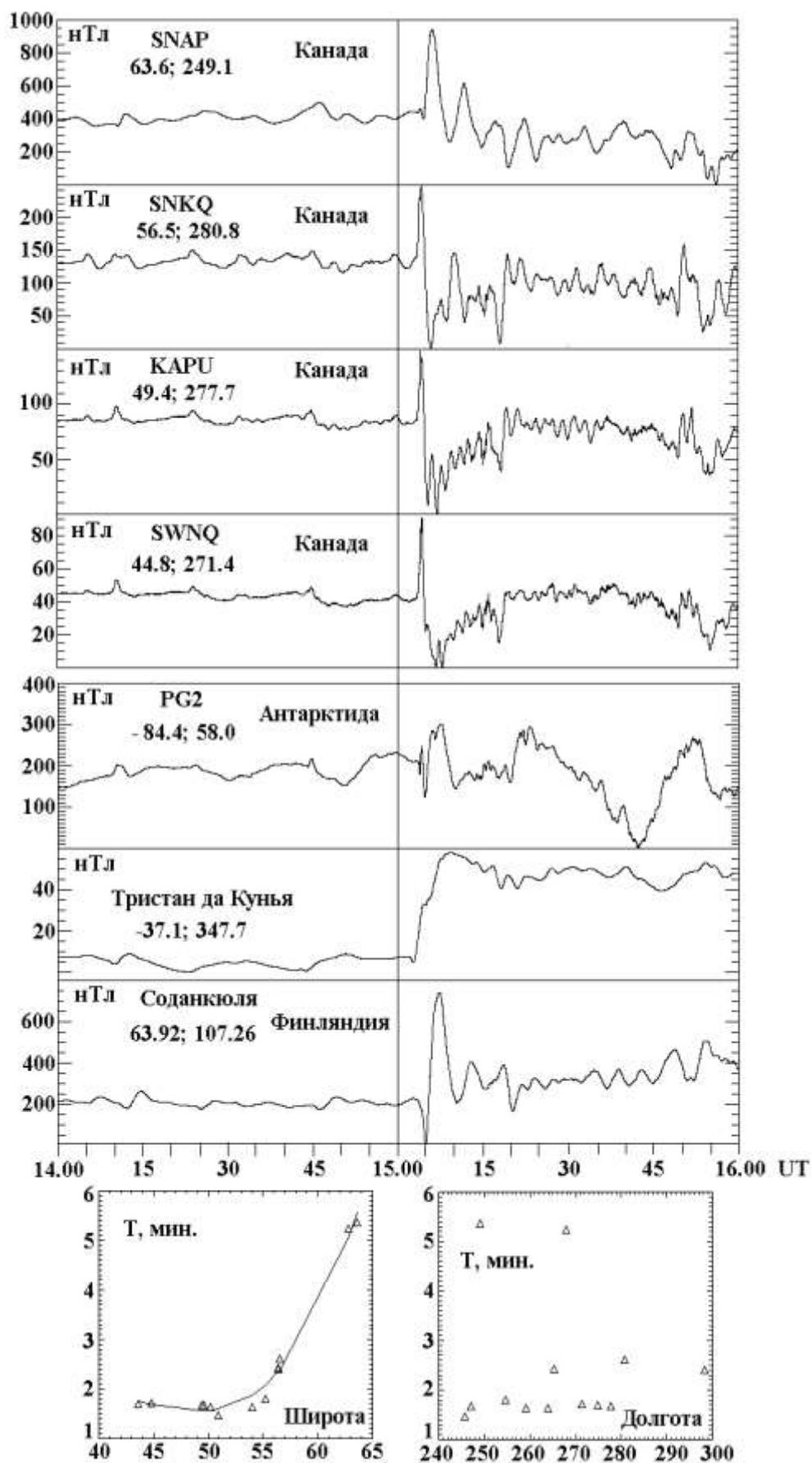


Рис. 2. Вариации наземного магнитного поля

Хорошо видно, что свечение с очень большой скоростью (около 50 км/с) распространяется с юга на север. Можно предложить простое физическое объяснение наблюдаемого эффекта. Быстрое сжатие магнитосферы приводит к высыпаниям в ионосферу ранее захваченных частиц внешнего радиационного пояса, причем во всем диапазоне широт одновременно (что подтверждается также одновременными вариациями магнитного поля на всех широтах). Тогда движение свечений к северу отражает разницу во времени движения (разная длина силовых линий магнитного поля) высыпающихся электронов радиационного пояса от экваториальной плоскости магнитосферы до ионосферы, которое различно для разных широт и, соответственно, для разноудаленных областей магнитосферы.

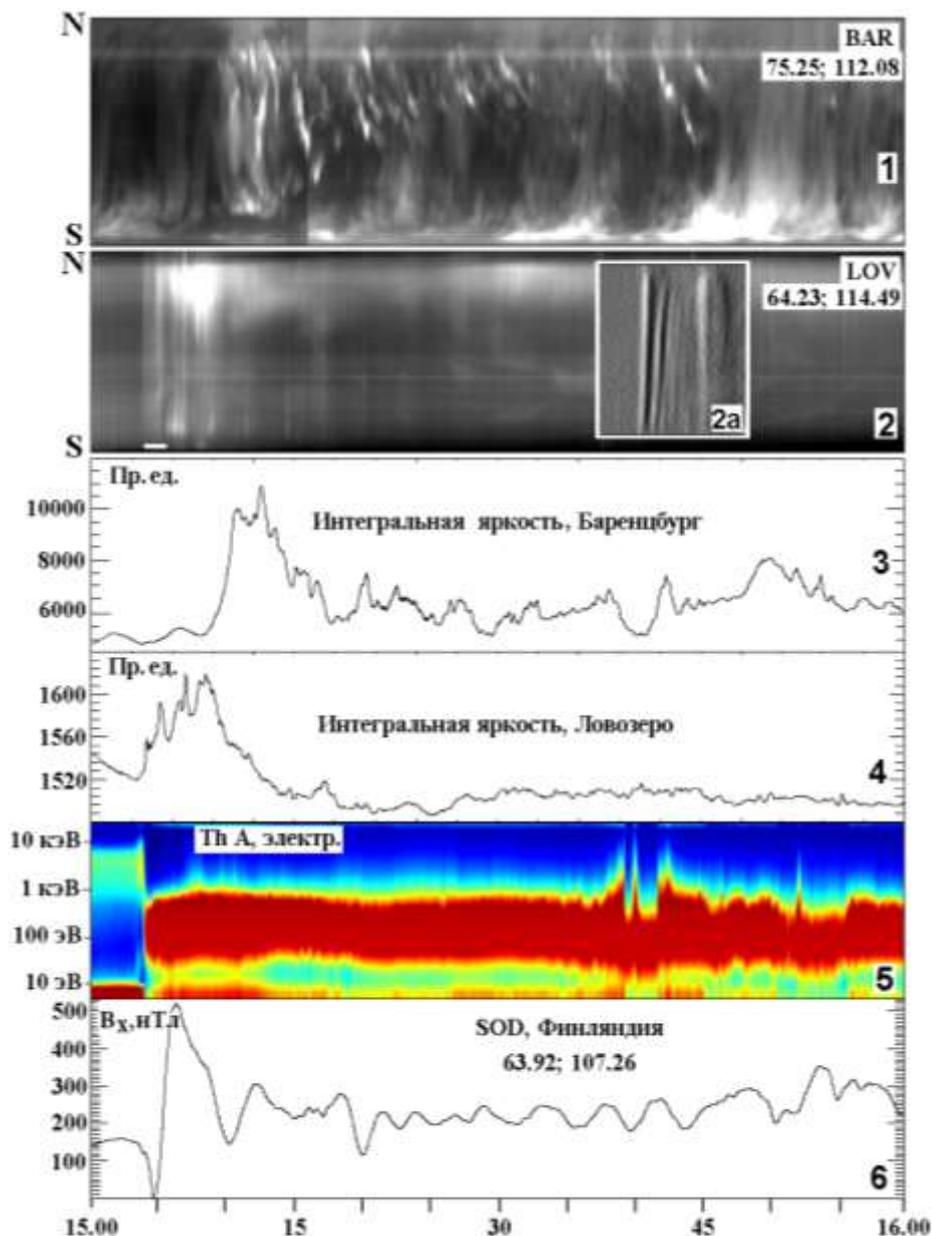


Рис. 3. Координаты сияний в Баренцбурге (1) и в Ловозере (2).
Интегральная яркость сияний (3, 4). Спектр электронов – ThemisA (5) и Vx компонента магнитного поля (6) в Соданкюля (Финляндия)

Сияния в Баренцбурге (1) активизируются на 7–8 мин. позже сияний в Ловозере, они очень активны и занимают все поле зрения камеры. Южная часть поля зрения занята периодически усиливающимся туманом. После 15:15 UT сияния состоят из отдельных активизаций, возникающих на

севере и смещающихся к югу со скоростью около 1–1.5 км/с. Можно предположить, что продолжающееся давление солнечного ветра вызывает импульсные пересоединения в хвосте магнитосферы и задержка активизации сияний в Баренцбурге фактически является сжатой до 7 мин. предварительной фазой суббури.

Выводы

Зарегистрировано очень редкое явление – воздействие СМЕ на совершенно спокойную магнитосферу, таким образом, эффект воздействия можно было наблюдать «в чистом виде». При этом отчетливо проявились несколько физических явлений, которые практически невозможно обнаружить при воздействии СМЕ на возмущенную магнитосферу. В частности:

- отчетливо проявились резонансные колебания силовых линий магнитного поля;
- хорошо виден оптический эффект высыпания в ионосферу электронов радиационного пояса;
- обнаружилась 7-минутная задержка появления сияний в Баренцбурге, что, по-видимому, является характерным временем перестройки токовых систем магнитосферы.

Авторы благодарны сотрудникам ПГИ КНЦ РАН за проведение телевизионных и магнитных наблюдений в обсерваториях Ловозеро, Лопарская и Туманный. Данные по межпланетному магнитному полю и плазме солнечного ветра взяты на сайте http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/, магнитные данные скандинавской сети на сайте <http://www.ava.fmi.fi/image/jpg>.

Работа поддержана Р^ФФИ, грант 12-05-00273.

Программами № 4 и № 22 Президиума Российской академии наук.
Норвежским грантом NORUSCA 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Coronal mass ejections and large geomagnetic storms / *J.T. Gosling, S.J. Bame, D.J. McComas, J.L. Phillips* // *Geophys. Res. Lett.* 1990. Vol. 17. P. 901. 2. *Gosling J.T.* Corotating and transient solar wind flows in three dimensions // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 1996. V. 34. P. 35. 3. *Gosling J.T.* Coronal mass ejections: An overview, in *Coronal Mass Ejections. Geophys. Monogr. Ser.*, edited by N. Crooker, J. A. Joselyn, and J. Feynman, Washington, D. C. AGU. 1997. Vol. 99. P. 9. 4. *Hundhausen A.J.* The Many Faces of the Sun: A Summary of the Results From NASA's Solar Maximum Mission, edited by K. T. Strong et al., Springer, New York. 1999. P. 143.

Сведения об авторах

Корнилова Татьяна Андреевна – к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник; e-mail: kornilova@pgia.ru

Корнилов Илья Александрович – к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник; e-mail: kornilov@pgia.ru

ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТОВОСПРИЯТИЯ У СЕРЫХ ТЮЛЕНЕЙ

Д.Г. Ишкулов, А.Л. Михайлюк, М.В. Пахомов

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН

Аннотация

Одним из наиболее эффективных методов охраны морских объектов и прибрежной инфраструктуры является создание биотехнических систем двойного назначения. Основным функциональным элементом биологической составляющей данных систем целесообразнее всего использовать серых тюленей. Для отработки новых методов противодействию подводным диверсантам, поиску и подъему затонувших и дрейфующих объектов необходимы знания о цветовосприятии тюленей. В научной литературе данные о цветовом зрении настоящих тюленей фрагментарны и носят, в основном, теоретический характер, данные о цветовосприятии серых тюленей в научной литературе фактически не представлены. Приводятся результаты эксперимента с серыми тюленями, в ходе которого исследовалась способность этих животных дифференцировать спектральные цвета друг от друга и от их монохромных аналогов. Эксперимент показал наличие хорошо развитого цветового зрения у представителей данного вида.

Ключевые слова:

серый тюлень, цветовое зрение, биотехнические системы.



В последние 10-летия как в России, так и за рубежом всё активнее развиваются проекты по созданию биотехнических систем (БТС), связанных с использованием морских млекопитающих. Морские млекопитающие обладают рядом уникальных свойств. Так, китообразные имеют высокочувствительную гидро-локацию, эффективно распознающую подводные биологические и технические

объекты. Тюлени малочувствительны к электромагнитным колебаниям, шумовым и вибрационным полям, что позволяет размещать на них высокочувствительные средства получения информации, включая контроль путей их миграций со спутников [1].

Естественно, что при создании подобных БТС необходимо всесторонне изучение биологии, физиологии и особенностей поведения животных, являющихся ее компонентами. Это позволяет определить виды морских млекопитающих, оптимально подходящих для выполнения тех или иных задач.

Одним из наиболее важных вопросов, стоящих перед исследователями, становится изучение сенсорных систем животных. Поскольку именно благодаря им животные способны успешно выполнять такие задачи, как поиск и обнаружение подводных объектов, идентификация объектов по принципу свой–чужой, не говоря уже о том, что использование различных типов раздражителей позволит оптимизировать тренировочный процесс и даст тренеру новые инструменты для дрессировки животных.

С середины 1980-х гг. Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН (директор – акад. Г.Г. Матишов) проводит научно-прикладные работы по подготовке морских млекопитающих к выполнению специальных задач. Впервые в практике научно-прикладных разработок в качестве объектов исследования и служебного применения рассматриваются аборигенные арктические виды ластоногих – представители настоящих тюленей (ранее в ВМС США и ВМС России использовались только китообразные и ушастые тюлени – морские львы и котики) [2, 3].

Одна из задач, которая решается на биотехническом акваполигоне Института в г. Полярном (рис. 1), – исследования сенсорных систем настоящих тюленей и, в частности, изучение способности животных проводить опознание объектов по цветовому признаку.



Рис. 1. Биотехнический акваполигон ММБИ в г. Полярный

Цветовое зрение – способность животного различать световые излучения по спектральному составу независимо от их интенсивности. Эта способность обеспечивается наличием в сетчатке двух (и более) типов зрительных рецепторов с разной спектральной чувствительностью (приемников) и специальных нервных клеток (в сетчатке и мозговых зрительных центрах), обрабатывающих сигналы от этих приемников. Животное с одним типом рецепторов не может различать цвета (так называемые ахроматы), все излучения для него уравниваются по интенсивности. Таким образом, если животное способно отличать хроматический цвет от аналогичного по светлоте ахроматического, то это свидетельствует о наличии у животного аппарата цветового зрения [4].

Цели и задачи

Основной целью изучения цветового зрения ластоногих является получение ответа на вопрос: возможно ли выработать у тюленя устойчивый условный рефлекс, используя в качестве раздражителя колориметрические характеристики объекта (цвет, раскраска, текстура и т.д.).

В ходе предыдущих работ, проводимых совместно со специалистами из Института аридных зон ЮНЦ РАН, установлено, что ластоногие способны дифференцировать объекты по цветовому признаку как в воздушной среде, так и в водной при достаточном освещении [5]. Однако оставался открытым вопрос, какой механизм дифференцировки используют тюлени: высокочувствительное ахроматическое зрение или цветовое.

В данной работе ставилась задача исследовать способность серых тюленей дифференцировать пять основных хроматических цветов друг от друга и от ахроматических цветов, аналогичных им по светлоте. Для этого необходимо было сначала обучить тюленей поиску и маркировке объекта, что уже сделано на предыдущем этапе [5]. Во-вторых, обучить дифференцировке объектов по цветовому признаку. В случае, если животное не способно отличить цвет от его ахроматического аналога, то можно предположить, что тюлень при дифференцировке данного цвета от других цветов не использует цветовое зрение, а ориентируется либо по светлоте, либо по принципу «не такой, как другие».

Материалы и методы

В качестве исследуемых особей выступали 3 самки серого тюленя (*Halichoerus grypus Fabricius, 1791*). Возраст животных, участвующих в эксперименте, составлял 7 лет, тюлени прошли общий курс подготовки, ранее задействовались в экспериментальных и научно-практических работах. Все тюлени на момент начала исследования физически здоровы, имели высокий уровень пищевой мотивации, выученные команды выполняли четко, за годы тренировок у животных выработался полезный навык – «установка на обучение», что позволяло им достаточно быстро вырабатывать верный условно-рефлекторный ответ на предъявление нового стимула (рис. 2).

Каждая тренировка состояла из 20 предъявлений. Подкрепление осуществлялось фиксированными порциями размороженной мойвы – 50 г (2 рыбки). Если тюлень делал подряд три неправильных выбора, то эксперимент временно прекращали, тюленя подзывали на «таргет» (рис. 3), предъявляли команду из списка общей подготовки и за нее поощряли, затем эксперимент продолжался. Если в ходе эксперимента пищевая мотивация тюленя значительно

снижалась (тюлень совершал самовольные уходы со стартовой позиции, вместо исполнения команды «ищи» выполнялись другие команды или отплывал от тренера), то эксперимент прекращали, и его результаты не засчитывались.



Рис. 2. Серые тюлени: Соня, Бузя, Вета

В целом экспериментальная тренировка состояла из следующих элементов: тренер прикреплял таблички к штативу (рис. 3), опускал их в вольер, затем подзывал тюленя, тюлень занимал стартовую позицию и по команде отмечал касанием одну из табличек. Если выбор был верным, то следовало подкрепление. Затем штатив с табличками вынимался, и они менялись местами, либо оставались на месте. Манипуляции с табличками проводились таким образом, чтобы тюлень не мог видеть, изменилось ли взаимное расположение и цвета табличек, после чего цикл повторялся заново.

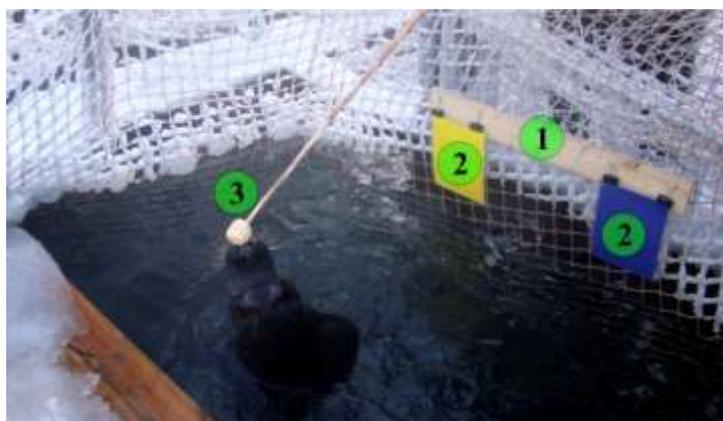


Рис. 3. Схема проведения эксперимента: 1 – штатив; 2 – таблички; 3 – таргет. Тюлень находится в стартовой позиции, ожидая команды тренера

Цвета табличек подобраны по стандартной таблице RGB, в редакторе изображений AdobePhotoshop. Монохромные аналоги цветов создавались путем перевода изображения соответствующего цвета в градации серого с последующей калибровкой параметра светлоты на дисплее, работающем в черно-белом режиме [6]. Всего использовано 5 стандартных цветов: красный (RGB #ff0000), желтый (RGB #ffff00), зеленый (RGB #00ff00), голубой (RGB #00ffff), синий (RGB #0000ff) и 5 их монохромных аналога. Изображения распечатывались на матовой фотобумаге (LOMOND Point Macro, 230 г/м²) формата А4 (210 x 297 см), печать осуществлялась на струйном принтере Epson Stylus Photo R800 (8-цветная система печати) в фотографическом качестве. Затем бумага заламинировалась (толщина пленки 100 микрон).

Тренировки проводились летом и осенью 2 раза в день (11:00 и 17:00), зимой, при наступлении полярной ночи, только днем (13:00). В ходе эксперимента учитывалось влияние погодных факторов на параметры освещенности и физиологию исследуемого тюленя, поэтому

тренировки проводились при ясной погоде, в отсутствие атмосферных осадков и волнения моря. Главным критерием проведения эксперимента был уровень освещенности, который должен лежать в пределах $10 - 80 \cdot 10^3$ лк. Он измерялся с помощью люксметра Testo 540 (диапазон измерения: 0 – 100 тыс. лк, погрешность измерения: 5%).

Обучение животных проводили на основе методик, ранее разработанных в нашем институте [7], в основе которых лежит оперантное обучение с положительным подкреплением вырабатываемого навыка.

С тюленями проведены 5 серий тренировок, в каждой серии менялся подкрепляемый цвет. Каждая серия состояла из двух стадий: обучения и эксперимента.

На стадии обучения тюленя обучали дифференцировать новый цвет от четырех остальных цветов и его монохромного аналога. Животному предъявляли пару табличек: одну – ранее подкрепляемого цвета, другую – нового цвета, который становился новым условным раздражителем, в то время как старый цвет становился индифферентным. Демонстрировали только такую комбинацию цветов, чередуя их взаимоположение в случайном порядке, но не более двух одинаковых комбинаций подряд, чтобы тюлень не ориентировался на положение подкрепляемой таблички. К эксперименту переходили тогда, когда тюлень выбирал табличку нового подкрепляемого цвета и игнорировал табличку, подкрепляемую в прошлой серии.

На стадии эксперимента (рис. 4, 5), вне зависимости от результатов, проводили по 5 тренировок, на каждой по 20 предъявлений пар табличек. Чередование индифферентных цветов и взаимное положение меняли в случайном порядке, но не более двух одинаковых комбинаций подряд, чтобы тюлень не ориентировался на положение подкрепляемой таблички, таким образом, каждый индифферентный цвет предъявлялся по 4 раза за тренировку.



Рис. 4. Выбор серым тюленем подкрепляемой желтой таблички в паре с голубой



Рис. 5. Выбор серым тюленем подкрепляемой желтой таблички в паре с монохромным аналогом

В качестве подкрепляемого условного раздражителя использовались таблички только хроматических цветов, серые таблички (монохромные аналоги) выступали лишь в роли индифферентного раздражителя.

Результаты и обсуждение

С каждым подопытным тюленем проведено 20 обучающих и 25 экспериментальных тренировок. На предыдущем этапе исследований животные уже обучены дифференцировке объектов синего цвета от аналогичных объектов красного и зеленого цветов, это позволило сразу перейти к экспериментальной стадии, минуя обучение. Серии тренировок с другими подкрепляемыми цветами включали в себя как стадию обучения (5 тренировок), так и эксперимент (5 тренировок). Как показывают результаты, полученные в процессе обучения (рис. 6), тюлени обучались выбирать табличку нового подкрепляемого цвета и игнорировать табличку, подкрепляемую в прошлой серии, уже на 3–4 тренировках.

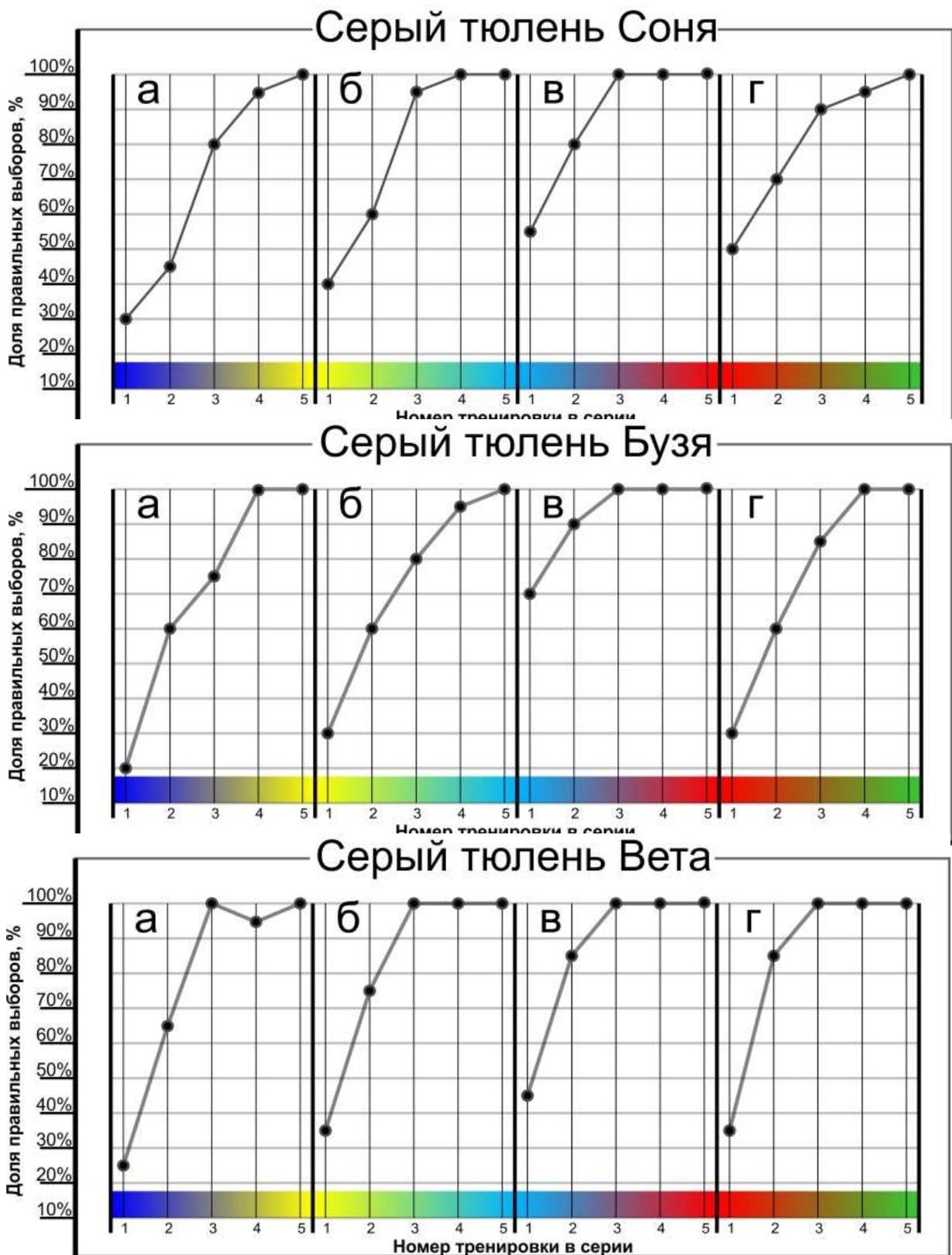


Рис. 6. Динамика обучения серых тюленей выбору нового цвета: а – переход от синей таблички к желтой; б – переход от желтой таблички к голубой; в – переход от голубой таблички к красной; г – переход от красной таблички к зеленой;

Наиболее вероятно такие показатели связаны с тем, что условные раздражители были одной модальности (цвет объекта), и в ходе смены цвета изменялись только количественные

показатели предъявляемого стимула, что в свою очередь демонстрирует способность серых тюленей дифференцировать 5 цветов как отдельный признак, то есть наличие у серых тюленей цветовосприятия, аналогичного трихроматическому цветовосприятию. Во-вторых, исследуемые тюлени ранее прошли курс дрессировки общего и специального назначения, а также постоянно задействованы в научных и научно-практических работах, в ходе которых демонстрируют высокие показатели обучаемости и стабильности работы.

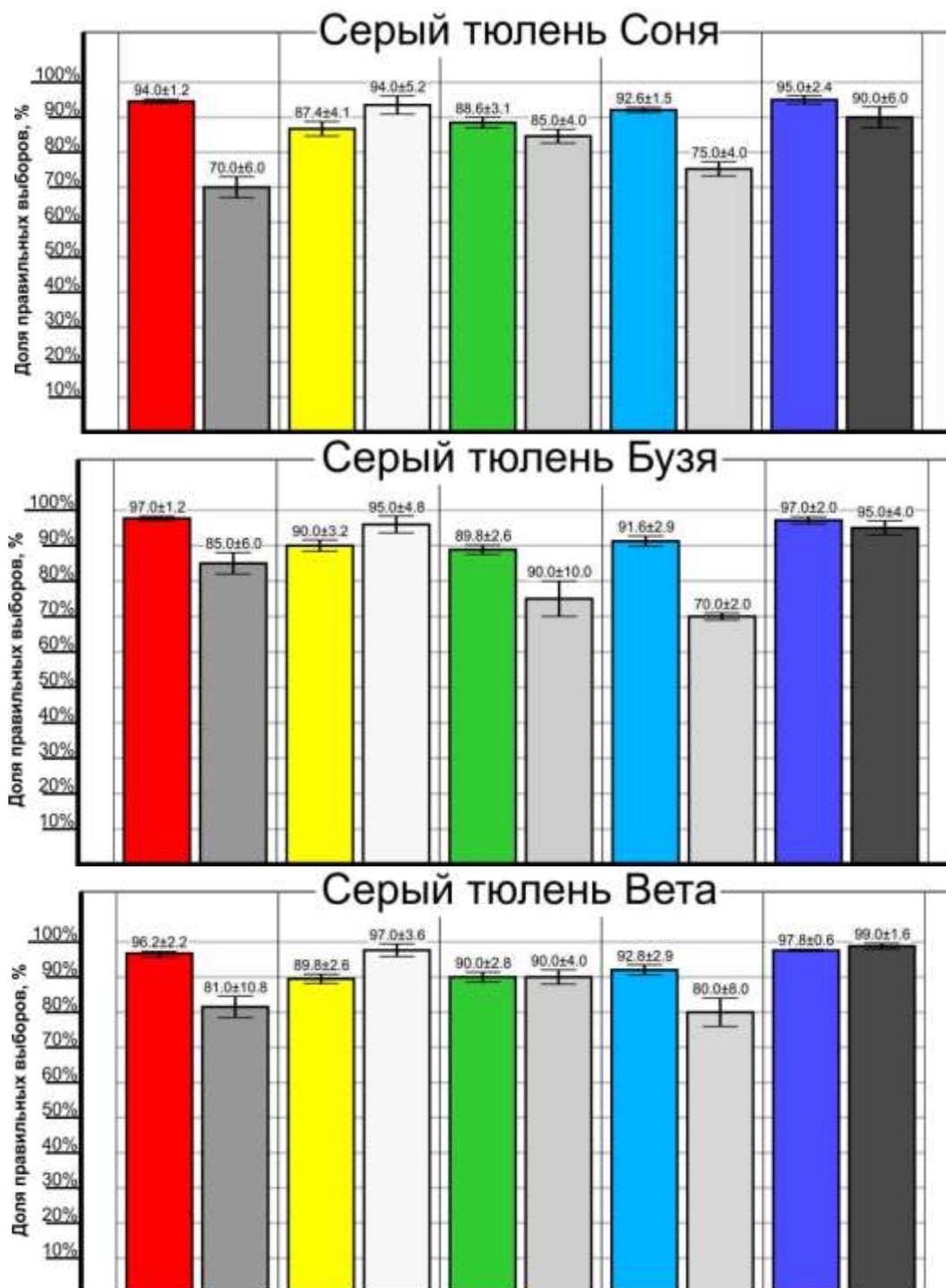


Рис. 7. Результаты выбора подкрепляемого цвета от других цветов и монохромного аналога

В ходе экспериментальной стадии исследуемые животные в целом четко дифференцировали предъявляемые цвета друг от друга и от монохромных аналогов (рис. 7). Трудности возникли только при дифференцировке пар табличек зеленая и желтая ($55 \pm 8\%$ верных

выборов). Также подмечено, что тюлени Соня и Бузя хуже дифференцируют табличку голубого цвета от монохромного аналога (75 ± 4 и 70 ± 2 % верных выборов), тюлень Соня дифференцирует красную табличку от монохромного аналога только в $70\pm 6\%$ предъявлений данной комбинации. Причиной данных отклонений, скорее всего, являются индивидуальные характеристики зрительной системы каждого подопытного тюленя.

Выводы

Таким образом, способность отличать цвета от их монохромных серых аналогов показывает, что зрению серых тюленей присуще цветовосприятие.

В ходе эксперимента тюлени отличали таблички не только пяти основных хроматических цветов друг от друга, что еще можно было бы объяснить высокоразвитым ахроматическим зрением, но и от серых табличек, аналогичных цветным по светлоте, что требует наличия хорошо развитого колбочкового аппарата в сетчатке.

Цветовое зрение у служебных тюленей позволяет обучать их поиску предметов по цветовому признаку. Так, в ходе эксперимента установлено, что для подобных работ наиболее целесообразно использовать серых тюленей, поскольку они обладают хорошо развитым дихроматическим зрением, позволяющим применять в работе с ними широкий спектр цветов. На сегодня одной из основных проблем привлечения морских млекопитающих к противодействию подводным диверсантам является проблема распознавания животным человека по признаку свой – чужой. Это приводит к тому, что тюлень не может отличить дружественного водолаза от врага и, как следствие, может его атаковать. Применяя различные маркеры для своих водолазов, можно обучить тюленя атаковать только тех водолазов, у которых либо нет маркера, либо он другой. Также различными цветными маркерами можно обозначать маршрут обследования протяженных подводных объектов и подводных частей судов и строений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Матишов Г.Г.* Опыт обучения и применения морских млекопитающих для защиты стратегически важных объектов от террористических действий / *Г.Г. Матишов, Н.Н. Кавцевич, А.Л. Михайлюк*. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. 128 с. 2. *Мишин В.Л.* Морские биотехнические системы двойного назначения / *В.Л. Мишин, Г.Г. Матишов*. Мурманск: ООО "МИП-999", 2000. 116 с. 3. *Матишов Г.Г.* Защита стратегически важных объектов с использованием морских млекопитающих / *Г.Г. Матишов, С.В. Симоненко, Н.М. Максимов* // Вестник РАН. 2005. Т. 75, № 9. С. 825–830. 4. *Хьюбел Д.* Глаз, зрение, мозг: пер. с англ. М.: Мир, 1990. 239 с. 5. Сенсорные возможности арктических тюленей в морских биотехнических системах / *В.Б. Войнов [и др.]* // Вестник Южного Научного Центра, 2013. Т. 9, № 4. С. 87–95. 6. *Kieran M.* Photoshops color correction. Peachpit. 2003. 384 p. 7. Морские млекопитающие в биотехнических системах двойного назначения / *Г.Г. Матишов [и др.]*. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2010. 131 с.

Сведения об авторах

Ишкулов Дмитрий Геннадьевич – к.б.н., зам. директора по науке; e-mail: ishkulov@mmbi.info
Михайлюк Александр Леонидович – к.б.н., начальник Биотехнического аквакомплекса ММБИ; e-mail: sasha-mihailyuk@yandex.ru
Пахомов Мирон Владимирович – м.н.с.; e-mail: edr750v@yandex.ru

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТОЛИТОВ НЕКОТОРЫХ ДОННЫХ РЫБ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

О.Н. Светочева¹, Е. Эриксен²

¹Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

²Институт Морских Исследований (IMR, Bergen, Norway)

Аннотация

Представлены новые данные по морфологии отолитов донных рыб Баренцева моря. Рассматриваются морфологические особенности формы отолита с описанием в едином ключе вариаций скульптуры внешней и внутренней сторон отолита для 6 видов ликоидов сем. *Zoarcidae* и 5 видов бычков (сем. *Cottidae*, п/сем. *Triglopsinae* (3), сем. *Icelinae* *Icelus bicornis* (Reinhardt), п/сем. *Myoxocephalinae*). Даны оригинальные фотографии отолитов и рыб.

Работа представляет интерес для специалистов в изучении экологии и морфологии рыб, а также питания морских млекопитающих Баренцева моря, когда весьма важным становится правильное определение видового состава пищи.

Ключевые слова:

отолиты, морфология, Баренцево море, трофология.



Отолиты костистых рыб используются исследователями для видового определения, изучения внутривидовой структуры, разделения близких видов. В трофологии по отолитам определяют вид (род) объекта питания у различных ихтиофагов [1–10].

Отолиты или статолиты – твердые образования беловатого цвета, расположенные попарно в капсулах перепончатого лабиринта черепа рыб, являются органами равновесия.

Обычно лабиринт содержит 3 пары отолитов. Отолиты *sagitta*

– самые крупные, расположены в капсуле *sacculus* и имеют постоянную форму и скульптуру поверхности, увеличиваются в размерах с течением жизни рыбы [6, 9, 11, 12]. Именно благодаря этому отолиты широко используются в ихтиологии для изучения динамики роста, возраста рыб, а также видовой идентификации. Анализ состава пищи у различных морских ихтиофагов (морских птиц и млекопитающих) в большинстве случаев также основывается на изучении отолитов *sagitta*. В связи с этим видовая идентификация отолитов представляется важной составляющей для изучения экологии морских биоценозов, в частности, трофических исследований морских млекопитающих Арктики.

Научная литература по отолитам весьма обширна и разнообразна. В отечественной литературе методические указания по описанию отолитов впервые встречаются у Н.И. Чугуновой [8], И.Ф. Правдина [13], общую сводку по отолитам рыб дальневосточных морей и терминологию для описания скульптуры отолита впервые предложил В.А. Скалкин [6]. Существуют подробные атласы или описания отолитов северо-востока и северо-запада Атлантики [9, 14, 15], байкальских подкаменщиков [16], кубоглавог Мирowego океана [17], рыб Белого моря [18, 19].

Обширный литературный обзор по темам исследований отолитов был дан в работе Е.Н. Кузнецовой и др. [20], где наиболее полно представлены современные зарубежные исследования отолитов костистых рыб. Однако среди многообразия литературы по отолитам практически нет описаний отолитов рыб, обитающих в Баренцевом (особенно для его юго-востока) и других арктических морях России: Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском. В сводках разных авторов приводятся фотографии, рисунки и описание отолитов одних и тех же видов рыб [6, 9, 14, 15, 18, 19], но встречающихся в разных районах океана или в разных морях, что вовсе не случайно. Даже простое визуальное сравнение скульптуры отолитов рыб одного вида, взятых из разных районов, показывает, что форма отолита может варьировать. Причины и диапазон этих вариаций пока не изучены, однако, если разные условия обитания оказывают влияние на рост, развитие и внешний облик рыб, то, возможно, эти причины обуславливают и различия в морфологии отолита.

Промысловые виды рыб обычно хорошо узнаваемы по отолитам, но многие донные и донно-пелагические виды трудно идентифицировать по отолиту без справочных материалов (например, в пробе питания из пищеварительного тракта тюленя или птицы). Поэтому в экологических исследованиях, связанных с изучением питания морских млекопитающих и птиц Баренцева моря, часто возникает проблема правильного определения качественного состава пищи. Представители ликодов (*Zoarcidae*), а также бычковые рыбы (*Cottidae*) сложны для идентификации из-за недостаточной изученности и редкой встречаемости видов. Бычки, ицелы и триглопсы довольно обычны в питании многих ихтиофагов, но отолиты близких видов сложно различать, кроме того, в пределах вида их форма также может варьировать. Следует отметить, что отолиты ликодов, которые отмечаются в питании морских ихтиофагов, часто совсем не определяют до вида или рода из-за недостатка информации и относят к общей группе т.н. «слизней», в которую входят: ликоды, липарисы, лептоклинусы, гимнелисы, люмпенусы и другие донные рыбы, отолиты которых весьма похожи по форме.

Таким образом, данная работа представляется важной для расширения информации о рыбах Баренцева моря, также она может послужить основой для составления справочника (атласа) отолитов Баренцева моря (включая Печорское), необходимого для трофологов.

Материалы и методы

Материалы для исследования были получены в сентябре 2008 г. во время норвежско-русской экологической съемки Баренцева моря на норвежском научно-исследовательском судне *JohanHjort*. Всего зарегистрировано и исследовано 32 вида донных и донно-пелагических рыб из донных тралов. Распределение ликодов и бычковых показано на рис. 1. В работе рассматриваются морфологические характеристики отолитов ликодов и бычковых, представлены описание отолитов, а также оригинальные фото отолитов и рыб (табл.).

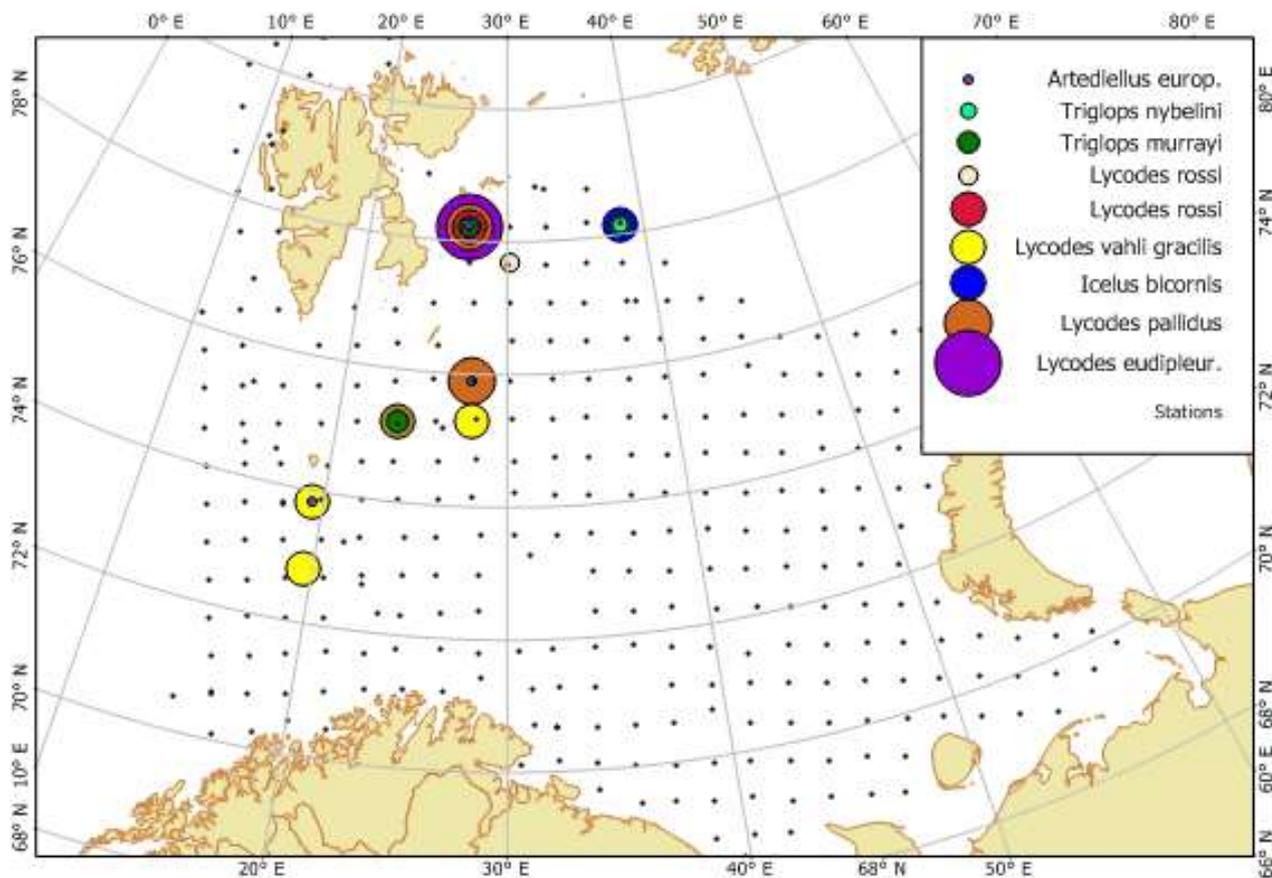


Рис. 1. Станции донного траления в Баренцевом море, где были зарегистрированы ликоды и бычки-керчаки, сентябрь 2008 г. НИС *JohanHjort*

Морфометрические параметры ликодов и бычков. Баренцево море, сентябрь 2008 г.

№ станции	Вид	L рыб (AB), см	Масса, г	LO, мм	Возраст, лет
325	<i>Lycodes vahli gracilis</i>	14.4	9.5		2
	<i>Lycodes vahli gracilis</i>	13.3	7.7		1
327	<i>Lycodes vahli gracilis</i>	15.1	14.3		3
377	<i>Lycodes vahli gracilis</i>	30.6	98.9	5.5	
334	<i>Lycodes seminudus</i>	20.2	42.2	3.9	4
344	<i>Lycodes seminudus</i>	23.0	57.6	5.9	5
	<i>Lycodes seminudus</i>	15.4	14.7	3.9	
	<i>Lycodes seminudus</i>	12.3	6.8	3.6	
	<i>Lycodes seminudus</i>	18.2	27.8	4.8	3
	<i>Lycodes seminudus</i>	9.9	4.1	3.0	1
398	<i>Lycodes seminudus</i>	6.2	нет	1.8	1
344	<i>Lycodes pallidus</i>	5.4	0.5	1.6	1
	<i>Lycodes pallidus</i>	13.1	8.4	3.7	3
	<i>Lycodes pallidus</i>	19.3	28.2	4.5	
	<i>Lycodes pallidus</i>	11.6	5.8	3.1	
	<i>Lycodes pallidus</i>	13.7	9.5	3.3	
	<i>Lycodes pallidus</i>	12.4	7.4	3.3	
369	<i>Lycodes pallidus</i>	11.2	4.5	3.1	
	<i>Lycodes pallidus</i>	11.8	5.9	3.5	
344	<i>Lycodes eudipleurostictus</i>	6.0	0.9	1.9	
	<i>Lycodes eudipleurostictus</i>	6.8	1.0	2.0	
	<i>Lycodes reticulatus</i>	14.9	15.6	4.0	
	<i>Lycodes reticulatus</i>	21.0	51.9	4.6	6
	<i>Lycodes reticulatus</i>	20.9	52.8	4.2	5
	<i>Lycodes reticulatus</i>	14.5	20.4	3.8	
	<i>Lycodes reticulatus</i>	16.4	29.2	4.0	
	<i>Lycodes reticulatus</i>	17.3	35.0	3.9	4
358	<i>Lycodes rossi</i>	21.2	41.7	5.1	
327	<i>Artediellus europeus (atlanticus)</i>	10.2	12.3	4.6	10
	<i>Artediellus europeus</i>	8.1	6.2	3.9	5
	<i>Artediellus europeus</i>	6.8	3.8	3.4	3
	<i>Artediellus europeus</i>	5.9	2.9	3.3	4
344	<i>Artediellus europeus</i>	11.4	22.2	5.1	6
369	<i>Artediellus europeus</i>	9.7	9.9	4.1	
	<i>Artediellus europeus</i>	9.4	8.9	4.4	
	<i>Artediellus europeus</i>	7.7	5.5	3.4	
	<i>Artediellus europeus</i>	7.1	4.3	3.3	
	<i>Artediellus europeus</i>	8.8	7.7	3.5	
	<i>Artediellus europeus</i>	8.0	5.8	3.9	5
	<i>Artediellus europeus</i>	7.2	4.6	3.6	5
	<i>Artediellus europeus</i>	7.4	4.8	3.5	
	<i>Artediellus europeus</i>	6.2	3.2	3.0	
	<i>Artediellus europeus</i>	5.9	2.7	2.8	3

№ станции	Вид	L рыб (AB), см	Масса, г	LO, мм	Возраст, лет
331	<i>Artediellus europeus</i>	6.5	3.6	3	3
	<i>Artediellus europeus</i>	6.2	2.8	2.8	3
	<i>Artediellus europeus</i>	6.1	2.5	3.1	2
	<i>Artediellus europeus</i>	6.5	4	3.1	2
	<i>Artediellus europeus</i>	8.4	6.3	3.3	3
334	<i>Triglops murrayi</i>	12.7	16.5	3.2	
	<i>Triglops murrayi</i>	11.5	11.9	2.6	
	<i>Triglops murrayi</i>	13.4	23.5	3.4	
	<i>Triglops murrayi</i>	12.7	21.0	3.1	
	<i>Triglops pingeli</i>	14.9	24.6	4.2	
344	<i>Triglops nybelini</i>	7.3	2.6	2.1	1
	<i>Triglops nybelini</i>	11.1	11.8	3.1	2
	<i>Triglops nybelini</i>	10.4	8.2	2.8	2
	<i>Triglops nybelini</i>	6.6	1.9	1.8	1
	<i>Triglops nybelini</i>	6.1	1.6	1.7	1
351	<i>Icelus bicornis</i>	8.9	6.8	2.5	6
	<i>Icelus bicornis</i>	7.0	4.1	2.8	5
	<i>Icelus bicornis</i>	6.7	2.9	2.3	4
	<i>Icelus bicornis</i>	6.8	3.2	2.8	4
	<i>Icelus bicornis</i>	5.2	1.3	2.1	3
	<i>Icelus bicornis</i>	4.8	0.8	1.8	2

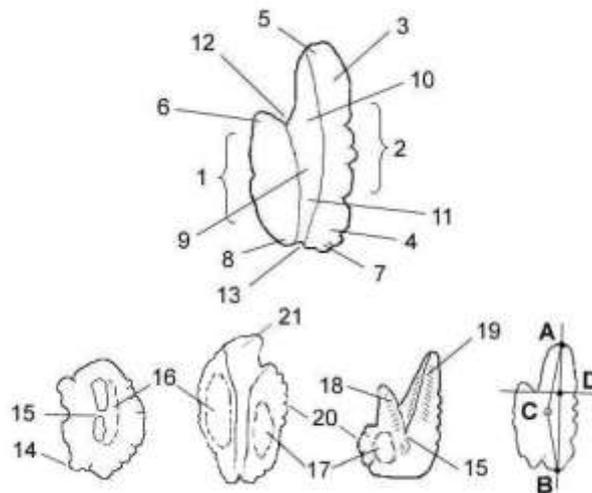


Рис. 2. Основные морфологические показатели для описания отолита. На внутренней поверхности (inside): 1 – основание или дорсальная часть (dorsalpart); 2 – открылок или вентральная часть (ventralpart); 3 – передняя или оральная часть (anterior); 4 – задняя или каудальная часть (posterior); 5 – роstrум (rostrum); 6 – антироstrум (antirostrum); 7 – построstrум (postrostrum); 8 – парароstrум (pararostrium); 9 – желобок (sulcus); 10 – остиум (ostiium); 11 – кауда (cauda), 12 – большая выемка (bigexcision); 13 – малая выемка (smallexcision); 14 – сосочек (papilla); 15 – перемычка желобка (sulcusarch); 16 – вентральное плато (ventralarea); 17 – дорсальное плато (dorsalarea); 18 – дорсальный гребень (dorsalcrestae); 19 – вентральный гребень (ventralcrestae); 20 – дольчатый край (lobedmargin); 21 – крючок, крючковатый роstrум (hook, rostrumhasasmallcurvature). На внешней поверхности (outside): AB – длина отолита, AD – длина роstrума, AC – ростральный радиус (R), CB – постростральный радиус (Z_1), C – ядрышко (nucleus) [6, 9, 18, 19, 23, 24]

Рыб идентифицировали до вида, используя определители [21–23], измеряли, взвешивали, фотографировали и извлекали отолиды. Просматривали их, используя бинокляр ”LeicaWildtyp 355110”, по возможности тут же определяли возраст рыб. У многих видов бычков точное определение возраста возможно только после распиливания отолиды, поэтому возраст бычков был впоследствии определен в лаборатории IMR (Берген). Затем отолиды фотографировали, используя программу ”LeicaApplicationSuite 2.0” для перевода фотоснимков в цифровой формат. Описание отолидов выполнялось в едином ключе с использованием терминов и характеристик, принятых в литературе по данной тематике (рис. 2).

Результаты исследования

В работе впервые дана морфологическая характеристика отолидов *Lycodesseminudus* *L. rossii* *L. eudipleurostictus*, отолиды ликодов *L. reticulatus*, *L. pallidus*, *L. vahligracilis* впервые описаны для Баренцева моря, в литературе есть описание отолидов этих видов для северо-запада Атлантики [15], а для северо-востока Атлантики – только отолиды *L. vahligracilis* [9]. У бычковых морфологическая характеристика отолидов дана впервые для Баренцева моря, в литературе есть описание отолидов этих видов для северо-запада Атлантики [15], а для северо-восточной части – только отолиды *Tr. murrayi* [9].

В сентябре 2008 г. в тралах были отмечены 6 видов ликодов (сем. *Zoarcidae*, п/сем. *Lycodinae*): *Lycodesseminudus*, *L. rossi*, *L. reticulatus*, *L. pallidus*, *L. eudipleurostictus*, *L. vahligracilis* (см. табл.). Ликоды – представители обширного и очень разнообразного по составу семейства, основная область обитания этих рыб – глубины 100–600 м. Преобладающее большинство ликодов – типично донные, малоподвижные рыбы, предпочитающие илистые грунты (нередко в них зарывающиеся) и низкие, порой даже отрицательные температуры, хотя отдельные виды перешли к жизни в толще воды. Для ликодов свойственна большая возрастная изменчивость ряда существенных признаков: с возрастом может изменяться характер окраски тела, изменяются пропорции в измерениях головы, плавников, глаз – поэтому отолиды молоди и рыб в возрасте 1 год не вошли в данное исследование [21, 22].

У отолидов рыб одного вида была отмечена вариабельность формы, наиболее сильные отличия внутри вида были отмечены у отолидов из удаленных друг от друга районов (Баренцево море и северо-запад Атлантики). Также отолиды ликодов разных видов, обитающих в Баренцевом море, оказались весьма похожи, например, у *L. reticulatus* и *L. pallidus* (рис. 3, 9, 11). Следует отметить, что отолиды этих видов из северо-западной Атлантики также очень похожи между собой, но отличаются по форме от баренцевоморских [15]. У баренцевоморских сетчатого и бледного ликодов отолиды имеют ромбовидную или округлую форму с широким и слабовыраженным рострумом, причем сама форма отолиды в пределах одного вида достаточно стабильна и узнаваема как у мелких, так и у достаточно крупных рыб. Отолиды сетчатого и бледного ликодов из северо-западной Атлантики имеют овальную форму с выраженным рострумом, который у крупных рыб достигает длины почти половины отолиды [15]. Отолиды тонкого ликода из Баренцева моря отличаются округлой формой, маленьким рострумом и невыраженной большой выемкой, а отолиды этого ликода из северо-западной Атлантики имеют овальную форму, округлый рострум и выраженную большую выемку [9, 15] (рис. 15).

В сентябре 2008 г. среди бычков были зарегистрированы 5 видов (сем. *Cottidae*, п/сем. *Triglopsinae*, *Icelinae*, *Myoxocephalinae*): *Triglopspingeli*, *Tr. murrayi*, *Tr. nybelini*, *Icelus bicornis*, *Artedielluseuropeus* (*Artediellus atlanticus* [23]) (см. табл.). В северной части Атлантического океана, включая Баренцево море, встречается до 10 родов керчаковых рыб, это преимущественно донные формы, обитающие на небольших и умеренных глубинах на шельфе. У некоторых родов отмечен половой диморфизм по окраске [21]. Отолиды бычков отличаются относительно большими размерами, для крупных особей (4 и более лет) характерна вариабельность формы отолиды и скульптуры внутренней его поверхности (*inside*), наличие разнообразных выростов. Среди небольших по размеру особей (2–3 года) отолиды некоторых видов визуально весьма похожи по форме, например, отолиды *Triglops nybelini* и *Artedielluseuropeus* имеют явные отличия только по относительной длине рострума и наличию или отсутствию антирострума (рис. 3, 21, 25). В то же время изученные отолиды баренцевоморских бычков имеют характерные отличия от отолидов из северо-западной Атлантики: например, отолиды *T. nybelini* из Баренцева моря отличаются от отолидов триглопса из северо-западной Атлантики более коротким рострумом и постоянной овальной формой [15]. У отолидов *Icelus bicornis* из Атлантики не выражена большая выемка, они сильно вытянуты по длине, а отолиды ицела из Баренцева моря вытянуты слабо и имеют выраженные основание и большую выемку [15] (рис. 23).

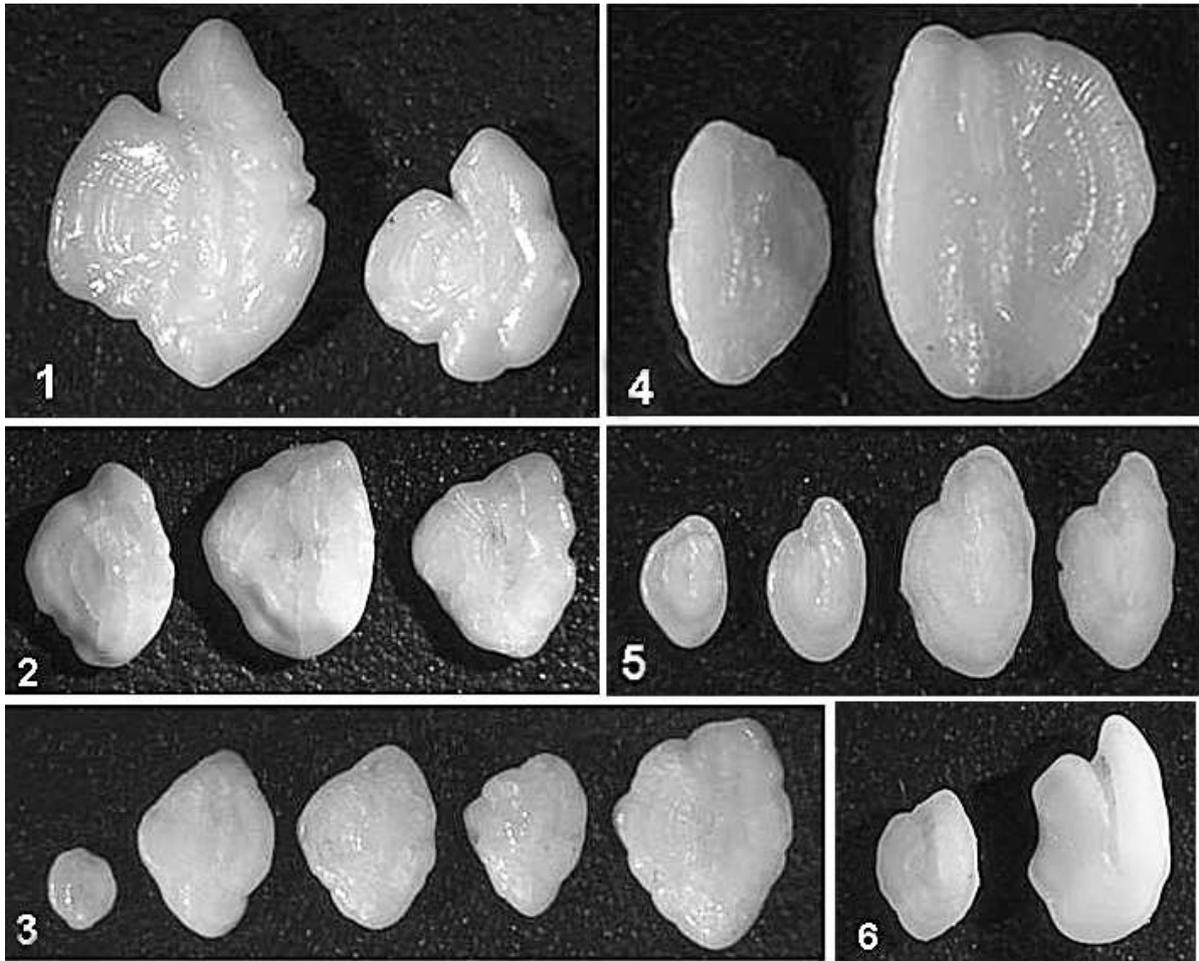


Рис. 3. Вариации формы отолигов у ликодов и бычков. Пропорции размеров отолигов не сохранены: 1 – *Lycodesseminudus*; 2 – *L. reticulatus*; 3 – *L. pallidus*; 4 – *L. vahligracilis*; 5 – *Triglops nybelini*; 6 – *Artediellus europeus*

Описание отолигов

I. Сем. *Zoarcidae*, п/сем. *Lycodinae*:

1) *Lycodes seminudus* Reinhardt – полуголыйликкод (рис. 4).



Рис. 4. *Lycodes seminudus*. Длина тела (AB) – 23.0 см

Отолиты белые, блестящие, ромбовидные (рис. 5). Внутренняя (1) и внешняя (2) поверхности плоские. Дорсальный и вентральный края округлые, неровные. Дорсальный край сильновыпуклый. Ротрум прямой, широкий, заостренный, антиротрум хорошо выражен. Большая выемка всегда глубокая и узкая. Задний конец заостренный, не разделен на постротрум и параротрум, может быть дольчатый. Желобок глубокий по всей длине. Остиум открытый, широкий, воронковидный, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части неглубокое обширное плато.

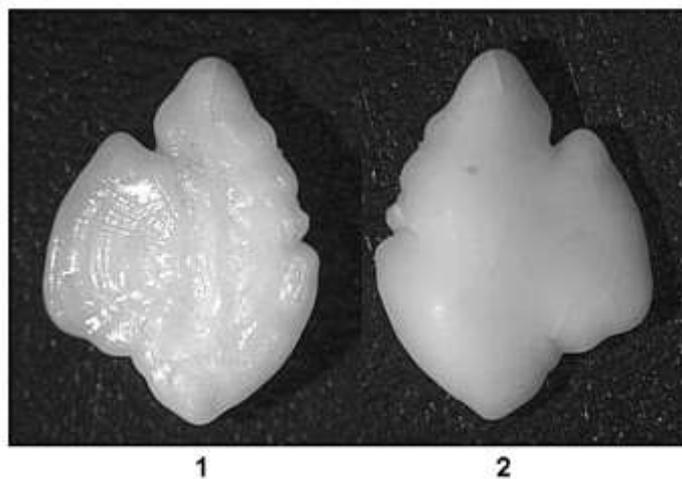


Рис. 5. Отолиты полууголого ликода. Длина отолита (OL) – 5.9 мм. 1 – внутренняя поверхность (inside), 2 – внешняя поверхность (outside)

2) *Lycodes rossi* Malmgren – ликод Росса (рис. 6).

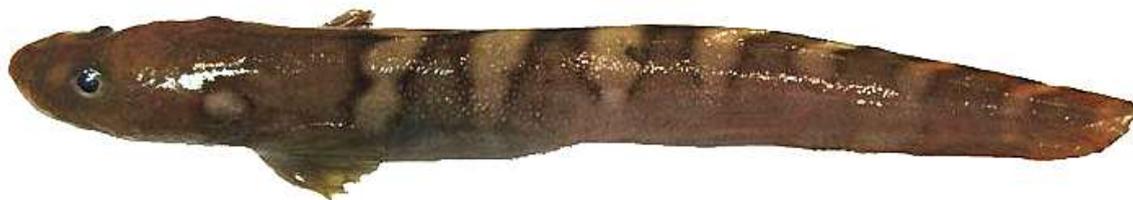


Рис. 6. *Lycodes rossi*. Длина тела (AB) – 21.2 см

Отолиты белые, блестящие, округлые (рис. 7). Внутренняя (1) и внешняя (2) поверхности плоские. Дорсальный и вентральный края округлые, неровные. Дорсальный край отчетливо выпуклый. Рострум и антирострум выражены слабо. Задний конец закругленный, разделен на построструм и парарострум. Желобок неглубокий по всей длине. Остиум открытый, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части неглубокое плато.

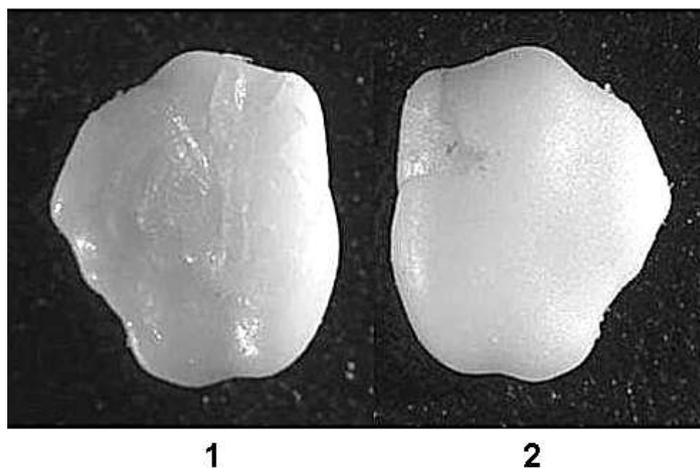


Рис. 7. Отолиты ликода Росса. Длина отолита (OL) 5.1 мм

3) *Lycodes reticulatus* Reinhardt – сетчатый ликод (рис. 8).

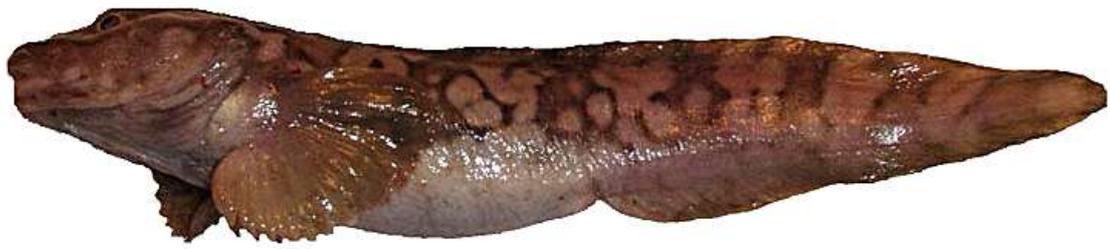


Рис. 8. *Lycodes reticulatus*. Длина тела (AB) – 20.9 см

Отолиты белые, блестящие, округлые или ромбовидные (рис. 9). Внутренняя (1) и внешняя (2) поверхности плоские. Дорсальный и вентральный края округлые, неровные. Дорсальный край отчетливо выпуклый. Рострум выражен слабо, слегка заостренный, широкий, короткий, антирострум не выражен. Задний конец закругленный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий по всей длине. Остиум открытый, широкий, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части глубокое плато.

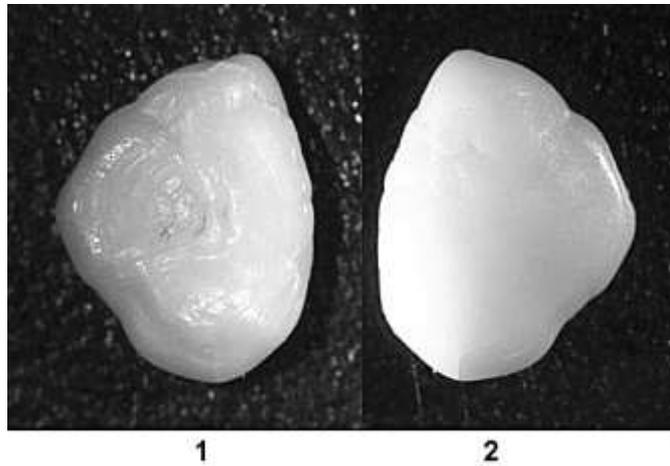


Рис. 9. Отолиты сетчатого ликода. Длина отолита (OL) – 4.2 мм

4) *Lycodes pallidus* Collett – бледный ликод (рис. 10).



Рис. 10. *Lycodes pallidus*. Длина тела (AB) – 13.7 см

Отолиты белые, блестящие, ромбовидные (рис. 11). Внутренняя (1) и внешняя (2) поверхности плоские. Дорсальный и вентральный края округлые, неровные, дольчатые. Дорсальный край отчетливо выпуклый. Рострум выражен, слегка заостренный, широкий, короткий, антирострум не выражен. Задний конец слегка заостренный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий по всей длине. Остиум открытый, широкий, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части неглубокое плато.

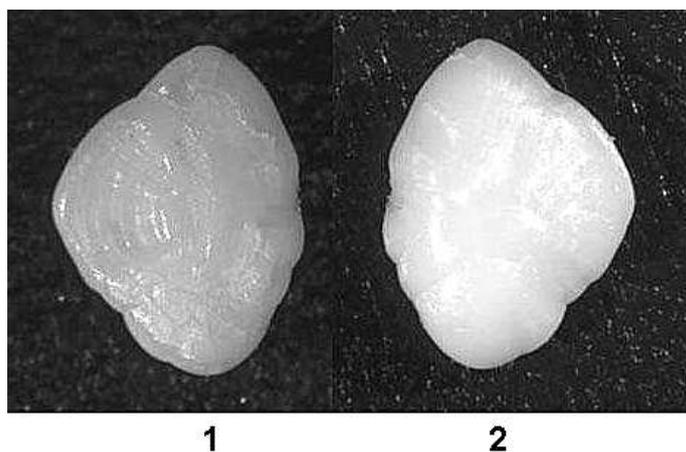


Рис. 11. Отолиты бледного ликода. Длина отолита (OL) – 3.3 мм

5) *Lycodes eudipleurostictus* Jensen – двуперый ликод (рис. 12).



Рис. 12. *Lycodes eudipleurostictus*. Длина тела (AB) – 6.8 см

Отолиты белые, блестящие, округлые (рис. 13). Внутренняя (1) поверхность плоская, внешняя (2) – выпуклая. Дорсальный и вентральный края округлые, ровные. Рострум выражен, закругленный, широкий, короткий, антирострум выражен слабо. Задний конец слегка закругленный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий. Остиум открытый, широкий, кауда открыта. На основании выражен небольшой вентральный гребень, проходящий по всей длине отолита. В дорсальной части неглубокое плато.

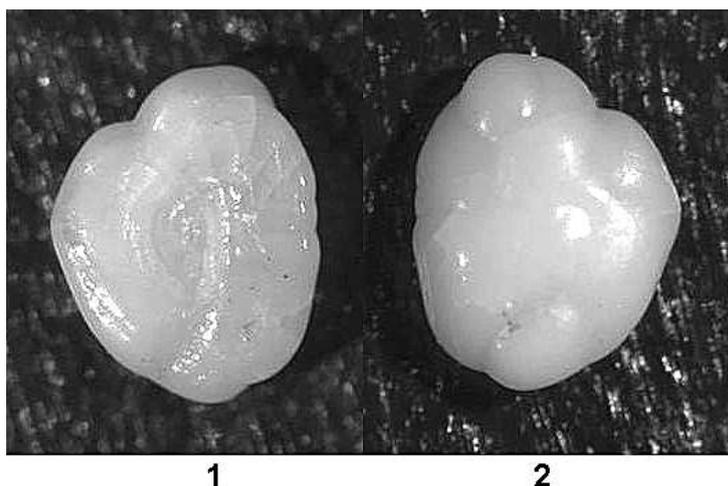


Рис. 13. Отолиты двуперого ликода. Длина отолита (OL) – 2.0 мм

6) *Lycodes vahli gracilis* M. Sars – тонкийликкод (рис. 14).



Рис. 14. *Lycodes vahli gracilis*. Длина тела (AB) – 30.6 см

Отолиты белые, блестящие, овальные (рис. 15). Внутренняя (1) поверхность плоская, внешняя (2) – слабовыпуклая. Дорсальный край округлый, неровный, слегка дольчатый, вентральный – слабоокруглый, ровный. Дорсальный край всегда выпуклый. Рострум выражен, маленький, закругленный, антирострум не выражен. Задний конец закругленный, может быть разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий по всей длине. Остиум открытый, широкий, кауда открыта. На основании выражен вентральный гребень, проходящий по всей длине отолита. На открылке выражен невысокий дорсальный гребень. В дорсальной части неглубокое плато.

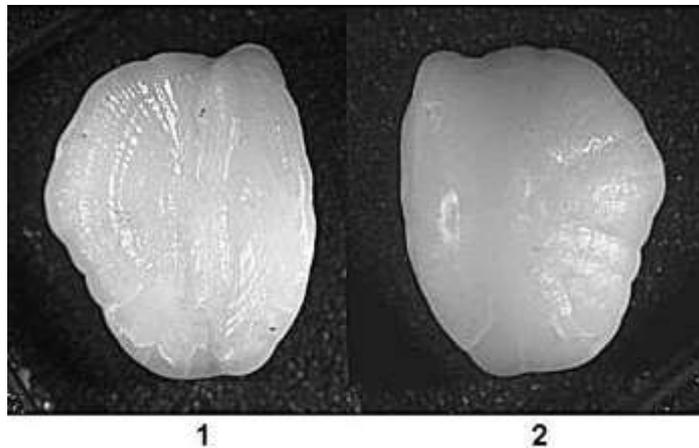


Рис. 15. Отолиты тонкого ликода. Длина отолита (OL) – 5.5 мм

II. Сем. Cottidae, п/сем. Triglopsinae:

1) *Triglops pingeli* Reinhardt – остроносый триглопс (рис. 16).



Рис. 16. *Triglops pingeli*. Длина тела (AB) – 14.9 см

Отолиты белые, блестящие, сильно вытянуты в продольном сечении (рис. 17). Внутренняя (1) поверхность плоская, внешняя (2) – слабовыпуклая. Дорсальный край округлый, неровный, слегка дольчатый, вентральный – слабоокруглый, ровный. Рострум крупный, прямой, широкий, слегка заостренный. Антирострум не выражен. Длина рострума меньше $\frac{1}{2}$ длины отолита. Задний конец заостренный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий по всей длине. Остиум открытый, широкий, воронковидный, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части неглубокое плато.

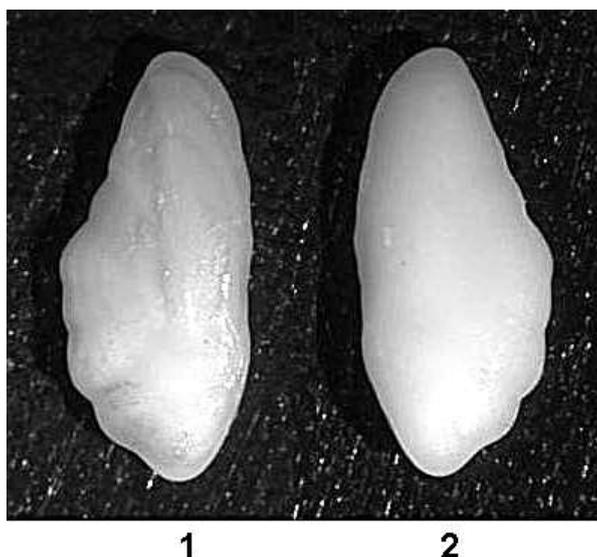


Рис. 17. Отолиты остроносого триглопса. Длина отолита (OL) – 4.2 мм

2) *Triglops murrayi* Günther – атлантический триглопс (рис. 18).



Рис. 18. *Triglops murrayi*. Длина тела (AB) – 13.4 см

Отолиты белые, блестящие, вытянуты в продольном сечении (рис. 19). Внутренняя (1) и внешняя (2) поверхности плоские. Дорсальный край округлый, вентральный – прямой, ровный. Рострум большой, прямой, широкий, слегка заостренный. Антирострум не выражен. Длина рострума равна или несколько меньше $\frac{1}{3}$ длины отолита. Задний конец закругленный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий. Остиум открытый, широкий, воронковидный, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части неглубокое плато.

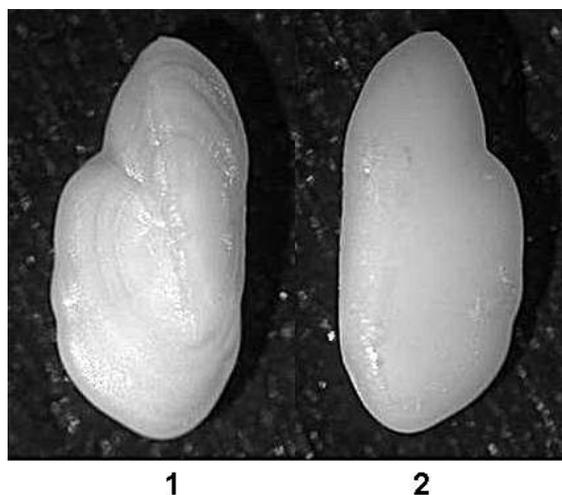


Рис. 19. Отолиты атлантического триглопса. Длина отолита (OL) – 3.4 мм

3) *Triglops nybelini* Jensen – полярный триглопс (рис. 20).

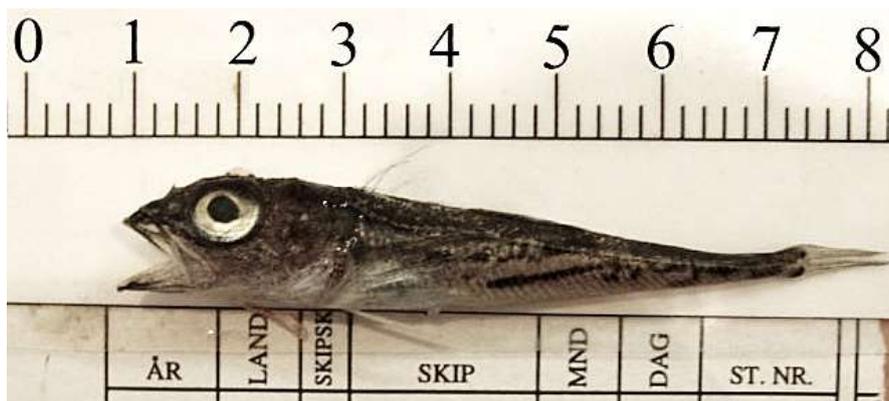


Рис. 20. *Triglops nybelini*. Длина тела (AB) 7.3 см

Отолиты белые, блестящие, овальные, слегка вытянуты в продольном сечении (рис. 21). Внутренняя (1) и внешняя (2) поверхности плоские. Дорсальный и вентральный края округлые, почти ровные. Рострум прямой, широкий, закругленный. Антирострум не выражен. Длина рострума меньше $\frac{1}{3}$ длины отолита. Задний конец закругленный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий в передней части. Остиум открытый, широкий, воронковидный, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части неглубокое плато.

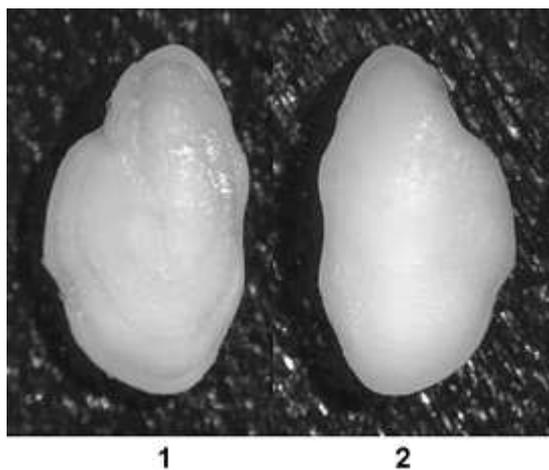


Рис. 21. Отолиты полярного триглопса. Длина отолита (OL) – 2.1 мм

4) *Icelus bicornis* (Reinhardt) – атлантический двурогий ицел (рис. 22).



Рис. 22. *Icelus bicornis*. Длина тела (AB) – 7.0 см

Отолиты белые, блестящие, овальные (рис. 23). Внутренняя поверхность (1) слабовыпуклая, внешняя (2) – плоская. Дорсальный край округлый, неровный, вентральный – слабоокруглый, ровный. Рострум прямой, широкий, закругленный. Антирострум выражен слабо. Длина рострума меньше или равна $\frac{1}{3}$ длины отолита. Задний конец закругленный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий. Остиум открытый, широкий, воронковидный, кауда глубже, чем остиум, закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части небольшое плато.

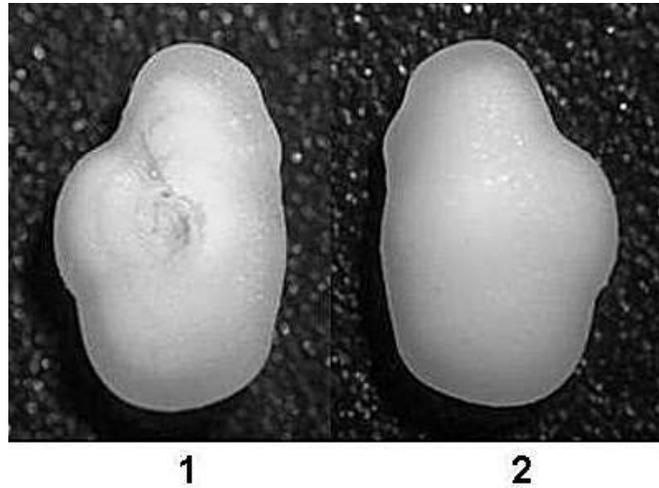


Рис. 23. Отолиты арктического двурогого ицела. Длина отолита (OL) – 2.8 мм

5) п/сем. *Myoxocephalinae*: *Artediellus europeus* Кнirowitsch – европейский крючкорогий бычок (рис. 24).



Рис. 24. *Artediellus europeus*. Длина тела (AB) – 6.8 см

Отолиты белые, блестящие, овальные. Внутренняя (1) и внешняя (2) поверхности плоские (рис. 25). Дорсальный и вентральный края округлые, ровные. Рострум прямой, широкий, закругленный, антирострум выражен слабо. Длина рострума всегда намного меньше $\frac{1}{3}$ длины отолита. Задний конец закругленный, не разделен на построструм и парарострум. Желобок глубокий в передней части. Остиум открытый, широкий, воронковидный, кауда закрыта далеко от края отолита. В дорсальной части неглубокое плато.

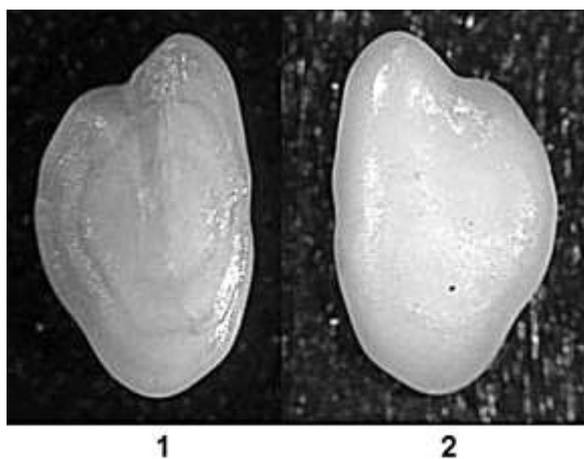


Рис. 25. Отолиты европейского крючкороткого бычка. Длина отолита (OL) – 3.4 мм

Авторы выражают искреннюю благодарность сотруднику ИМР Свену Лемвигу (SveinLemvig), любезно определившему возраст бычков, а также признательны всем коллегам научной группы и экипажу НИС *JohanHjort* за помощь и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова Т.Б. Значение строения отолитов *Cubiceps caeruleus* Regani *Cubiceps baxteri* McCulloch (Nomeidae) для установления валидности этих видов // Вопросы ихтиологии. 1986. Т. 26, вып. 2. С. 321–325.
2. Агс Р.А. Возраст и рост балтийского шпрота. Рига.: Авотс, 1986. 55 с.
3. Гурова Л.А. Питание и пищевые взаимоотношения пелагических рыб и нерпы Байкала / Л.А. Гурова, В.Д. Пастухов. Новосибирск: Наука, 1974. 186 с.
4. Манкевич Э.М. Биологические особенности отдельных группировок баренцево-морской трески // Советские рыбохоз. исслед. в морях Европейского Севера. Мурманск, 1960. С. 253–265.
5. Мина М.В. О разработке метода объективной оценки структуры зон на отолитах рыб // Вопросы ихтиологии. 1965. Т. 5, вып. 4 (37) С. 732–735.
6. Скалкин В.А. Отолиты некоторых рыб дальневосточных морей // Известия ТИНРО. 1963. Т. 59. С. 159–200.
7. Феттер М.О. О морфологической изменчивости отолитов годовиков весенней сельди Балтийского моря / М.О. Феттер, Р.А. Агс, Р.К. Круминя // *Fischerei – Forschung*. Рыбохоз. исслед. ГДР и СССР в бассейне Балтийского моря. 1988. Jahrg. 26. Heft 2. P. 24–28.
8. Чуаунова Н.И. Руководство по изучению рыб. М., 1959. 163 с.
9. Harkonen T. Guide to the Otoliths of the Bony Fishes of the Northeast Atlantic. Hellerup: Danbiu ApS. 1986. 256 pp.
10. Messieh S.N. Use of otoliths in identifying herring stocks in the southern Gulf of St. Lawrence and adjacent waters // J. Fish. Res. Board Canada. 1972. Vol. 29, № 8. P. 1113–1118.
11. Суворов Е.К. Основы ихтиологии. М.: Сов. Наука, 1948. 580 с.
12. Хрусталева А.М. Особенности морфологии отолитов у молоди некоторых видов рыб Белого моря / А.М. Хрусталева, Д.А. Павлов // Вопросы ихтиологии. 2000. Т. 40, № 5. С. 655–667.
13. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром., 1966. 155 с.
14. Schmidt W. Vergleichend morphologische Studie über die Otolithen mariner Knochenfische // Arch. Fischereiwiss. Jahrg. 19. Beiheft 1. 1968. P. 1–114.
15. Campana S.E. Photographic Atlas of Fish otoliths of the Northwest Atlantic ocean' NRC Research Press, Ottawa, Ontario. 2004. 284 p.
16. Сиделева В.Г. Особенности строения отолитов у экологически различных видов байкальских подкаменщиковых рыб (*Cottoidei*). 1. Морфология отолитов / В.Г. Сиделева, Л.В. Зубина // Зоологический журнал. 1990. Т. 69, вып. 8. С. 66–75.
17. Агафонова Т.Б. Систематика и распространение кубоголовов (*Cubiceps*, *Nomeidae*) Мирового океана // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34, № 2. С. 161–179.
18. Светочева О.Н. Морфологическая характеристика отолитов некоторых рыб Белого моря / О.Н. Светочева, Н.И. Стасенкова, Т.Д. Гошева // Вопросы ихтиологии. 2002. Т. 42, №3. С. 360–367.
19. Svetочева O.N. Guide to the bony fishes otoliths of the White Sea / O.N. Svetочева, N.I. Stasenkova, G. Fooks // IMR/PINRO, Joint Rep. Ser. 2007. N 3. 46 p.
20. Современное состояние исследований микроструктуры отолитов рыб / Кузнецова Е.Н. [и др.]. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 124 с.
21. Андрияшев А.П. Рыбы северных морей СССР. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 566 с.
22. Андрияшев А.П. Аннотированный список рыбообразных рыб морей Арктики и сопредельных вод / А.П. Андрияшев, Н.В. Чернова // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34, №4. С. 435–456.
23. Pethon P. Aschehougs store fiskebok. Kristianstand Voktrykkeri AV.1985.447p.
24. Гошева Т.Д. Строение отолитов и особенности роста беломорской сельди *Clupea harengus maris-albi* Berg // Вопросы ихтиологии. 1977. Т. 17, вып. 6 (107). С. 1034–1040.

Сведения об авторах

Светочева Ольга Нагимовна – к.б.н., старший научный сотрудник лаб. морских млекопитающих; e-mail: svol@atnet.ru

Эриксен Елена – ведущий исследователь Института морских исследований (Institute of Marine Research, Bergen, Norway); e-mail: elena.eriksen@imr.no

ДОПОЛНЕНИЯ К ЛИХЕНОБИОТЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Мелехин

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

Аннотация

Приводятся находки новых для Мурманской области видов лишайников: *Absconditella delutula*, *Arthonia muscigena*, *Lecania suavis*, *Pyrenopsis haemalella*.

Ключевые слова:

лишайники, Мурманская область, новые находки.



Введение

Помимо уточнения распространения и находки новых мест произрастания уже известных для Мурманской области лишайников, в результате полевых работ 2012–2013 гг. выявлены новые для региона виды. Один вид из сборов 2011 г. (*Absconditella delutula* (Nyl.) Coppins & H. Kilius) также оказался ранее не опубликованным. В ходе работ с гербарием Полярно-альпийского ботанического сада-института Кольского научного центра РАН (ПАБСИ КНЦ РАН) исправлены ошибки определения, в том числе произведено переопределение ранее опубликованного вида *Pertusaria excludens* Nyl. в *Bellemeria suboreidiza* (Lynge) R. Sant [1].

Материалы и методы

Сборы материала были сделаны в Лапландском заповеднике, в районе поселка Лиинахамари, в окрестностях поселка Колвица, в районе озера Хабозеро, в горном массиве Кицкие тундры. В горном массиве Кицкие тундры лишайнологические исследования проведены впервые, на сегодня в нем выявлен 191 вид лишайников. Определение образцов происходило в лаборатории флоры и растительности ПАБСИ КНЦ РАН. Образцы хранятся в гербарии лишайников сада-института. Номенклатура приводится по Nordin et al. [2]. Фотографии сделаны фотоаппаратами Canon PowerShot A640 (в связке с бинокляром МБС-9) и Canon EOS 350D. Стейкинг кадров произведен программами Hugin и Enfuse, остальная обработка изображений проведена в GIMP.

Принятые сокращения: К – раствор гидроксида калия, Р – раствор парафенилендиамина, J – раствор йода.

Результаты и их обсуждение

Absconditella delutula (Nyl.) Coppins & H. Kilius – в лесу, на растительных остатках и древесине. Изученные образцы: окр. Оз. Хабозеро, 67°25'54.001" N, 32°58'8" E (точность 100 m), alt. 148 m. 18.09.2011 (КРАВГ(L)-9913); Лапландский заповедник; хребет Волчьих тундр; Долина ручья. 68°2'20.04" N, 32°27'24.12" E (точность 100 m), alt. 240 m. 23.08.2011 (КРАВГ(L)-9883) (рис. 1).

Arthonia muscigena Th.Fr. – на приморском лугу, затопляемом распресненной водой в прилив, на растительных остатках. Изученные образцы: берег губы Колвицкая Белого моря, 67°4'47.856" N, 32°57'9.576" E (точность 3 m), alt. 5 m. 24.08.2013 (КРАВГ (L)-10988) (рис. 2).

Lecania suavis (Müll.Arg.) Mig. – в березовом криволесье на кальцийсодержащем камне скал. Изученные образцы: хребет Кицкие тундры. 68°17'10.32" N, 34°4'14.16" E (точность 10 m), alt. 380 m. 02.08.2012 (КРАВГ (L)-10751, КРАВГ (L)-10769, КРАВГ (L)-10752) (рис. 3).

Pyrenopsis haemalella (Nyl.) Blomb. & Forssell – в русле ручья среди березового криволесья, на камне донной глыбы. Изученные образцы: Лапландский заповедник; хребет Волчьих тундр, 68°2'6" N, 32°20'49.2" E (точность 7 m), alt. 380 m. 15.08.2012 (КРАВГ (L)-10546) (рис. 4).



Рис. 1. Absconditella delutula

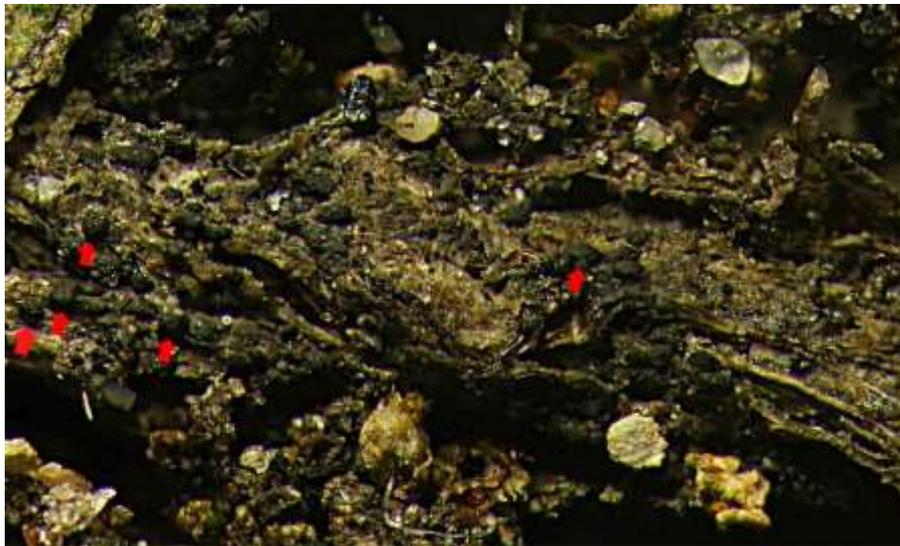


Рис. 2. Arthonia muscigena (стрелками показаны апотеции)



Рис. 3. Lecania suavis



Рис. 4. *Pyrenopsis haemalella*

Pertusaria excludens Nyl., описанная учеными ПАБСИранее [1], переопределена в *Bellemeria subsorediza* (Lynge) R. Sant. Образцы последнего вида (не нового для региона), собранные и определенные предшествовавшими исследователями, были найдены при разборе неинсерированных образцов гербария ПАБСИ. Сличение образцов позволило отнести наш материал к *Bellemeriasubsorediza*, похожую габитуально на *Pertusaria excludens* и имеющую почти те же цветные реакции. Для *Pertusaria excludens* в Определителе... [3] указана реакция на К как "интенсивно-красно-красная", однако Vince J. Giavarini [4], например, приводит другие данные: «грязно-коричнево-краснеет» (судя по фото реакции). От близкого по внешнему виду *Porpidia soredizodes* (Lamy ex Nyl.) J. R. Laundon вид отличается химически (табл.). Для последнего вида в Определителе... [5] указано, что от Р «не изменяется», в других ключах, например у Friday [6], Fryday&Coppins [7] реакция на Р – «оранжевет».

Таблица

Различия реакций *Bellemeria subsorediza*, *Pertusaria excludens* и *Porpidia soredizodes*

Вид	Реакции		
	К	J	Р
<i>Bellemeria subsorediza</i>	+ ярко-краснеет	+ синеет	+ желтеет
<i>Pertusaria excludens</i>	+ (грязно) кроваво-краснеет	?	оранжевет (только сердцевина, кора – не реагирует)
<i>Porpidia soredizodes</i>	+ желтеет	–	+ желтеет или оранжевет

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелехин А.В. Новые для России и Мурманской области лишайники // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 19–21.
2. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-forming and Lichenicolous Fungi, version 29, April 2011 / A. Nordin [et al.]. Режим доступа: http://130.238.83.220/santesson/Santesson_manual.pdf.
3. Определитель лишайников СССР. Вып. 1. Пертузариевые, Леканоровые, Пармелиевые. Л., 1971. 411 с.
4. Vince J. Giavarini. Lichenireland. *Pertusaria excludens* Nyl. Режим доступа: <http://www.habitas.org.uk/lichenireland/species.asp?item=19391>.
5. Определитель лишайников России. Вып. 7. Лецидеевые, Микареевые, Порпидиевые. Л., 1998. 166 с.
6. Fryday Alan and Coppins Brian. Keys to sterile, crustose saxicolous and terricolous lichens occurring in the British Isles // Lichenologist 29(4). 1997. P. 301–332.
7. Fryday A.M. The genus *Porpidia* in Northern and Western Europe, with special emphasis on collections from the British Isles // Lichenologist. 2005. 37(1). P. 1–35.

Сведения об авторе

Мелехин Алексей Валерьевич – к.б.н., научный сотрудник; e-mail: melihen@ yandex.ru

МИКОБИОТА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

М.В. Корнейкова

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

Аннотация

Выполнен анализ микобиоты воздушной среды в летний и осенний периоды 2012 г. на различных расстояниях от медно-никелевого комбината «Печенганикель» и Кандалакшского алюминиевого завода. Отмечена тенденция к увеличению численности микроскопических грибов по мере удаления от комбината «Печенганикель»: в пределах 5 км – 2–22 КОЕ/м³, на расстоянии 7–50 км – от 55 до 250 КОЕ/м³. Вблизи Кандалакшского алюминиевого завода выявлена более высокая численность микроскопических грибов по сравнению с удаленными участками (830 КОЕ/м³ в 0,5 км, на удаленных участках – 35–135 КОЕ/м³). В воздухе обоих комбинатов наиболее разнообразно представлены грибы р. *Penicillium*. Вблизи медно-никелевого комбината доминировали виды *Gongronella butleri* и *Penicillium raistrickii*, в районе алюминиевого завода – *Cladosporium oxysporum*, *P. raistrickii*. В воздушной среде были обнаружены потенциально патогенные грибы: рр. *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Penicillium*.

Ключевые слова:

микроскопические грибы, воздушная среда, потенциально патогенные грибы, загрязнение.



Атмосферный воздух не является благоприятной средой для развития микроскопических грибов. Микобиота воздуха зависит от состояния почвы и растительности района. Почва – основной источник загрязнения воздуха микромицетами. Количественный и качественный состав микобиоты атмосферного воздуха может существенно изменяться в зависимости от климатических условий, времени года, близости промышленных предприятий и других факторов. Повсеместное развитие и спороношение грибов в окружающей среде приводит к попаданию спор в воздушные потоки и делает неизбежным их контакт с органами дыхания человека [1].

На территории Мурманской обл. расположены крупные промышленные предприятия, такие как Кандалакшский алюминиевый завод (КАЗ), медно-никелевый комбинат «Печенганикель». Выбросы предприятий оказывают негативное влияние на состояние почвы и почвенной микобиоты, на видовой состав, структуру комплексов микромицетов, долю условно-патогенных грибов [2–5].

Цель настоящей работы – проведение микологической оценки воздуха над участками, расположенными в зоне воздействия алюминиевого и медно-никелевого предприятий.

Объекты и методы исследований

Выполнен отбор проб воздуха по градиенту загрязнения (трансекте) аэротехногенными выбросами комбината «Печенганикель» в юго-западном направлении к заповеднику «Пасвик» с шагом 1–5 км, общей протяженностью 50 км (18–21 июня 2012 г.) и в области влияния выбросов Кандалакшского алюминиевого завода на участках, расположенных в 0,5, 2, 5, 10, 20, 50 км от источника выбросов (10 июня, 11 сентября 2012 г.). Отбор проб воздуха над площадками осуществляли автоматическим переносным пробоотборником ПУ-1Б, с принудительным осаждением микробов из воздуха на поверхность питательной среды – мясо-пептонного агара. Пропускали по 250 л воздуха на каждой площадке в 3 повторностях.

Результаты и обсуждение

Численность микроскопических грибов

Отмечается тенденция к увеличению численности микроскопических грибов по мере удаления от комбината «Печенганикель» (рис. 1). Численность микромицетов в пределах 5 км составляла 2–22 КОЕ/м³. По мере удаления от источника выбросов их количество увеличивалось до 55–250 КОЕ/м³. В ранее опубликованных работах [6] сообщалось о бактериальном загрязнении воздуха вблизи промышленного центра, чему немало способствует почва этих территорий – эродированная и без наземной растительности. Прослеживается прямая зависимость содержания грибных пропагул в воздухе (в большинстве случаев это споры, имеющие защитные механизмы к неблагоприятным факторам) от их содержания в почве. Именно из почвы поступает в воздух основное количество грибов-микромицетов. Увеличение численности грибов на удаленных участках, расположенных в лесу, можно объяснить попаданием грибных спор из почвы и с поверхности растений в воздух.

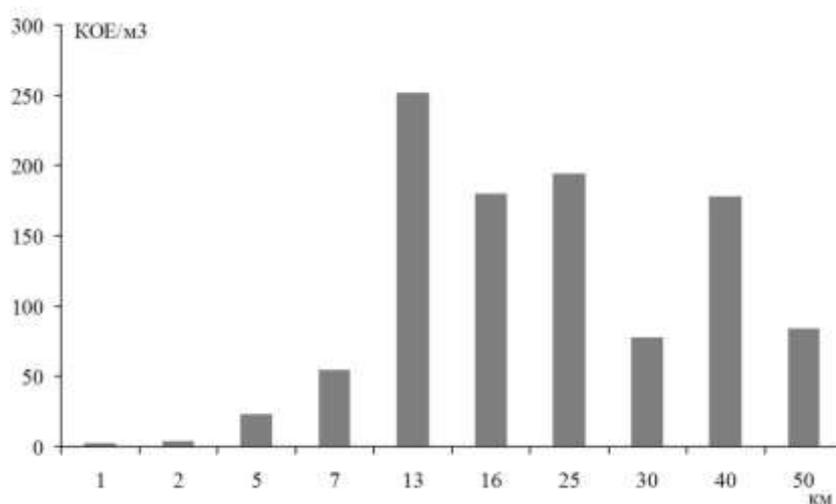


Рис. 1. Численность микроскопических грибов по мере удаления от комбината «Печенганикель»

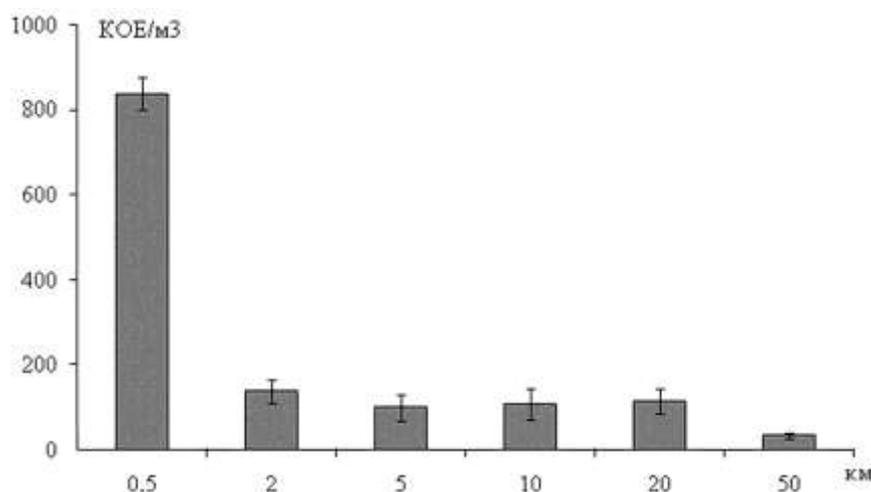


Рис. 2. Динамика снижения численности микроскопических грибов по мере удаления от источника выбросов Кандалакшского алюминиевого завода

В зоне воздействия выбросов Кандалакшского алюминиевого завода, напротив, отмечается снижение численности микроскопических грибов по мере удаления от источника выбросов, причем резкое снижение начинается уже с удаленности в 2 км (рис. 2). На участке 0.5 км от завода численность грибов достигала 830 КОЕ/м³, далее – 35–135 КОЕ/м³.

Видовое разнообразие и структура комплексов микроскопических грибов

В районе влияния выбросов комбината «Печенганикель» выделено 14 видов микроскопических грибов, относящихся к 5 родам. Таксономическая структура выявленной микобиоты представлена отделами *Zygomycota* (1 вид класса *Incertae sedis*), и *Ascomycota* (13 видов из 4 родов, 4 семейств, 4 порядков и 2 классов *Eurotiomycetes* и *Dothideomycetes*) (табл. 1). Наиболее многовидовой род *Penicillium* представлен 9 видами (65% родового разнообразия выявленной микобиоты), 1 род *Aureobasidium* включает в себя 2 вида. Остальные 3 рода представлены по одному виду в каждом.

Таблица 1

Таксономическая структура микобиоты воздуха в зоне воздействия выбросов комбината «Печенганикель» (по www.speciesfungorum.org)

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Кол-во видов
<i>Zygomycota</i>	<i>Incertae sedis</i>	<i>Mucorales</i>	<i>Cunninghamellaceae</i>	<i>Gongronella</i>	1
<i>Ascomycota</i>	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Penicillium</i>	9
		<i>Dothideales</i>	<i>Dothioraceae</i>	<i>Aureobasidium</i>	2
		<i>Capnodiales</i>	<i>Davidiellaceae</i>	<i>Cladosporium</i>	1
		<i>Pleosporales</i>	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Alternaria</i>	1

Вблизи комбината (1–2 км) видовое разнообразие грибов представлено 1 видом (*Gongronella butleri*) и группой грибов со стерильным мицелием (табл. 2). Начиная с 3 км, разнообразие грибов увеличивается и составляет 6–7 видов на участке. С 16-километровой дистанции количество выделенных видов возрастает до 7–11, достигая максимальных значений в 30–40-километровой зоне. Наиболее часто встречались в воздухе исследуемых участков грибы *Aureobasidium pullulans*, *Penicillium raistrickii*, чуть реже *Cladosporium cladosporioides*, *P. multicolor*, *P. spinulosum*, *P. thomii*, *P. trzebinskii*. Анализ значений индекса обилия видов показал, что вблизи комбината (3–16 км) доминировал вид *Gongronella butleri*, на 35 и 50 км – *P. raistrickii*, на 10, 20 и 40 – грибы со стерильным мицелием, на 25 км – *Aureobasidium pullulans*, на 30 – *P. trzebinskii*.

Наибольшее видовое множество грибов отмечалось в 16–50 км: 5 видов фиксировалось только на этих участках (*Aureobasidium pullulans* var. *melanogenum*, *Penicillium chermesinum*, *P. decumbens*, *P. glabrum*, *P. hirsutum* var. *hirsutum*) и не были выделены из воздуха области, расположенной ближе к комбинату «Печенганикель». Вид *Gongronella butleri*, напротив, был отмечен только вблизи комбината и в 13 км от источника выбросов.

В комплексе микромицетов в районе комбината «Печенганикель» выделено 6 видов грибов, относящихся к группе условно-патогенных. Это грибы родов *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Penicillium*, вызывающие различные заболевания органов дыхания, кожных покровов, способствующих развитию аллергических реакций.

В зоне воздействия алюминиевого завода выделено также 14 видов микроскопических грибов, относящихся к 7 родам и группа грибов со стерильным мицелием. Таксономическая структура выявленной микобиоты обозначена отделами *Zygomycota* (1 вид класса *Incertae sedis*), и *Ascomycota* (13 видов из 5 родов, 5 семейств, 5 порядков и 4 классов *Eurotiomycetes*, *Sordariomycetes*, *Dothideomycetes* и *Leotiomycetes*) (табл. 3). Наиболее многовидовой род *Penicillium* представлен 7 видами (50% родового разнообразия выявленной микобиоты), 1 род *Cladosporium* включает в себя 2 вида. Остальные 5 родов показаны 1 видом каждый.

Происходит снижение видового разнообразия комплексов микроскопических грибов при загрязнении выбросами алюминиевого завода (табл. 4). Вблизи комбината видовое разнообразие грибов-аэриобитов представлено 7 видами, на фоновом участке – 11 видами. По показателю индекса обилия на участке 2 км от источника выбросов доминировал гриб *Cladosporium oxysporum* на 10 км – *Penicillium raistrickii* и *C.oxysporum*, а на фоновом участке – грибы рода *Torulai* чуть меньше грибы со стерильным мицелием. Виды *Aspergillus fumigatus* и *P. commune*

встречались только в 2-километровой зоне, *P. miczynskii* и *Sclerotinia sclerotiorum* – только на фоновом участке. Пять видов встречались на всех исследуемых участках: *C. oxysporum*, *P. raistrickii*, *P. thomii*, *Torulasp.*, *Umbelopsis isabellina*.

Таблица 2

Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов воздуха по градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель»

Вид	Расстояние от завода, км													
	1	2	3	5	7	10	13	16	20	25	30	35	40	50
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.				+	+	+			+		+			
<i>Aureobasidium pullulans</i> var. <i>melanogenum</i> Herm.-Nijh.										+		+	+	+
<i>Aureobasidium pullulans</i> (De Bary) Arnaud			+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) Sacc.					+	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>Gongronella butleri</i> (Lendn.) Peyronel et Dal Vesco	+		+				+							
<i>Penicillium chermesinum</i> Biourge													+	
<i>P. decumbens</i> Thom											+			
<i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling								+			+			+
<i>P. hirsutum</i> var. <i>hirsutum</i> Dierckx								+	+				+	
<i>P. multicolor</i> Grig.-Man. Et Porad.			+	+	+			+		+	+	+	+	+
<i>P. raistrickii</i> G.Sm.			+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. spinulosum</i> Thom				+		+	+	+	+	+	+		+	
<i>P. thomii</i> Maire					+	+	+	+	+		+	+	+	
<i>P. trzebinskii</i> K.M.Zalassky			+	+		+	+	+	+	+	+		+	
<i>Sterilia mycelia</i>	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Жирным шрифтом выделены условно-патогенные грибы.

Таблица 3

Таксономическая структура микобиоты воздуха в зоне воздействия Кандалакшского алюминиевого завода (по www.speciesfungorum.org)

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Кол-во видов
Zygomycota	<i>Incertae sedis</i>	<i>Mucorales</i>	<i>Umbelopsidaceae</i>	<i>Umbelopsis</i>	1
Ascomycota	<i>Eurotiomycetes</i>	<i>Eurotiales</i>	<i>Trichocomaceae</i>	<i>Aspergillus</i>	1
				<i>Penicillium</i>	7
	<i>Sordariomycetes</i>	<i>Microascales</i>	<i>Incertae sedis</i>	<i>Torula</i>	1
	<i>Dothideomycetes</i>	<i>Pleosporales</i>	<i>Pleosporaceae</i>	<i>Curvularia</i>	1
		<i>Capnodiales</i>	<i>Davidiellaceae</i>	<i>Cladosporium</i>	2
<i>Leotiomycetes</i>	<i>Helotiales</i>	<i>Sclerotiniaceae</i>	<i>Sclerotinia</i>	1	

В зоне воздействия Кандалакшского алюминиевого завода выделено 8 видов микроскопических грибов, относящихся к группе условно-патогенных. Это грибы родов *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*.

Степень сходства видового состава комплексов микромицетов-аэриобионтов в области влияния медно-никелевого и алюминиевого комбинатов составила 40%, что свидетельствует о низкой схожести видового состава.

Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов воздуха по градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель» к заповеднику «Пасвик»

Виды	Расстояние от завода, км		
	2 км	10 км	50 км
<i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen.	+		
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) Sacc.		+	+
<i>Cladosporium oxysporum</i> Berk et M.A. Curtis	+	+	+
<i>Curvularia intermedia</i> Berk et M.A. Curtis		+	
<i>P. commune</i> Thom	+		
<i>P. decumbens</i> Thom		+	+
<i>P. miczynskii</i> K.M.Zalessky			+
<i>P. raistrickii</i> Smith.	+	+	+
<i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom		+	
<i>P. thomii</i> Maire	+	+	+
<i>P. trzebinskii</i> K.M.Zalessky		+	+
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary			+
<i>Torula</i> sp.	+	+	+
<i>Umbelopsis isabellina</i> (Oudem.) W.Gams	+	+	+
<i>Sterilia mycelia</i>		+	+

Примечание. Жирным шрифтом выделены условно-патогенные грибы.

Таким образом, численность микроскопических грибов в воздухе возле медно-никелевого комбината снижается на порядок по сравнению с удаленными участками, вблизи алюминиевого завода, напротив, отмечается максимальное количество микромицетов, почти в 5 раз превышающее их численность на удаленных участках. Видовое разнообразие комплексов микромицетов-аэриобионтов на территории влияния промышленных предприятий представлено 14 видами в каждой исследуемой области. В таксономическом отношении оно более разнообразно там, где функционирует алюминиевый завод. Наибольшее количество видов в зоне воздействия выбросов обоих комбинатов принадлежит р. *Penicillium*. В районе каждого предприятия формируется типичный комплекс микромицетов. Вид *Penicillium raistrickii* доминировал вблизи обоих предприятий, *Gongronella butleri* – только рядом с медно-никелевым, *Cladosporium oxysporum* – на территории влияния выбросов алюминиевого завода.

Исследования проведены при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и гранта РФФИ № 12-04-00547-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микроскопические грибы в воздушной среде Санкт-Петербурга / под. ред. М.А. Бондарцевой. СПб., Химиздат, 2012. 215 с.
2. Евдокимова Г.А. Сообщества микромицетов в почвах в зоне воздействия алюминиевого завода / Г.А. Евдокимова, М.В. Корнейкова, Е.В. Лебедева // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41, вып.1. С. 20–28.
3. Корнейкова М.В. Комплексы микроскопических грибов в зоне воздействия выбросов комбината «Печенганикель»: Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке. Материалы межд. науч. конф. Санкт-Петербург, 2–4 октября 2013 г. С. 158–161.
4. Корнейкова М.В. Комплексы потенциально патогенных микроскопических грибов в антропогенно загрязненных почвах Кольского Севера / М.В. Корнейкова, Г.А. Евдокимова, Е.В. Лебедева // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46, вып. 5. С. 323–328.
5. Korneykova M.V. Complexes of potentially pathogenic microscopic fungi in anthropogenic polluted soils / M.V. Korneykova, G.A. Evdokimova, E.V. Lebedeva // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2013. № 48. P. 746–752.
6. Микроорганизмы воздушной среды обитания по градиенту загрязнения от комбината «Печенганикель» к заповеднику «Пасвик» / Евдокимова Г.А. [и др.] // Вестник КНЦ. 2012. № 3. С. 22–25.

Сведения об авторе

Корнейкова Мария Владимировна – к.б.н., старший научный сотрудник;
e-mail: korneykova@inep.ksc.ru.

«ИМПУЛЬС» РОССИЙСКО-КИТАЙСКОМУ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ

А.Ф. Усов

Кольский научный центр РАН

Центр физико-технических проблем энергетики Севера

Аннотация

Представлена информация о научных проектах в рамках научно-технического сотрудничества Кольского научного центра РАН и Университета науки и технологий Хуажонг.

Ключевые слова

электроимпульсное разрушение, электроимпульсные технологии, электроимпульсные установки, драгоценные камни, породы драгоценных камней, добыча драгоценных камней



С 5 по 14 ноября 2013 г. в Кольском научном центре РАН (КНЦ РАН) с визитом находился профессор Университета науки и технологий Хуажонг (Huazhong University of Science and Technology, HUST) КНР Хэ Менбинг (He Mengbing). Он ознакомился с российским опытом исследований электроимпульсного способа разрушения материалов, а более конкретно – в тех направлениях, которые выбраны для научно-технического сотрудничества между HUST и КНЦ РАН (рис. 1). Оформлено заключение соглашений, обсужденных во время визита в HUST автора данной публикации в 2012 г. (рис. 2). Рамочное соглашение между КНЦ и HUST

предусматривает проведение работ по направлению: «Технологии на основе электроимпульсного способа разрушения материалов для горного дела и инженерно-технических работ». Договор между Центром физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН и Колледжем инженеров электротехники и электроники (SEEE) HUST предусматривает проведение совместных исследований в области разработки технологий низкотемпературной плазмы и, прежде всего, совместную разработку технологических установок для раскрытия руд, содержащих драгоценные камни (алмазы, изумруды, гранаты, шпинель), и организацию их производства для выхода на рынки стран, осуществляющих добычу драгоценных камней в Юго-Восточной Азии (Бирма, Непал, Индия, Шри Ланка, Афганистан), в Африке (Танзания, ЮАР), в Южной Америке (Колумбия). Планируется также подготовить и издать русско-англо-китайскую книгу по электроимпульсным технологиям.

По инициативе китайской стороны проект «Энергетическая оптимизация электротехнического оборудования для создания компактных электроимпульсных технологических установок» включен в Программу межгосударственного научно-технического сотрудничества РФ и КНР, принятую на XVI сессии российско-китайской подкомиссии по научно-техническому сотрудничеству Комиссии по подготовке регулярных встреч глав правительств, состоявшейся 1 ноября 2012 г. в Пекине.

Россия является родиной принципиально нового – электроимпульсного (ЭИ) способа разрушения геоматериалов [1, 2]. С 1960-х годов разработку способа вели Томский политехнический институт (ныне университет), Кольский филиал АН СССР (ныне Кольский научный центр РАН), Карагандинский политехнический институт и институт "Механобр" (С.-Петербург). Как научное открытие "Закономерность пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульсов напряжения" (авторы: А.А. Воробьев, Г.А. Воробьев и А.Т. Чепиков) этот способ зарегистрирован РАЕН в 1999 г. с приоритетом от 14 декабря 1961 г. Российским ученым принадлежит первенство в разработке научных основ способа [3–6] с демонстрацией его технических возможностей на испытанных впервые в мире опытных образцах установок различного технологического назначения (см. обзоры [7–10]).

Монографический цикл работ по электроимпульсному способу разрушения материалов [4–6] отмечен Российской академией наук премией имени П.Н. Яблочкова за лучшие работы в области электрофизики и электротехники за 2003 год. Определено (постановление Президиума РАН от 10.02.2004), что данными монографическими публикациями заложены основы нового научного направления в электрофизике – физики электровзрыва в конденсированных средах – и его технологического применения для разрушения материалов (электроимпульсная технология). Научная новизна и инновационный потенциал разработок подтверждается присуждением работам этого направления, представляемых КНЦ РАН, золотых медалей II (2002 г.) и VII (2007 г.) Московского международного салона инвестиций и инноваций, VIII Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» в рамках Недели высоких технологий в Санкт-Петербурге (2003 г.).



Рис. 1. Гость из Китая в КНЦ РАН, 2013 г.



Рис. 2. А.Ф. Усов с китайскими молодыми учеными (HUST), 2012

Способ отличается высокой энергетической эффективностью и уникальными технологическими особенностями, позволяющие универсально использовать его для бурения скважин различного диаметра и назначения, дробления и измельчения руд и технических материалов, резания и поверхностной обработки массива и блочного камня. КНЦ РАН проведены научные разработки и опробование в производственных условиях ряда опытных ЭИ-установок: для бурения взрывных скважин в подземных выработках («Апатит», Ковдорслюда); сооружения траншей, котлованов (Северный флот); выделения кристаллов драгоценных камней из вмещающих пород (121 экспедиция Мингео, Малышевское рудоуправление); выделения кристаллов слюды из вмещающих пород (ГОК «Ковдорслюда»); разделки крупногабаритных (до 600–1000 мм) слитков синтетической слюды фтор-флогопит (ВНИИСИМС, г. Александров). Эти работы были выполнены впервые в мире и до последнего времени не имели зарубежных аналогов. Работы кольских ученых и их томских коллег имеют мировое признание, входят в зарубежные и отечественные базы данных научного цитирования.

Однако на пути практической реализации разработок продолжительное время стояли нерешенные до конца технические проблемы кардинального улучшения удельных энергетических и массогабаритных характеристик электротехнического оборудования, обеспечения простоты его обслуживания, высокой эксплуатационной надежности. К настоящему времени по главному вопросу – созданию компактной генерирующей аппаратуры – предложены технические решения, позволяющие более чем на порядок уменьшить габариты оборудования. В разработке зарядных устройств ориентация идет на возможность адаптации к режимам, свойственным электроимпульсному разрушению материалов, схем высокочастотного преобразования напряжения, получивших широкое использование при создании источников питания в различных электротехнических устройствах. В разработке генераторов импульсов начато практическое освоение высказанных еще 40–50 лет назад предложений о возможности использования схем генерирования на основе импульсных трансформаторов (ИТ) и для режимов электроимпульсного разрушения материалов [4]. В радиотехнике и электротехнике импульсные трансформаторы начали использоваться гораздо раньше, начиная с трансформатора Тесла.

При разработке генерирующей аппаратуры мы отталкиваемся от опыта разработки импульсных трансформаторов КНЦ РАН с участием Тольяттинского филиала Всероссийского электротехнического института и Научно-исследовательского института электрофизической аппаратуры (Ленинград) в 1980-е гг. Тогда применением ИТ с магнитопроводом на железе удалось существенно уменьшить размеры генераторов импульсов, в том числе создать вариант ИТ для размещения в скважине. Дальнейшим шагом является переход к использованию материалов с высокой магнитной проницаемостью. Сейчас интерес к этой проблеме обозначили Институт сильноточной электроники Сибирского отделения РАН и Научно-исследовательский институт высоких напряжений, г. Томск. На проверке, по существу, находятся 3 варианта решений [11–13]. Первые результаты выполненных работ обнадеживают [14, 15]. Особенностью демонстрации китайскому коллеге технических возможностей электроимпульсного способа разрушения горных пород и руд в отличие от многих подобных демонстраций в прошлом было то, что выполнялась она с использованием лабораторных образцов компактной техники генерирования импульсов. Автор статьи с коллегами считают, что в настоящее время имеются реальные технические предпосылки для создания компактных и энергетически эффективных электротехнологических комплексов. На доказательство этого и направлено выполнение работ по проекту 16-29 «Энергетическая оптимизация электротехнического оборудования для создания компактных электроимпульсных технологических установок», включенному в Программу межгосударственного научно-технического сотрудничества РФ и КНР. Помимо вопросов, связанных с зарядными устройствами и генерированием импульсов, рассмотрению подлежит энергетическая оптимизация процессов разрушения с использованием комбинированных схем нагружения объекта двумя источниками с отличающимися уровнями напряжения и энергии, вопросы снижения энергетических потерь и уровня шума в системах коммутации импульсов. В этом у китайских коллег есть собственный опыт исследований и технические идеи, которые будут приняты во внимание при проведении работ по проекту.

Компактное электротехническое обеспечение электроимпульсного разрушения открывает путь к практической реализации электроимпульсного способа разрушения материалов в широком спектре технологий – добыча и переработка минерального сырья, горнотехническое и инженерное строительство, переработка и утилизация технических материалов и техногенных твердых отходов. Для сотрудничества с HUST в совместной разработке электротехнологических комплексов на основе электроимпульсного разрушения материалов выбрано направление вскрытия пород с драгоценными камнями. Этот путь является наиболее перспективным в силу следующих причин. Технические средства электроимпульсной дезинтеграции лишены такого осложняющего фактора, как проблема надежности работы изоляционных элементов породоразрушающего инструмента, свойственная устройствам бурения и резания пород. Испытанный в режиме продолжительной работы широкий спектр электродных конструкций, камер и машин электроимпульсной дезинтеграции материалов [6] позволяет осуществлять процесс стадийного вскрытия кристаллосодержащих пород, начиная с исходной крупности в 250–300 мм. Электроимпульсная технология вскрытия кристаллосырья отличается минимальным нарушением целостности освобождаемых кристаллов, выход кондиционного продукта в несколько раз выше, чем при других способах извлечения сырья. Столь высокий технологический эффект на продукте очень высокой стоимости гарантирует экономическую эффективность технологии при существующем уровне ресурса работы электротехнического оборудования. У КНЦ достаточно богатый практический опыт создания демонстрационных (опытно-промышленных) установок для извлечения драгоценных камней. Три установки были разработаны для комплексных разведочно-добычных экспедиций Министерства геологии СССР, одна – с производительностью 2 т/час по исходной руде – работала в Малышевском рудоуправлении, г. Асбест, по вскрытию отбираемых с транспортной ленты продуктивных на изумруды «желваков». Продукт вскрытия гранатосодержащих пород Кейвского месторождения, продемонстрированный китайским коллегам, представлен на рис. 3. Ученые Центра надеются, что кооперация с HUST, обладающим высококвалифицированными кадрами в области электроники, электротехники, а также материально-техническими ресурсами подразделений (национальных лабораторий), будет продуктивной, способствуя тем самым продвижению практического использования российских разработок в области электроимпульсных технологий.



Рис. 3. Продукт электроимпульсного дробления гранатсодержащих пород Кейвского месторождения

ЛИТЕРАТУРА:

1. Воробьев А.А. Электрические разряды обрабатывают материалы, разрушают твердые тела // Изв. Томск. политехн. ин-та. Томск: Изд-во ТГУ, 1958. Т. 95. С. 315–339;
2. Воробьев А.А. Разрушение горных пород электрическими импульсными разрядами. Томск: Изд-во ТГУ, 1961. 150 с.
3. Импульсный пробой и разрушение диэлектриков и горных пород / А.А. Воробьев [и др]. Томск: Изд-во ТГУ, 1971. 225 с.
4. Усов А.Ф. Переходные процессы в установках электроимпульсной технологии / А.Ф. Усов, Б.В. Семкин, Н.Т. Зиновьев. Л.: Наука, 1987. 179 с.
5. Семкин Б.В. Основы электроимпульсного разрушения материалов / Б.В. Семкин, А.Ф. Усов, В.И. Курец. Апатиты: КНЦ РАН, 1995, 276 с.
6. Курец В.И. Электроимпульсная дезинтеграция материалов./ В.И. Курец, А.Ф. Усов, В.А. Цукерман. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 324 с.
7. Усов А.Ф. Перспективы технологий электроимпульсного разрушения горных пород и руд // Известия РАН. Энергетика. 2001. №1. С. 54–62.
8. Усов А.Ф. Современное состояние и перспективы электроимпульсных технологий в горном деле / А.Ф. Усов, В.А. Цукерман // Горный информационно-аналитический бюллетень. № 7. М.: МГГУ, 2001. С. 161–170.
9. Усов А.Ф. Новые процессы и технологии на основе электроимпульсного способа разрушения материалов // Наука Москвы и регионов. 2002. №2. С. 52–61
10. Усов А.Ф. Полувековой юбилей электроимпульсного способа разрушения материалов // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 4. С. 165–192.
11. Усов А.Ф. Электротехническое обеспечение электроимпульсного способа разрушения материалов: проблема и пути решения / А.Ф. Усов, В.В. Бородулин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 4. С. 164–170.
12. Высоковольтный импульсный генератор для электроразрядных технологий / Г.Г. Канаев [др.] // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 1. С. 105–109.
13. High-voltage pulsed generator for dynamic fragmentation of rocks / V.M. Kovalchuk [et. al.] // Rev. Sci. Instrum. 81, 103506 (2010); doi:10.1063/1.3497307.
14. Усов А.Ф. О стратегии разработки и освоения электротехнического оборудования для технологий электроимпульсного разрушения материалов: материалы Всероссийской (с международным участием) конф. по физике низкотемпературной плазмы «ФНТП-2011», г. Петрозаводск, 21–27 июня 2011 г. / А.Ф. Усов, А.С. Потокин. Петрозаводск: Изд. ПетрГУ, 2011. Т. 2. С. 62–69.
15. Усов А.Ф. Концептуальные решения для создания компактных мобильных технологических комплексов на основе электроимпульсного способа разрушения материалов/ А.Ф. Усов, А.С. Потокин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 2.

Сведения об авторе

Усов Анатолий Федорович – к.т.н., старший научный сотрудник Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН; e-mail: usov@admksk.apatity.ru

**V Всероссийская научная конференция с международным участием
«Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона
в технологии строительных и технических материалов»
ИХТРЭМС КНЦ РАН, 12–15 ноября 2013 г.**

Конференция прошла при финансовой поддержке Президиума РАН, Отделения химии и наук о материалах РАН, ИХТРЭМС КНЦ РАН. В работе конференции приняли участие сотрудники трех научных центров РАН: Кольского (институты: ИХТРЭМС, Геологический, Горный, ИППЭС, экономических проблем), Карельского (институт геологии), Коми (институт геологии), а также Объединенный институт высоких температур РАН, Институт теплофизики СО РАН, Институт общей и неорганической химии. Среди участвовавших учреждений высшего профессионального образования – государственные университеты Санкт-Петербурга (архитектурно-строительный, путей сообщения, Политехнический и Санкт-Петербургский государственный университет), Петрозаводский государственный университет, Мурманский государственный технический университет, Ереванский государственный университет архитектуры и строительства, Луганский государственный аграрный университет. Авторами ряда сообщений являлись представители таких крупных организаций, как Российское информационное агентство, ассоциация «Недра», Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, ОАО «Апатит», «Кольская горно-металлургическая компания», ОАО «Мурманская геологоразведочная экспедиция».

На конференции, посвященной фундаментальным и прикладным аспектам решения актуальных проблем рационального природопользования применительно к технологиям строительных и технических материалов, были заслушаны доклады на пленарной сессии и четырех научных секциях:

- Минеральные ресурсы Баренц-региона. Проблемы переработки природного и техногенного сырья;
- Проблемы строительного материаловедения и технологии строительных материалов из местного сырья;
- Химия и технология технических материалов из природного сырья и отходов промышленности;
- Экономические проблемы развития северных территорий.

В работе конференции приняли непосредственное участие 131 специалист, в том числе академик РАН, член-корреспондент РАН, 16 докторов наук, 54 кандидата наук. Всего было сделано 8 пленарных и 52 устных секционных докладов.

**«Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы»
ИЭП КНЦ РАН, 6–8 ноября 2013 г.**

Институтом организована и проведена Всероссийская научно-практическая конференция при поддержке гранта РФФИ № 13-06-06091 «Научный проект организации всероссийской научно-практической конференции, а также при поддержке гранта Минобрнауки по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры современной России», № 2012-1.2.1-12-000-3002-007, «Формирование стратегических приоритетов развития Российской Арктики» и гранта РГНФ 12-32-06001 «Российская Арктика: современная парадигма развития». Соорганизаторами конференции выступили: филиал Санкт-Петербургского государственного экономического университета в г. Апатиты и Мурманский институт экономики филиал НОУ ВПО «Санкт-Петербургский университет управления и экономики».

Конференция посвящена экономическим, правовым, социальным и экологическим аспектам развития Севера и Арктики России в условиях современности. В конференции приняли участие представители научных и образовательных учреждений из российских регионов (более 150 чел.). В рамках конференции проходила «Школа молодых ученых», в которой приняли участие студенты, аспиранты и молодые ученые, а также ведущие ученые, участники конференции.

**IX Всероссийская научная школа «Математические исследования в естественных науках».
ГИ КНЦ РАН, 10–11 октября 2013 г.**

В Геологическом институте КНЦ РАН (г. Апатиты) при поддержке Кольского отделения Российского минералогического общества, Совета молодых ученых и специалистов ГИ КНЦ РАН, а

также при финансовой поддержке Комиссии РАН по работе с молодежью была проведена IX Всероссийская научная школа «Математические исследования в естественных науках». В ней приняли участие научные сотрудники из 8 городов: Апатиты, Благовещенск, Владимир, Долгопрудный, Екатеринбург, Москва, Санкт-Петербург, Тольятти, представляющие следующие 14 организаций: Институт химии силикатов РАН (Москва), Институт элементоорганических соединений РАН (Москва), Горный университет (Санкт-Петербург), Санкт-Петербургский Государственный университет, Московский физико-технический институт, Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Геологический институт КНЦ РАН, Научный отдел медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике, КНЦ РАН, Полярный геофизический институт, Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Владимирский государственный университет, Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН и Тольяттинский государственный университет. Почетным гостем научной школы стала неоднократная участница Математической школы М.Е. Раменская (МГУ). В качестве пленарного докладчика выступил д.т.н., профессор, член-корреспондент Российской экологической академии, в.н.с. Г.В. Жижин. Доклады научной школы были разделены на две секции: геологическую и геофизическую (по одному дню на секцию). По окончании для участников научной школы были организованы две экскурсии: в Музей геологии и минералогии им. И.В. Белькова ГИ КНЦ РАН и Музей истории изучения и освоения Европейского Севера России (г. Апатиты).

Грушенко Э.Б. Туризм на Европейском Севере России и в Западной Арктике / Э.Б. Грушенко, А.М. Васильев. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 90 с.

Рассматриваются актуальные вопросы развития туристской отрасли экономики на Европейском Севере России (Мурманская, Архангельская, Вологодская области, Республика Карелия) и в Западной Арктике.

В начальных главах анализируется успешный отечественный и зарубежный опыт развития туризма, проблемы государственной федеральной и региональной политики, законодательной базы развития туристской отрасли. В последующих главах широко освещаются вопросы современного состояния и перспектив развития туристской отрасли экономики на северо-европейских и западно-арктических территориях России. Проведена оценка социально-экономических аспектов перспективных инвестиционных и инновационных туристских проектов.

Монография представляет интерес для практических работников туристической отрасли, научных работников, туристов, преподавателей, аспирантов и студентов.

Казаков Л. Соседи – Naapurit (общество дружбы двух народов). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 101 с.

В книге описана история первой в Мурманской области общественной организации, созданной в период начала нового времени в России для развития дружеских отношений с соседней страной. Показана роль российских и финских членов обществ дружбы в установлении постоянных и прочных связей между жителями Мурманской области и Северной Финляндии. Представлены современная деятельность общества дружбы "Соседи – Naapurit", перспективы и планы на дальнейшее развитие общественных связей.

Кольская энциклопедия. Т. 3: Л–О. / гл. ред. В.П. Петров. Мурманск: РУСМА, 2013. 480 с.

Кольская энциклопедия – региональное универсальное научно-справочное издание о Мурманской области, содержащее систематизированную информацию о ее природе, истории, политике, экономике, социальной сфере, культуре, науке и искусстве, о месте и роли Кольского края в истории России, соседних регионов и стран, о людях, внесших значительный вклад в его освоение и развитие.

Издание осуществлено при поддержке и непосредственном руководстве губернатора Мурманской области. К работе над Кольской энциклопедией был привлечен широкий круг специалистов по многим отраслям знаний – истории, естествознанию, литературе и др., сотрудников ведущих вузов области, ученых институтов КНЦ РАН, работников архивов, музеев и библиотек, представителей творческих союзов, любителей-краеведов.

В третий том Кольской энциклопедии включены статьи с буквы Л до буквы О.

Physics of Auroral Phenomena. Proceedinds of the 36th Annual Seminar. Apatity, 26 February – 01 March 2013 Apatity, Print. Kola Science Centre RAS. 2013. 215 p.

70



ЧУРКИН Олег Елиферович

К.т.н. (1980), заведующий лабораторией системного моделирования горного производства (2004), ученый секретарь Горного института КНЦ РАН (2010). В Кольском научном центре работает с 1970 г. после окончания Ленинградского горного института.

Специалист в области технологии подземной добычи руд, системного анализа и технико-

экономической оценки месторождений полезных ископаемых.

Им обоснованы и определены основные параметры горных предприятий на стадиях технико-экономической оценки перспективных рудных месторождений Кольского п-ова с использованием информационных технологий. Выполнен анализ состояния и перспектив практического использования неосвоенных полезных ископаемых, технико-экономическая оценка перспективных месторождений Мурманской области и определены наиболее привлекательные с инвестиционной точки зрения объекты. Разработана комплексная методология и ранжирование перспективных апатитовых месторождений России по промышленной значимости и экономической эффективности.

Олег Елиферович является авторитетным и высококвалифицированным специалистом, получившим признание в научных учреждениях и на горных предприятиях региона. Его работы находят широкое применение в геологоразведочных и горных предприятиях Кольского п-ова.

Опубликовано более 80 его работ, в том числе 4 монографии (в соавторстве).

О.Е. Чуркин ведет активную преподавательскую деятельность в Кольском филиале Петрозаводского государственного университета и Апатитском филиале Мурманского государственного технического университета.

Награжден междотраслевыми знаками «Горняцкая Слава» I, II степени, знаком «Трудовая Слава» III степени, Почетной грамотой РАН и профсоюза работников РАН, Почетной грамотой губернатора Мурманской области, имеет благодарности и грамоты института, ему присвоено звание «Ветеран труда».



Юбилары

NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES

O.V. Shabalina, E.Ya. Patsiya	Personal Fund of Academician A. Fersman in the Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS.....	3
N.K. Belisheva, N.A. Melnik, Y. Balabin, T.F. Burkova, L.F. Talykova	The Contribution of Man-Made and Natural Sources of Ionizing Radiation to Morbidity Structure of Murmansk Regin.....	9
V.P. Petrov, L.S. Petrovskaya, M.N. Petrovsky, M.G. Tymopheeva	High-Calcium Silica-Alumina Gneisses in Central Kola Block: Geological and Metamorphic Origin.....	27
G.Yu. Ivanyuk, A.O. Kalashnikov, V.A. Sokharev, Ya.A. Pakhomovsky, A.V. Bazai, Yu.A. Mikhailova, N.G. Konoplyova, V.N. Yakovenchuk, P.M. Goryainov	Three-Dimensional Mineralogical Model of the Kovdor Magnetite-Apatite-Baddeleyite Deposit.....	44
N.N. Melnikov, A.A. Kozyrev, S.V. Lukchev	Deep Mining – New Technologies.....	58
G.I. Kadyrova, E.K. Kopkova, E.A. Shchelokova, P.B. Gromov	The Study of the Mechanism of Phosphoric Acid Extraction by One Atomic Aliphatic Alcohols Using the Method of IR Spectroscopy.....	67
V.G. Kremenetsky, S.A. Kuznetsov	Quantum-Chemical Study of the Stable Complex Particles Composition in Alkali Metal Halide Melts.....	74
T.A. Kornilova, I.A. Kornilov	<i>Ground Based and Themis Observations of 24.01.2012 CME Event</i>	78
D.G. Ishkulov, A.L. Mikhailyuk, M.V. Pakhomov	Features of Color Vision in Grey Seal.....	84
O.N. Svetocheva, E. Eriksen	Morphological Characteristics of the Demersal Fish Otoliths in the Barents sea.....	91
A.V. Melekhin	Additions to Lichen Biota of the Murmansk Region.....	105
M.V. Korneykova	Micobiota of Air Environment in the Impact Area of Industrial Enterprises on Kola Peninsula.....	108
A.F. Usov	"Impulse" for Russian-Chinese Scientific and Technical Cooperation.....	113
	CONFERENCES, WORKSHOPS	117
	NEW BOOKS	119
	ANNIVERSARIES	120
	CONTENTS	121

O.V. Shabalina, E.Ya. Patsiya

PERSONAL FUND OF ACADEMICIAN A. FERSMAN IN THE MUSEUM-ARCHIVE OF THE EUROPEAN NORTH INVESTIGATION AND EXPLORATION HISTORY OF THE BCH OF THE KSC RAS

This paper presents the materials of the personal fund of the academician A. Fersman, which is stored in the Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS.

Keywords: Museum-Archive, Kola North, Northern Branch of the USSR Geographic Society, history of exploration and development of Kola Peninsula, A. Fersman, personal fund, BCH KSC RAS.

N.K. Belisheva, N.A. Melnik, Y.V. Balabin, T.F. Burkova, L.F. Talykova

THE CONTRIBUTION OF MAN-MADE AND NATURAL SOURCES OF IONIZING RADIATION TO MORBIDITY STRUCTURE OF MURMANSK REGION

The contribution of man-made and natural sources of ionizing radiation into the morbidity structure of the Murmansk region is demonstrated. Significant correlations were found between the average annual effective dose of radionuclides fallen in the northern hemisphere due to atmospheric testing of nuclear weapon and indices of infant and perinatal mortality; stillbirth and congenital malformations (CM) of children. A link was also revealed between the dynamics of the CM and the noble gases emissions at Kola atomic power plant as well as with Cosmic rays intensity variations. Prevalence rates of tuberculosis and cancer for adults occurred to be correlated with variations of cosmic rays. Contamination of the Arctic by radionuclides of man-made origin is a major cause of the morbidity increase for local population. Natural sources of ionizing radiation can modulate sensitivity of humans to exposure of the man-made sources of radiation.

Keywords: Ionizing radiation, natural and man-made sources, cosmic rays, Be-7, radon, atmosphere, impact to morbidity, Murmansk region.

V.P. Petrov, L.S. Petrovskaya, M.N. Petrovsky, M.G. Tymopheeva

HIGH-CALCIUM SILICA-ALUMINA GNEISSES IN CENTRAL KOLA BLOCK: GEOLOGICAL AND METAMORPHIC ORIGIN

Geological-petrological and petrogeochemical properties are described for high-calcium silica-alumina gneisses of the Kola series in the Central Kola Block of the Kola peninsula, which are featured with specific chemical and mineral composition compared to "classical" gneisses of the Kola series. Petrochemical data analysis and peculiarities of microelements distribution within the rock mass are used to ground a reconstruction of the protolyte composition and origin as well as geodynamical situations during their forming.

Keywords: Central Kola Block, high-calcium gneiss, metamorphism, P-T conditions, age, reconstruction, protolyte, geodynamical situations.

G.Yu. Ivanyuk, A.O. Kalashnikov, V.A. Sokharev, Ya.A. Pakhomovsky, A.V. Bazai, Yu.A. Mikhailova, N.G. Konoplyova, V.N. Yakovenchuk, P.M. Goryainov

THREE-DIMENSIONAL MINERALOGICAL MODEL OF THE KOVDOR MAGNETITE-APATITE-BADDELEYITE DEPOSIT

A three-dimensional mineralogical model of the Kovdor magnetite-apatite-baddeleyite deposit is presented. The deposit includes concentrically zoned phoscorite-carbonatite pipe that is intruded through eastern contact of alkaline and ultrabasic rocks of the Kovdor massif. Petrographic zoning of the pipe is reflected in the composition and properties of ore minerals, which cause vertical zoning of the pipe and must be considered for optimization of ore extraction and processing.

N.N. Melnikov, A.A. Kozyrev, S.V. Lukchev

DEEP MINING – NEW TECHNOLOGIES

Current state of mining industry is characterized by the trend towards rapid development of deep mining thus resulting in increased production costs of mineral extraction and having negative impact on safety of mining works.

It is possible to decrease open-pit mining costs due to pit wall steeping following the fulfillment of a set of conditions whose neglecting can lead to serious consequences such as fatalities, machinery destruction, shutdown or decline in plant capacity.

The calculation problem of pit wall and slope face optimum angle has become difficult due to required consideration of rock mass structure and its stress state as well as slope stability impacted by seasonal precipitation. This kind of problem has been solved for the Kovdorsky GOK. To provide this solution, the following measures were taken: geological-structural mapping of the deposit, pit wall design with double bench and vertical slope angles, development of smooth blasting, pit wall state and near contour rock mass

monitoring system. Geomechanic state of the rock mass is of great importance for providing safety and stability of an underground mine' work.

Comprehensive solution of the safety problem is in transition to minimally-manned operation and to unmanned production techniques in the future. Accepting such technologies is future-proof not only in terms of miners' safety but also in reduction of the costs related to comfortable and safe working conditions.

Fully autonomous LHD machinery is already used in the mines of LKAB (Sweden) and Inca (Canada) as well as El Teniente (Chile) and Jundee (Australia).

Over the last years technological process automation during open-pit mining is actively developed.

Keywords: mining, open-pit mine, underground mine, pit wall, slope angle, berm, overburden ratio, stress-strained state, rock burst, mining-induced earthquake, minimally-manned operation, remote control, autonomous transport.

G.I. Kadyrova, E.K. Kopkova, E.A. Shchelokova, P.B. Gromov
**THE STUDY OF THE MECHANISM OF PHOSPHORIC ACID EXTRACTION
BY ONE ATOMIC ALIPHATIC ALCOHOLS USING THE METHOD OF IR SPECTROSCOPY**

Using the method of IR spectroscopy, there has been examined the mechanism of phosphoric acid extraction with the one-atomic aliphatic alcohols, namely n-pentanol, n-octanol, iso-octanol, and n-decanol. All the IR spectra of extracts have revealed bands of hydroxonium ion H_3O^+ and ether groups P-O-Alk. It has been concluded that the process of phosphoric acid extraction can perform by two mechanisms: either hydrate-solvate or chemical interaction. A correlation between the quantity of water passed to the extract at different $C_{H_3PO_4}$ and the acid distribution coefficient has been observed.

Keywords: phosphoric acid, aliphatic alcohols, extraction mechanism, IR spectroscopy.

V.G. Kremenetsky, S.A. Kuznetsov
**QUANTUM-CHEMICAL STUDY OF THE STABLE COMPLEX PARTICLES COMPOSITION
IN ALKALI METAL HALIDE MELTS**

The main goal of the work is in quantum-chemical prove of existence the stable complex species formed by the transition metal halide complex and outer-sphere shell of the certain composition in alkali metal halide melts. The novelty of the approach used in this study is the direct calculation of the interaction energies of the second coordination sphere fragments with both the chromium complex itself and the outside environment of this fragment.

As an example, the extended model systems $M_3CrCl_6+18MCl$ ($M - Na, K$) are used, for which the optimized structures and energies are obtained by quantum-chemical methods. Based on these data and additional calculations related to fragments of these systems, it was concluded that the stable particles "complex with outer-sphere shell" are formed in such systems.

Keywords: chromium chloride complex, DFT calculations, stable particles in melts, fragments interaction energy.

T.A. Kornilova, I.A. Kornilov
GROUND BASED AND THEMIS OBSERVATIONS OF 24.01.2012 CME EVENT

On the base of auroral white light TV observations at Lovozero, Barentsburg and Canadian Themis ASI data magnetospheric and auroral effects of 24.01.2012 strong CME (Coronal Mass Ejection) event were investigated. It is very important that magnetosphere was very quiet during more then 8 hours before CME event, so effect of CME interaction with magnetosphere can be studied without masking effects. Comparison of fine details of aurora dynamics with Themis satellites data on magnetic and electric fields and particle fluxes in energy range 10 eV – 500 keV allowed making preliminary conclusions concerning auroral electrons source localization and acceleration mechanism. Specifically, it was found that auroral activity at Lovozero leaded strong Barentsburg aurora for about 7 minutes.

Keywords: coronal mass ejection, solar wind, magnetosphere, aurora.

D.G. Ishkulov, A.L. Mikhailuyuk, M.V. Pakhomov
FEATURES OF COLOR VISION IN GREY SEAL

One of the most effective methods to protect offshore and near-shore facilities and infrastructure is using biotechnical marine mammal systems, i.e. systems that combine marine animals, human personnel, and technical equipment. Among other marine mammals, grey seals are of great potential to be used as a key functional biologic element of these animal/human systems. In order to develop new methods of training marine mammal capabilities to operate against unauthorized swimmers and SCUBA divers, to find, mark the location and salvage objects resting on the sea floor or drifting in the water, one needs knowledge on perception of colors by the seals. Scientific publications on the color vision of common seals are scarce, fragmentary, and mostly theoretic. Data on the color perception in grey seal are almost unavailable.

This paper analyzes results of tests performed to study the capability of grey seals to differentiate spectral colors one from another and from their monochrome analogues. The experiments have proved that the grey seals demonstrate highly developed color vision.

Keywords: grey seal, color vision, biotechnical systems.

O.N. Svetocheva, E. Eriksen

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE DEMERSAL FISH OTOLITHS IN THE BARENTS SEA

The article presents new data on the otoliths morphology for demersal fish in the Barents Sea. We consider the morphological features of the otolith form and describe variations of otolith sculpture (outer and inner sides of it) for 6 species of eelpout Zoarcidae and 5 species of gobies Cottidae in the same vein. We also provide original photographs of otoliths and fish. This research is of interest to specialists on ecology and fish morphology as well as feeding ecology of marine mammals in the Barents Sea, where correct identification for the food composition is very important.

Keywords: otoliths, morphology, Barents Sea, trophology.

A.V. Melekhin

ADDITIONS TO LICHEN BIOTA OF THE MURMANSK REGION

Four lichens species (*Absconditella delutula*, *Arthonia muscigena*, *Lecania suavis*, and *Pyrenopsis haemalella*) are reported for the first time for the Murmansk Region. Specimen of *Pertusaria excludens* Nyl. from the Lapland State Nature Reserve, earlier recorded as new species for this region, is re-identified as *Bellemeria subsorediza* (Lynge) R. Sant.

Keywords: lichens, Murmansk region, new findings.

M.V. Korneykova

MICROBIOTA OF AIR ENVIRONMENT IN THE IMPACT AREA OF INDUSTRIAL ENTERPRISES ON KOLA PENINSULA

The analysis of the air mycobiota was carried out in the summer and autumn 2012 at different distances from the emission source of "Pechenganickel" copper-nickel and Kandalaksha Aluminium Plant. The tendency to increase the number of microscopic fungi was registered with growing the distance from "Pechenganickel"; it was 2–22 CFU/m³ within 5 km and ranged from 55 to 250 CFU/m³ for distances 7–50 km. Close to the Kandalaksha Aluminium Plant, the higher number of microscopic fungi was noted as compared with distant plots (830 CFU/m³ at 0.5 km, 35–135 CFU/m³ at distant plots). Fungi g. *Penicillium* were the most diverse in the air of both plants. Near the copper-nickel plant, species of *Gongronella butleri* and *Penicillium raistrickii* dominated, near the aluminium plant they were *Cladosporium oxysporum*, *P. raistrickii*. Near the industrial centers, potentially pathogenic fungi of the genera *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Penicillium* were found in the air.

Keywords: microscopic fungi, air environment, potentially pathogenic fungi, pollution.

A.F. Usov

"IMPULSE" FOR RUSSIAN-CHINESE SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION

The paper introduces information on research projects within the framework of scientific-technical cooperation between the Kola Science Centre and the University of Huazhong Science and Technology.

Keywords: electric pulse destruction, electric pulse technology, electric pulse installations, precious stones, gems rocks, gems mining.