

*Российская Академия Наук*

# ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

2/2014



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

*Российская Академия Наук*

**2/2014(17)**

издается с декабря 2009 года

ISSN 2307-5228

ISBN

# ВЕЕСТНИК

## Кольского научного центра РАН

Учредитель - Учреждение Российской академии наук Кольский научный центр РАН

Главный редактор - академик В.Т. Калинин

Заместители главного редактора:

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

Редационный 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 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.apatij.ru

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

О.В. Шабалина	История арктических экспедиций в материалах персональных фондов Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН.....	3
Н.К. Белишева, А.А. Мартынова, С.А. Пряничников	Функциональное состояние организма различных возрастных групп населения села Краснощелья как индикатор здоровья в комплексной оценке качества жизни..	19
Ю.Л. Войтеховский, Т.А. Мирошниченко	Международные проекты «ABC G HERITAGE – ARCTIC BIOLOGICAL, CULTURAL AND GEOLOGICAL HERITAGE» и «FODD – FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE» – примеры международного сотрудничества в Арктической зоне.....	34
Т.В. Рундквист	Экспедиционная деятельность ГИ КНЦ РАН, направленная на развитие минерально-сырьевой базы Арктики, решение фундаментальных задач геологии и международное сотрудничество.....	39
В.Я. Евзеров, А.Н. Виноградов, С.Б. Николаева	Геодинамика беломорской котловины в голоцене.....	51
П.В. Амосов, Н.В.Новожилова	Влияние пористости многолетнемерзлых горных пород на глубину оттаивания.....	59
А.С. Опалев, М.С. Хохуля, В.В. Бирюков	Энерго-ресурсосберегающая технология получения магнетит-гематитового концентрата из железистых кварцитов группы месторождений Заимандровского района.....	67
В.Ф. Скороходов, Р.М.Никитин, А.С.Степанникова	Совершенствование технологии получения нефелинового концентрата.....	75
В.Т. Калинин, И.П. Кременецкая, Л.А. Иванова	Приемы адаптивных технологий при создании культурфитоценозов в условиях техногенных ландшафтов Субарктики, загрязненных тяжелыми металлами .....	80
А.И. Николаев, Л.Г. Герасимова, М.В. Маслова	Новые сорбенты на основе техногенных продуктов ОАО «Апатит» для обезвреживания радиоактивных и токсичных отходов.....	91
В.И. Демин, П.Н. Священников, Б.В. Иванов	Изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы и современное потепление климата на Кольском п-ове.....	101
В.А. Даувальтер, Н.А. Кашулин	Химический состав донных отложений системы реки Пасвик в условиях глобального и локального загрязнения.....	106
О.И. Вандыш, Н.А. Кашулин, А.А. Черепанов	Долговременные изменения зоопланктонных сообществ озера Имандра в условиях разноуровневого загрязнения стоками горнорудного производства.....	121
А.В. Бурцев, Ю.М. Невретдинов, А.Н. Сытина	Опыт регистрации грозовой активности на территории Кольского полуострова.....	130
	<b>КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ</b> .....	138
	<b>НОВЫЕ КНИГИ</b> .....	140
	<b>ЮБИЛЯРЫ</b> .....	142
	<b>AD MEMORIAM</b> .....	149
	<b>CONTENTS</b> .....	151

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: Е.Т. Мартынова, И.Г. Савчук, Я.А. Стогова, Л.А. Тимофеева

И.о. зав. издательством В.И. Бондаренко

Верстка, фото В.Ю. Жиганов

УДК 910.4:069(98) (470.21)

## ИСТОРИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ В МАТЕРИАЛАХ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ФОНДОВ МУЗЕЙ-АРХИВА ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА ЦГП КНЦ РАН

О.В. Шабалина

Центра гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН

### Аннотация

Представлены материалы персональных фондов участников арктических экспедиций к. XIX – п.п. XX вв., отражающих историю их организации и проведения и принадлежащих Музею-Архиву истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН.

### Ключевые слова:

*Арктические экспедиции к. XIX – п.п. XX вв., Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН.*



Арктика как уникальный по своим климатическим, геополитическим условиям, природным ресурсам и как полиэтнокультурный регион находится в фокусе неугасающего интереса политических деятелей и ученых на протяжении нескольких столетий. Особенный всплеск научно-исследовательской деятельности в этом регионе имел место в XIX в. в связи с обострившимися политическими процессами раздела сфер влияния между ведущими мировыми державами. Наиболее остро оспаривались территории в Европейском Арктическом секторе, которые Россия традиционно считала своими землями (арх. Шпицберген, Новая Земля и др.) и утрачивала в силу сложившихся конкретно-исторических условий (например, арх. Шпицберген). Научно-промышленное освоение этого региона в XX в. продолжалось с постоянным интересом многими странами мира. В третье тысячелетие мировое сообщество вошло уже с осознанием особой позиции Русской Арктики и Субарктики (и Кольского Севера, как их части) в геополитическом пространстве, его стратегической роли в решении глобальных проблем человечества, формировании устойчивости социальных и природных систем Земли, несомненного влияния на историю и развитие международных научных исследований. Таким образом, в настоящее время особую актуальность приобретает необходимость изучения и сохранения культурного, научного и исторического наследия данного региона.

При проведении исследований по проблеме истории изучения и освоения Арктики (в т.ч. истории организации и проведения арктических экспедиций) широко используются архивные источники, но предпочтение отдается официальным документам, научно-исследовательской и управленческой документации. Сложившаяся в гуманитарных науках ситуация, определяющая как приоритетные историко-культурный и антропологический подходы в исследованиях, требует больше привлекать для работы личные документы.

Музей-Архив истории изучения и освоения Европейского Севера Центра гуманитарных проблем (ЦГП) Баренц-региона Кольского научного центра (КНЦ) Российской академии наук (РАН), созданный в 1974 г. по решению президиума Географического общества (ГО) СССР при его Северном филиале (СФ) в г. Апатиты, хранит и экспонирует как типичные музейные (предметы быта, научный инструментарий и т.д.), так и традиционно архивные объекты – документальные материалы персональных фондов и коллекций отечественных ученых, деятелей науки, путешественников и мореплавателей, чьи исследовательские интересы и активная трудовая деятельность были связаны с экспедиционными исследованиями в Арктике. Среди них: геолог М.А. Лаврова, гидробиологи и океанологи: акад. Л.А. Зенкевич, А.Ф. Лактионов, В.П. Кальянов, К.М. Дерюгин, и мн. др. В настоящей работе представлены материалы персональных фондов ученого-естествоиспытателя К.М. Бэра, полярного капитана

Н.И. Тульского, путешественника и художника Н.В. Пинегина, географа Г.Д. Рихтера, гидрометеоролога И.С. Песчанского как потенциальные источники по истории арктических экспедиций.

Карл Эрнст фон Бэр (1792–1876) – один из величайших и разносторонних мировых ученых. Он – основатель современной эмбриологии как науки, ботаник, энтомолог, зоолог, ихтиолог, врач, анатом, антрополог, этнограф, географ. Написал труд о полярных исследованиях Петра I, впервые установил существование такого явления, как вечная мерзлота. Карл Бэр – один из идеологов и основателей Русского Географического общества. Полярный исследователь. Иностраный член-корреспондент (1826), академик (1828–1830 и 1834–1962), почетный член Петербургской академии наук (1862). И первый естествоиспытатель, побывавший в 1837 г. с экспедицией на Новой Земле [1].

Будучи экстраординарным профессором зоологии в университете Кёнигсберга, К.М. Бэр планировал естественно-историческое путешествие на север России: он тогда уже мечтал об экспедиции на Новую Землю и к северным берегам Сибири. Однако из-за непреодолимых препятствий, имевших место в это время, пришлось отказаться от претворения мечты в жизнь до переезда в Петербург в 1834 г.

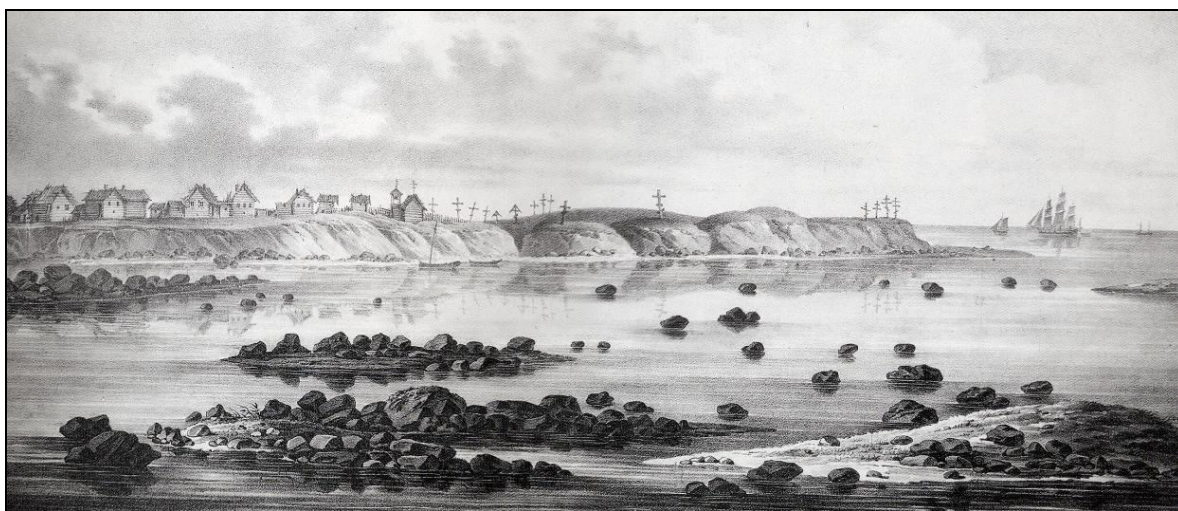
Став петербургским академиком, Бэр указывает прежде всего на необходимость исследования неизученной северо-восточной части Новой Земли, чтобы завершить, таким образом, географическую характеристику всех берегов и проведение естественно-научных работ на архипелаге, где еще никогда не бывал ни один натуралист [2].

20 мая 1837 г. К.М. Бэр получил официальное уведомление о назначении его начальником экспедиции на Новую Землю. Под руководством академика в ее состав вошли: в качестве научного сотрудника – дерптский студент А.А. Леман, получивший рекомендации как многообещающий натуралист и особенно геогност; в качестве художника – горный чиновник (гиттенфервальтер) Санкт-Петербургского монетного двора Редер, рекомендованный К.М. Бэру не только как художник, но и как молодой человек, имеющий геогностические сведения и готовый ко всяческим лишениям; в качестве препаратора – академический ученик Зоологического музея Егор Филиппов; один слуга, имя которого осталось неизвестным. Командиром экспедиционного судна был назначен прапорщик корпуса флотских штурманов А.К. Циволька [2, 3]. На маленькой шхуне «Кротов» и ладье «Святой Елисей» 16 июля экспедиция достигла самой западной части Новой Земли. 19 июля, следуя вдоль западного берега на север, ночью суда подошли к проливу Маточкин Шар, разделяющему Новую Землю на 2 части. В течение первых 8 дней пребывания на Новой Земле экспедицией были изучены в геологическом, ботаническом и зоологическом отношениях берега по обе стороны пролива. 28 июля К.М. Бэр совершил экскурсию на северную часть Новой Земли. Далее был обследован с естественно-исторической точки зрения западный берег. А.А. Леман тщательно изучил геологию этих мест. Со шхуны «Кротов» были произведены сборы низших морских животных. 31 августа экспедиция покинула Новую Землю, на которой провела 6 недель. Только через 8 дней крайне тяжелого и утомительного плавания суда добрались до берегов Лапландии, бросив якорь у Семи Островов [2, 3].

К сожалению, первоначальный план экспедиции по описанию северо-восточного берега Новой Земли не был осуществлен, прежде всего, из-за многодневных задержек в плавании парусных судов в ожидании нужных ветров. Второй причиной стала ненадлежащая техническая оснащённость экспедиции морским ведомством и вследствие этого – необходимость согласовывать маршруты экспедиции с промысловыми маршрутами владельцев дополнительной ладьи. Несмотря на это, научное значение первой естественно-научной экспедиции на Новую Землю очень велико. Полярный исследователь Новой Земли и Таймыра А.И. Толмачев полагает, что Новоземельская экспедиция 1837 г. (благодаря прежде всего руководству К.М. Бэра) составила эпоху в научном изучении не только Новой Земли, но и вообще полярных стран [2]. Многими учеными того времени отмечены успехи описательного характера этой экспедиции по каждой специальности в отдельности с учетом кратковременности ее пребывания на Новой Земле. К.М. Бэр, по сути, впервые применил в экспедиционной работе комплексный подход к изучению природы, а за ним уже последовали А.Ф. Миддендорф, Н. Норденшельд, Ф. Нансен.

К значительным результатам данной экспедиции относятся и сделанные художником Редером\* в ее ходе рисунки, которые в 1933 г. неожиданно нашлись на складе старых изданий Академии наук. Как оказалось, их серия (в количестве семи), переведенная на камень в литографии Тюлева, должна была составить предназначавшийся для продажи альбом рисунки, под заголовком «K. E. v. Baers Reise auf Nowaja Semlia» [2]. Однако иллюстрации не были опубликованы и пролежали на складе 96 лет. А между тем, они представляли собой ценнейший материал в ряду весьма скудных данных, имеющихся об этой экспедиции. По отзыву уже упоминавшегося исследователя Новой Земли А.И. Толмачева, они очень точно воспроизводят картины природы арктического архипелага и тем самым бесспорно интересны для истории науки как изображения Новой Земли, запечатленные во времена, когда отсутствовала фотография, очевидцем-художником под наблюдением крупнейшего естествоиспытателя Бэра [2].

5 рисунков из этого альбома являются единицами хранения персонального фонда К.М. Бэра Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН и выставлены в постоянной экспозиции. По отзывам компетентных лиц, им нельзя отказать и в чисто художественной ценности. Это весьма характерные для раннего периода литографской техники работы с авторской акварельной окраской. Произведения представляют собой прекрасно разработанные, тонко сделанные пейзажи, несомненно, свидетельствующие о незаурядном даре опытного художника-пейзажиста. Особенно интересна работа «Деревня Пялица, в Русской Лапландии» (см. рис. 1). По мнению специалиста по литографии П.Е. Корнилова, работа должна была занять место в ряду литографий Русского музея [2]. М.М. Соловьев в книге «Бэр на Новой Земле» так описывает эту работу: «Суда стали на якорь у деревни Пялицы, расположенной в юго-восточной части Кольского п-ова, изображенной Редером на исключительном по передаче настроения листе. Раскраска его обращает внимание удивительной мягкостью. Архитектурный пейзаж, кресты, погосты, обрывистый берег и пр. прекрасно дают понятие об этом уголке» [2]. К сожалению, именно этот лист представлен в собрании Музея-Архива в монохроме, но это не умаляет его привлекательности.



*Рис. 1. Деревня Пялица, в Русской Лапландии. Редер, 1837. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 395*

Географические ландшафты Новой Земли запечатлены на трех работах: вид на западный берег перед входом в пролив Маточкин Шар (рис. 2); гора Матюшев Камень – вход в губу Серебрянку (рис. 3); южный берег Маточкина Шара, в центре – гора Носилова (рис. 4). Все рисунки выполнены с топографической точностью. В правом углу пейзажа, изображающего гору Матюшев камень (см. рис. 3), расположены четыре человеческие фигуры. Крайняя фигура, сидящая лицом к зрителям, несомненно, сам К.М. Бэр, Остальные, надо полагать, члены экспедиции.

---

\* К сожалению, ни в одном из доступных нам источников нет указания на имя этого человека.



*Рис. 2. Вид на западный берег Новой Земли перед проливом Маточкин Шар. Редер, 1837. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 401*



*Рис. 3. Гора Матюшев камень. Редер, 1837. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 399*

Идущее под парусами двухмачтовое судно (см. рис. 4) – экспедиционная шхуна «Кротов», запечатленная Редером на фоне горы Носилова.



*Рис. 4. Шхуна «Кротов» на фоне горы Носилова. Редер, 1837. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 400*

На еще одном рисунке изображена семья новоземельских ненцев в традиционной одежде на фоне чума (рис. 5). Антрополога и этнографа Карла Бэра, конечно же, интересовало население Новой Земли. Надо отметить, что художнику Редеру, в отличие от пейзажей, не очень удавались человеческие фигуры. Одежды же выписаны с этнографической достоверностью.



*Рис. 5. Ненцы Новой Земли. Редер, 1837. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 394*

В музейной коллекции литографий Новой Земли есть работа, на которой изображен Варангер-фиорд\*\* – с особенным лабиринтом, в центре которого расположен большой стоячий

---

\*\* Варангер-фиорд (Варяжский залив) – залив в Баренцевом море, между российским п-овом Рыбачий и норвежским п-овом Варангер. Самый восточный фиорд Норвегии. Образует хорошие гавани и замерзает только в самые суровые зимы, благодаря Гольфстриму. На заливе расположены норвежские порты Вардё и Вадсё.



камень (см. рис. 6). В выходных данных работы указание есть только на типографию. По месту, изображенному на рисунке, можно предположить, что он мог быть сделан во время экспедиции К.М. Бэра и А.Ф. Миддендорфа\*\*\* 1840 г. в Лапландию. Манера исполнения и акварельная раскраска, а также написание человеческих фигур очень похожи на новоземельские работы Редера. С большой тщательностью переданы особенности архитектуры саамского традиционного жилища: покрытые дёрном вежи, амбары, куваксы (временные саамские жилища). Из изображенных четырех фигур две, стоящие у камня, – в традиционной саамской одежде (в том числе, в обуви с загнутыми носами).



*Рис. 6. Лабиринт. Варангер-фиорд. Редер (?), 1840. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 393*

Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН также является обладателем интереснейшего персонального фонда Тульского Николая Ильича (1875–1932), который с 1899 по 1907 г. занимал различные должности на легендарном ледоколе «Ермак», а после известных политических событий 1917 г. принял командование кораблем в 1921–1922 гг. (см. рис. 7).

С появлением ледокольного флота стало возможным проведение многих высокоширотных научных экспедиций, планы которых вынашивало мировое научное и академическое сообщество. Одной из них стала градусная Русско-Шведская экспедиция на архипелаг Шпицберген по измерению дуги меридиана в 1899–1901 гг. Это, по отзывам современников, крупнейшее научное предприятие конца XIX – начала XX вв. было профинансировано на паритетной основе правительствами России и Швеции, заинтересованными в получении данных по измерениям дуги меридиана вблизи географического полюса.

Выполнение этой задачи позволило более точно определить фигуру Земли как геоида, что стало важным фундаментальным научным результатом того времени и подтвердило гипотезу сфероида Ньютона-Гюйгенса, а также имело прикладное значение для целей навигации и мореплавания. В программу дополнительных исследований экспедиции на архипелаг вошли

---

\*\*\* Миддендорф Александр Фёдорович (1815–1894) – русский естествоиспытатель, путешественник. В 1840 г. с К.М. Бэром совершил путешествие на Кольский п-ов. Исследовал Понойский берег, остров Кильдин, Вайда-губу. В 1870 г. подтвердил выводы Ф.Ф. Яржинского о существовании течения теплых вод у берегов Мурмана. В фондах Музея-Архива есть личные вещи А.Ф. Миддендорфа, в том числе медная адмиралтейская чернильница в форме яйца.

геологические, картографические, геомагнитные, метеорологические измерения, а одной из научных задач русской части экспедиции было изучение природы полярных сияний [4–6].



*Рис. 7. В кают-компании «Ермака». Тульский Н.И. сидит первый справа. 1901. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, НВФ 423*

Наполнение сюжетов макро-истории новыми фактами и смыслами происходит, в том числе, посредством использования методов микро-истории личности. Поэтому личные документы из персонального фонда Н.И. Тульского – потенциальные исторические источники, которые позволяют проследить судьбу «маленького» человека, чья активная профессиональная деятельность была связана с кораблем-легендой «Ермаком» – участником высокоширотной Российско-Шведской экспедиции на Шпицберген в 1901 г., в контексте проблемы изучения арктических, в том числе и академических экспедиций. Документальные материалы фонда были недоступны широкому кругу исследователей и пользователей Архива-Музея, т.к. до недавнего времени в большей своей части никогда не экспонировались и не публиковались. Среди них: Похвальный отзыв Императорского Российского общества спасения на водах, выданный Н.И. Тульскому 29 февраля 1908 г. (см. рис. 8) [7]; бессрочный паспорт старшего помощника Н.И. Тульского для плавания за границу, датированный 11 июня 1903 г. [8]; наградной список служащих ледокола «Ермак» [9]; копия аттестата помощника капитана ледокола «Ермак» [10]; рукописные воспоминания Н.И. Тульского об отце [11]. Музей-Архив является и счастливым обладателем нагрудного знака участника первой русской градусной экспедиции на Шпицберген с императорским вензелем и изображением контура Шпицбергена, который принадлежал Н.И. Тульскому [12]. Он свидетельствует о признании вклада владельца в успешное проведение значимого мероприятия в мировой науке конца XIX – начала XX вв.

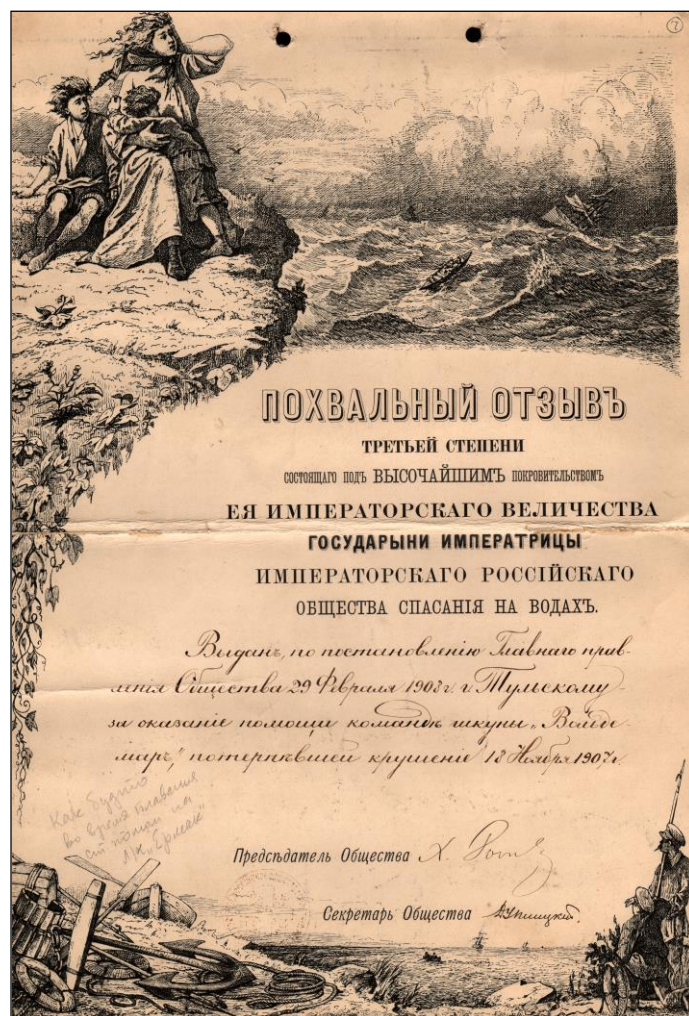


Рис. 8. Похвальный отзыв Императорского российского общества спасения на водах, выданный Н.И. Тульскому 29 февраля 1908 г. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, НВФ 421

В фонде отложились редкие фотоотпечатки, привезенные из высокоширотной арктической экспедиции и помещенные вице-адмиралом С.О. Макаровым в книгу ««Ермак» во льдах» в качестве иллюстративного материала. Из-за отсутствия специалиста-фотографа в экспедиционном составе фотосъемкой на борту «Ермака» вынуждены были заниматься все, кто имел при себе аппараты, в том числе и Н.И. Тульский. Всего было сделано около 500 снимков. Более или менее удачных негативов после проявки на «Ермаке» получилось 250. Большинство негативов Н.И. Тульского оказались испорчены при проявке в «профессиональной мастерской Ньюкастела» [13]. Не обладая большими сведениями, мы пока можем только предполагать, что автором тех негативов, с которых сделаны отпечатки, хранящиеся в фонде Н.И. Тульского Архива-Музея ЦГП КНЦ РАН, может быть сам Николай Ильич. Н.И. Тульский был одним из тех, кто служил на ледоколе «Ермак» с первых дней спуска корабля на воду. Его личные документы – источники по истории полярных плаваний российского флота двух эпох – до революции в октябре 1917 г. и после нее, они обладают достаточно интересным информационным потенциалом для изучения истории организации и проведения российских арктических научных экспедиций.

Музею-Архиву истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН принадлежит персональный фонд замечательного художника Николая Васильевича Пинегина (1883–1940), писателя-исследователя, профессионального русского путешественника, отдавшего всю свою жизнь Северу (см. рис. 9). Фонд составляют личные вещи, рукописи статей, книжных публикаций, дневниковых записей, фотоматериалы, художественная коллекция живописных

работ фондообразователя – выпускника батального класса под руководством профессора Академии художеств в Петербурге Н.С. Самокиша [14].



*Рис. 9. Полярник Н.В. Пинегин. Начало XX в. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 297*

Как это было со многими полярными исследователями, любовь к Дальнему Северу в Н.В. Пинегине разожгли книги. А первое знакомство с Севером состоялось в 1908 г., когда он побывал во многих местах Мурманского побережья. После этой экспедиции появилась первая литературная работа Пинегина – «Айновы острова: Из путевых воспоминаний о Севере», опубликованная в 1909 г. в 13-м номере Известий Архангельского общества изучения Русского Севера. В персональном фонде Н.В. Пинегина в Музее-Архиве ЦГП КНЦ РАН хранится библиографическая редкость – экземпляр литературно-художественного журнала «Жарь-птица», издававшегося в 1922 г. в Германии, с рассказом-зарисовкой «У падуна», где Николай Васильевич передал услышанные от сонгельского лопина-колдуна сказки-были [15]. Все лето 1910 г. Н.В. Пинегин провел на Новой Земле, где посетил целый ряд заливов на западном берегу северного острова Новой Земли и впервые познакомился со своеобразной природой оледенелой части архипелага. В экспозиции Музее-Архива представлены дневниковые записи Пинегина, сделанные на Новой Земле [16]. Написанные Н.В. Пинегиним на Новой земле этюды осенью того же года экспонировались на выставке учеников Академии в Петербурге.

Одновременно с Николаем Васильевичем в Крестовой губе находился лейтенант флота Георгий Яковлевич Седов, возглавлявший экспедицию Гидрографического управления. Случайное знакомство постепенно переросло в крепкую дружбу. Н.В. Пинегин принял участие в экспедиции Г.Я. Седова к Северному полюсу (1912–1914) на моторно-парусной шхуне «Святой Великомученик Фока» (см. рис. 10). В фонде Музее-Архива хранятся уникальные фотоотпечатки: хроника событий, сцены необычайно сурового быта членов экспедиции, затертой

во льдах, портреты Г.Я. Седова, В.Ю. Визе, А.М. Пустошного, М.А. Павлова, Н.В. Пинегина. Автор большинства из них – Николай Васильевич.



*Рис. 10. Члены экспедиции Г.Я. Седова на борту ихуны «Святой Великомученик Фока»  
Н.В. Пинегин – второй слева. Г.Я. Седов – четвертый слева. 1912.  
Музей-Архив КНЦ РАН, ОФ 273*

В экспозиции Музея-Архива демонстрируются записная книжка Пинегина с рецептурой по фотоделу [17], меню обеда в честь членов первой русской экспедиции к Северному полюсу, ст. лейтенанта Г.Я. Седова, устроенного Комитетом содействия экспедиции и лицами, сочувствующими ей в г. Архангельске в Торгово-Промышленном собрании 7 августа 1912 г., на обратной стороне которого – карандашный рисунок Пинегина, изображающий полярника на лыжах с российским флагом (см. рис. 11, 12) [18].

Из «седовской» экспедиции Николай Васильевич привез большое количество художественных работ. В картинах Пинегина нет ярких, ошеломляющих красок. Но зато есть глубокое понимание полярной природы и проникновенная любовь к ней, стремление к максимальной точности в передаче особенностей северного пейзажа. Часть работ из этой экспедиции удалось приобрести нашему Музею-Архиву, и теперь посетители могут увидеть глазами автора далекие земли, которые вряд ли увидят воочию. Среди экспонируемых работ – этюды с натуры, выполненные на холсте из так называемой «Полярной коллекции» (1912-1914) Н.В. Пинегина, более поздние его картины.

В 1924 г. Н.В. Пинегин получил возможность продолжить работу в Арктике. Участвуя в гидрографической экспедиции на Новую Землю, Николай Васильевич в качестве наблюдателя совершил на гидроплане «Ю-20», пилотирувавшемся известным полярным летчиком Б.Г. Чухновским, девять небольших полетов над Новой Землей и прилегающей частью Карского моря. Это первые в истории самолетные ледовые разведки, впоследствии получившие столь большое развитие в Советской Арктике. Пинегин описывает их в «Записках полярника». В 1928 г. его даже утвердили «членом Международного общества по изучению Арктики при помощи воздушного корабля», о чем свидетельствует письмо-извещение, представленное в экспозиции Музея-Архива [19].

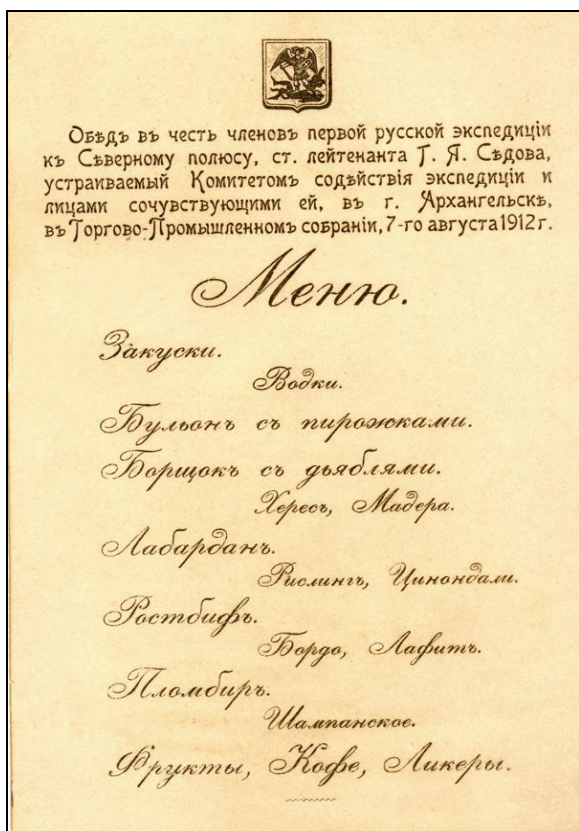


Рис. 11. Меню обеда в честь экспедиции Г.Я. Седого на «Св. Фоке» на Северный полюс. 1912. Музей-Архив КНЦ РАН, ОФ 269



Рис. 12. Обратная сторона меню обеда в честь экспедиции Г.Я. Седого на «Св. Фоке» на Северный Полюс. 1912. Рис. Н.В. Пинегина Музей-Архив КНЦ РАН, ОФ 269 об.

В 1932 г. Н.В. Пинегин возглавил экспедицию Второго международного полярного года на Землю Франца-Иосифа, осуществлявшуюся на «Малыгине». Эта экспедиция добилась больших успехов. На о-ве Рудольфа была построена самая северная в мире на тот момент метеорологическая радиостанция. Большое полотно Н.В. Пинегина «Земля Франца-Иосифа» с изображением метеостанции принадлежит Музею-Архиву ЦГП КНЦ РАН (см. рис. 13) [20].

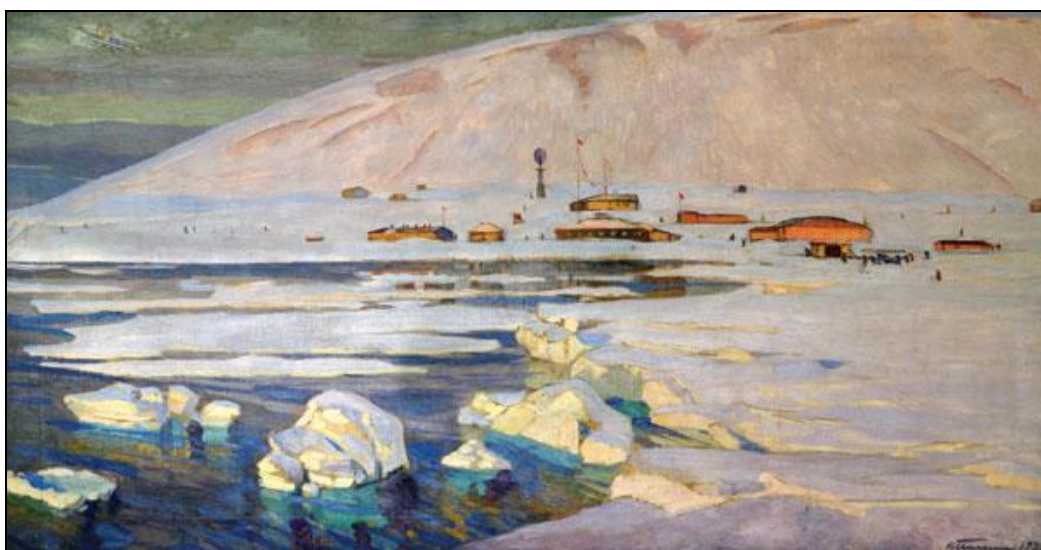
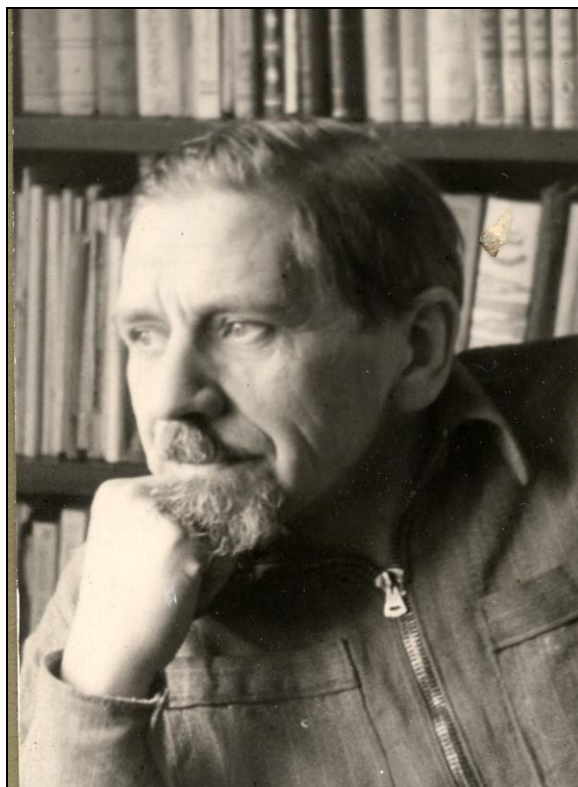


Рис. 13. Полярная станция. 1936. Земля Франца-Иосифа (ЗФИ). Авт. Н.В. Пинегин Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, ОФ 547

Николай Васильевич вел обширную переписку. Его опыт и знания высоко ценились в кругах полярных исследователей и путешественников во всем мире. К нему обращались за помощью и советом. В фонде Музея-Архива есть уникальные документы – письма Умберто Нобиле [21], Вильямура Стефанссона [22], адресованные Пинегину. В последние годы своей жизни он работал над большим романом «Георгий Седов», поставив перед собой задачу раскрыть образ дорогого ему человека и героического полярного исследователя. Но Н.В. Пинегину не удалось закончить роман. Написанной оказалась только первая часть и несколько глав из второй, рукопись которых хранится в Музее-Архиве ЦГП КНЦ РАН [23].

В персональном фонде известного исследователя русской Лапландии, ученого-геоморфолога, доктора географических наук Гавриила Дмитриевича Рихтера (1899–1985) (рис. 14) Музея-Архива ЦГП КНЦ РАН хранятся картографические источники, первичные экспедиционные материалы полевых исследований на Кольском п-ове, опубликованные и не опубликованные научные труды, фотографии, в т.ч. серия фотоотпечатков на стекле из экспедиции СОПС АН СССР в 1928 г. Среди материалов, привезенных из экспедиции на Кольский п-ов, снаряженной Ленинградским отделением треста «Гидроэлектропроект» Наркомата топливной промышленности СССР и Геоморфологическим институтом АН СССР в 1933 г., стенгазета «Кукиш» – «печатный орган» геоморфологических отрядов №№ 3 и 5 [24].



*Рис. 14. Гавриил Дмитриевич Рихтер (1899-1985), доктор географических наук, заслуженный деятель науки и культуры РСФСР. 1959. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, НВФ 1141*

По плану Государственной комиссии по электрификации России в Мурманской области на р. Нива предполагалось возвести в 1930–1938 гг. каскад гидроэлектростанций «Нива». В связи с этим перед двумя экспедиционными отрядами ставилась конкретная задача рекогносцировочного обследования рек Варзуги и Поноя «в целях выяснения возможностей использования гидроэнергетических ресурсов этих рек и составления на основании рекогносцировки гипотезы их использования» [25].

Члены экспедиции выехали из Ленинграда 10 июня, через два дня прибыли в Кандалакшу, где из-за проблем с финансированием и отсутствием транспорта вынуждены были задержаться на полторы недели. И только 24 июня им удалось погрузиться на пароход «Поморье»,

чтобы отправится непосредственно к месту назначения. Период вынужденного бездействия – в ожидании транспорта и денег – нашел отражение в подготовленной ими стенгазете под броским названием «Кукиш» (см. рис. 15). Ее материалы разместились на 9 отдельных листах зеленой линованной бумаги плохого качества размером 29.5 на 20.5 см. Стенновка включает в себя следующие рубрики: «Объявления», «Телеграммы», «[Передовица:] Призрак бродит по Европе...», «По следам строек», «[Интервью]», «Лирика», «Частушки» (см. рис. 16). Текст сопровождался шаржами и рисунками. Стилистически обращает на себя внимание раскованная, в какой-то степени даже бесшабашная, манера, в которой выдержаны материалы этой стенгазеты. В них – соединение удачного юмора и несколько, может быть, нарочитой пародии на официоз серьезных «печатных органов», отражение бытовых реалий существования научных работников в экспедиции, конкретная история Нивастроя и своеобразная история общепита далекого северного края в первой половине 1930-х гг. Одновременно в этих текстах увековечены и упоминаемые персоналии.



Рис. 15. Первый лист стенновки «Кукиш». 1933. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН НВФ № 1155. Л. 1

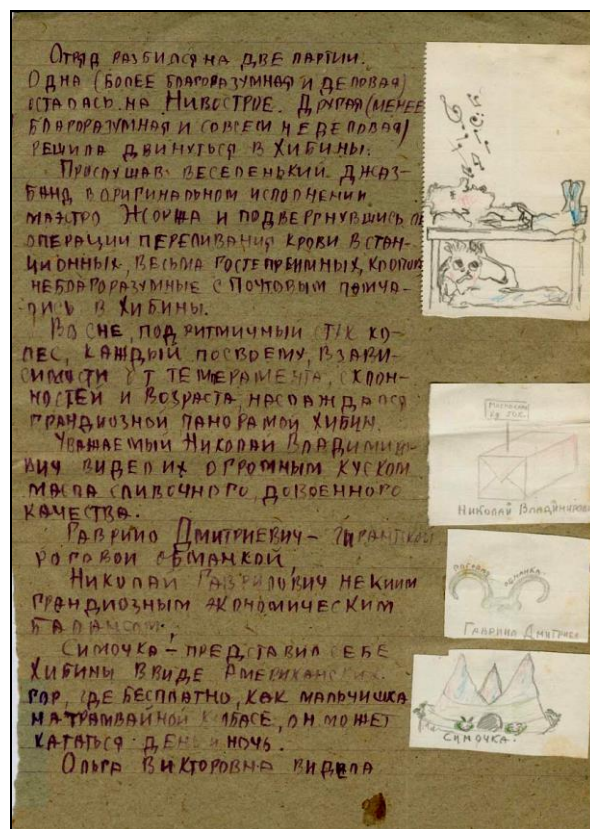


Рис. 16. Страница стенновки «Кукиш». 1933. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН НВФ № 1155. Л. 4

Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН хранит персональный фонд почетного полярника, доктора географических наук профессора Ивана Степановича Песчанского (1911–?) (см. рис. 17). Он принимал участие в самой крупной за предыдущую историю изучения Арктики морской Восточной комплексной научно-исследовательской экспедиции «Восток» в 1946 г. на ледоколе «Северный полюс» в качестве начальника ледоисследовательской лаборатории. В состав комплексной экспедиции вошли еще более 30 научных сотрудников: метеорологи, аэрологи, океанографы, гидробиологи, гидрохимики, геологи, геофизики, ледоисследователи, гидрографы [26]. Ледокол «Северный полюс» по плану должен был пройти из Владивостока на запад до Шпицбергена, по возможности высокоширотной трассой. Но в условиях крайне тяжелой ледовой обстановки в навигацию 1946 г. на трассе Северного морского пути руководство Главсевморпути было вынуждено прервать экспедицию и использовать ледокол для проводки



кораблей. Сотрудников экспедиции переместили на ледокол «А. Микоян» и отправили во Владивосток. Вместе с ледоколом «Адмирал Макаров» «А. Микоян» с учеными на борту обеспечил проводку транспорта с грузом для полярников о. Колючин [27].



*Рис. 17. И.С. Песчанский проводит исследования во время экспедиции «Восток» на ледоколе «Северный полюс». 1946. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, НВФ № 762. Л. 12 об. Фото № 3*

Среди многочисленных фотоматериалов, авторских свидетельств, почетных грамот, удостоверений, дипломов, аттестатов, творческих материалов в фонде отложилась машинописная рукопись на 11 листах, датированная 1946 г. и содержащая тексты – яркие примеры литературного творчества представителя (или представителей) субкультуры «полярников» из незавершенной экспедиции на ледоколе «Северный полюс». Тексты написаны в жанрах эпиграмм, шарад и стихов-переделок к популярным эстрадным шлягерам и песням из кинофильмов [28]. К сожалению, автора (или авторов) рукописи установить не удалось. Нерешенным остается также вопрос, является ли автор рукописи автором представленных в ней текстов. О том, что документ создан участником (участниками) высокоширотной комплексной экспедиции «Восток», свидетельствуют содержание с описанием реалий экспедиционной научно-исследовательской работы, быта и персоналий, а также датировка «1946 г.» с указанием на первом листе рукописи места пребывания автора (или авторов) на ледоколе «Северный полюс» во время написания текста (см. рис. 18). Сюжетные коллизии, связанные с «ледовым пленом» у о-ва Колючин, позволяют заключить, что, по крайней мере, часть текстов относится к циклу, называемому в воспоминаниях коллег и товарищей И.С. Песчанского «Колючинская эпопея».



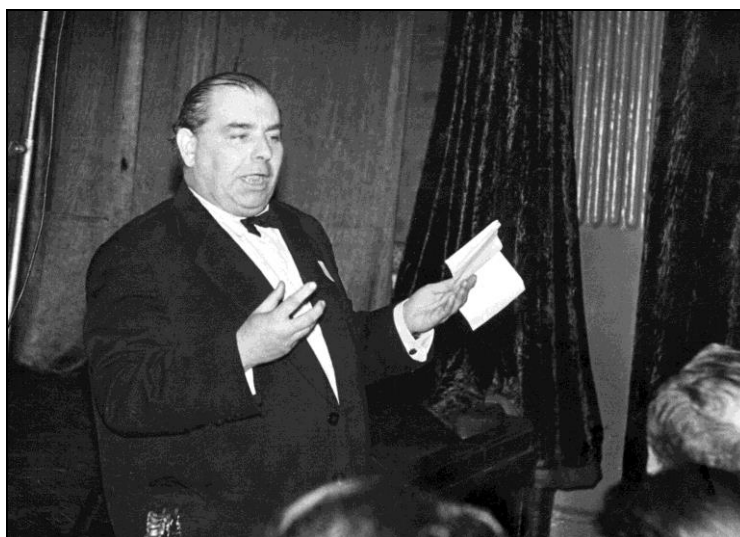
*Рис. 18. Ледокол «Северный полюс». 1946. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН НВФ № 762. Л. 11. Фото № 1*

Рукопись содержит 47 эпиграмм, посвященных сотрудникам экспедиции, а также членам экипажа ледокола «Северный полюс» и летчикам, которые осуществляли ледовую разведку на трассе (см. рис. 19). Адресатами двух эпиграмм являются экспедиционное судно и аэростат.



*Рис. 19. Члены морской Восточной комплексной научно-исследовательской экспедиции «Восток» в 1946 г. на ледоколе «Северный полюс». 1946  
Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, НВФ № 762. Л. 11. Фото № 2*

На мотивы трех популярных песен 30–40 гг. XX в. «Землянка», «Пора в путь-дорогу» и «Все хорошо, прекрасная маркиза», используя исходный текст как каркас, были созданы так называемые локальные песни, то есть песни, возникшие и исполнявшиеся в ограниченном коллективе, тематически связанные с его жизнью и практически неактуальные за его пределами (см. рис. 20).



*Рис. 20. И.С. Песчанский исполняет экспедиционные песни. «Известный флорентийский бас Джованни де Песчани, вернувшийся из гастрольной поездки по Арктике и Антарктике», – надпись на обратной стороне фотографии. Конец 50-х – начало 60-х гг. XX в.  
Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН, НВФ 757.*

Как правило, экспедиционное локальное песенное, прозаическое и поэтическое творчество остается лишь достоянием памяти членов коллектива, в котором они возникли. Поэтому сохранившаяся в фонде И.С. Песчанского рукопись представляет собой уникальный источник для исторических и источниковедческих исследований, связанных тематически с историей полярных экспедиций первой половины XX века. На взгляд автора, он полезен и для филологических и социологических исследований субкультуры полярников. Иллюстрируют данный источник фотоотпечатки, сделанные в ходе высокоширотной экспедиции и собранные в альбоме, который также хранится в фонде И.С. Песчанского.

Представление данных материалов персональных фондов Музея-Архива истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН в качестве потенциальных поливидовых источников по истории арктических экспедиций стало возможным после проведения источниковедческих исследований в рамках двух научно-исследовательских тем (№ гос. рег. 01200804421 «Этапы становления академической науки и ее роль в цивилизационном развитии российского сектора Евро-Арктического / Баренц-региона» и № гос. рег. 01201153388 «Доминанты исторического развития и роль науки в формировании инновационного потенциала Кольского Севера» – рук. д.г.-м.н. В.П. Петров), выполнявшихся в 2008–2010 гг. и в 2011–2013 гг. по *приоритетным направлениям Отделения историко-филологических наук*: 9.2. «Сохранение и изучение культурного, археологического, научного наследия: выявление, систематизация, научное описание, реставрация и консервация»; 9.5 «Изучение эволюции человека, обществ и цивилизаций: человек в истории и история повседневности. Ретроспективный анализ форм и содержания взаимоотношений власти и общества».

#### ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. *Шабалина О.В.* Переписка Вел. кн. К.К. Романовой и министра иностранных дел С.Ю. Витте о финансировании подготовки и проведения академической Русско-шведской высокоширотной экспедиции 1898–1901 гг. по градусным измерениям на архипелаге Шпицберген // Тр. КНЦ РАН. 2010. Вып. 2. С. 197.
2. *Соловьев М.М.* Бэр на Новой Земле. Л., 1934.
3. *Холодковский Н.А.* Карл Бэр: его жизнь и научная деятельность. СПб. 1893.
4. *Васильев А.С.* На Шпицберген и по Шпицбергену во время градусного измерения. Одесса: Б.И. Сапожников, 1915.
5. *Ефимов П.А.* Русское градусное измерение на Шпицбергене в 1899–1901 годах. М.: Изд. геодезической литературы, 1958.
6. *Уракберг У.* Сотрудничество и результаты шведско-русской экспедиции на Шпицбергене по измерению дуги меридиана // Международное сотрудничество в Арктике. М.: Институт археологии РАН; Арктикуголь, 2001. С. 3–4.
7. Похвальный отзыв Императорского Российского общества спасания на водах, выданный Н.И. Тульскому 29 фев. 1908 г. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 421. Л. 1.
8. Бессрочный паспорт старшего помощника Н.И. Тульского для плавания за границу. 11 июня 1903 г. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 420. Л. 1.
9. Наградной список служащих л/к «Ермак», представленных к денежной премии. 24 фев. 1900 г. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 419. Л. 1-2.
10. Копия аттестата на имя Н.И. Тульского. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 416. Л. 1.
11. Воспоминания Н.Н. Тульского. Рукопись. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 414 а. Л. 1.
12. Значок участника Русско-шведской экспедиции 1899–1901 гг. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. Фонд Тульского Н.И. ОФ 168.
13. *Макаров С.О.* «Ермак» во льдах. СПб., 1901. С. IV, 172, 234, 236, 250, 275 bis.
14. Николай Васильевич Пинегин. Каталог выставки. 1958 / Сост., вступ. ст. П.П. Ефимов. Л.: Художник РСФСР, 1959. 24 с.
15. Журнал «Жар-птица» с авторским экземпляром сказки «У падуна», записанной Н.В. Пинегиным. 1922. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 399.
16. Дневник первой экспедиции на Новую Землю Н.В. Пинегина. 1910. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. ОФ 298.
17. Записная книжка Н.В. Пинегина с рецептурой по фотоделу. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. ОФ 275.
18. Меню обеда в честь экспедиции Седого Г.Я. на «Св. Фоке» на Северный Полюс. 1912. Музей-Архив КНЦ РАН. ОФ 269.
19. Извещение Пинегину Н.В. об утверждении его членом Международного общества по изучению Арктики при помощи воздушного корабля от 5 марта 1928 г. Музей-Архив КНЦ РАН. НВФ 1011.
20. Пинегин Н.В. Картина «Полярная станция. Земля Франца-Иосифа (ЗФИ)». 1936. Музей-Архив КНЦ РАН. ОФ 547.
21. Письмо Умберто Нобиле Николаю Пинегину. 1932. Музей-Архив КНЦ РАН. ОФ 300.
22. Письма Вильямура Стефанссона, адресованные Николаю Пинегину от 27 ноября, 18 июля 1933 г. Музей-Архив КНЦ РАН. ОФ 301, 302.
23. Н.В. Пинегин «Георгий Седов». Машинопись с рукописным поправлением автора. 388 листов. Музей-Архив КНЦ РАН. ОФ 185.
24. 1. Кукиш. Орган геоморфологических отрядов № 3-5 ЛОГИДЭП. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ № 1155. Л. 1-9.
25. *Рихтер Г.Д.* Результаты геоморфологической рекогносцировки в бассейнах рек Варзуги и Поноя (Мурманский округ) // Труды Института физической географии. Вып. 19. М.:Л., 1936. С. 49.
26. *Трешников А.Ф.* Их именами названы корабли науки. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 192 с.
27. Михаил Михайлович Сомов. Воспоминания товарищей и друзей. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 168 с.
28. Шуточные стихи, шарады, пародии, написанные на л/к «Северный полюс». 1946. Музей-Архив ЦГП КНЦ РАН. НВФ 736. Л. 1-110б.

#### Сведения об авторе

*Шабалина Ольга Вячеславовна* – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Центра гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН; e-mail: olga@isc.kolasc.net.ru

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ СЕЛА КРАСНОЩЕЛЬЯ КАК ИНДИКАТОР ЗДОРОВЬЯ В КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ\*

Н.К. Белишева, А.А. Мартынова, С.А. Пряничников, Н.Л. Соловьевская,  
Т.С. Завадская, Р.Е. Михайлов, Д.А. Петрашова, В.В. Пожарская,  
Ж.Э. Каспарян<sup>1</sup>, С.В. Муравьев

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

<sup>1</sup>Центр гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН (ЦГП КНЦ РАН)

### Аннотация

Приведены результаты оценки качества жизни жителей с. Краснощелья Мурманской обл. на основе оценки объективных и субъективных составляющих качеств жизни. Объективными составляющие служили индикаторы здоровья, полученные на основе временных и частотных показателей variability сердечного ритма. Субъективные – получены применением методик тестирования самочувствия, активности, настроения, личностной и ситуативной тревожности, а также опросника «качества жизни» SF-36. Показано, что здоровье всех возрастных групп мужского и женского пола жителей с. Краснощелья существенно ниже, чем в центральных районах России, и ниже, чем в сходных возрастных группах жителей Мурманской обл. Субъективные показатели свидетельствуют о достаточно высокой оценке качества своей жизни жителями Краснощелья. Феномен с. Краснощелья, проявляющийся в объективно низком уровне здоровья населения и высокой субъективной оценке качества жизни, требует дальнейшего изучения.

### Ключевые слова:

*качество жизни, здоровье населения, variability сердечного ритма, тест SF-36.*

### Введение

В настоящее время социально-экономическому развитию Арктической зоны Российской Федерации придается государственное значение («Стратегия развития Арктической Зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года, Москва, 2011 г.». Вместе с тем социально-экономическое развитие всецело зависит от человеческого потенциала, качество жизни которого определяет темпы научно-технического и социально-экономического прогресса [1]. Качество жизни населения – интегральный показатель, всесторонне характеризующий экономическое развитие общества, уровень материального, медико-биологического благосостояния каждого человека, представляющего часть социума [2–7]. Отдельный пункт программы «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации» на 2014 г. ориентирован на разработку научных основ повышения качества жизни населения арктических территорий. Однако в самом понятии «качества жизни» содержится много неопределенностей. На западе для ранжирования стран по степени процветания используется так называемый индекс процветания (Prosperity Index), который предполагает учитывать не только благосостояние (wealth), но также и благополучие (well-being) (LEGATUM PROSPERITY INDEX, <http://www.prosperity.com/country.aspx?id=RU>). Причем подчеркивается, что процветание предполагает как высокий уровень ВВП, так и счастливых, здоровых, свободных граждан, населяющих страну. Однозначно оценить благополучие отдельного человека представляется достаточно трудным, ибо необходима субъективная оценка собственного благополучия. Поэтому в международной практике качество жизни определяется в основном по объективным социально-экономическим индикаторам и общим показателям эффективности работы системы здравоохранения, которые отражают среднестатистический уровень благополучия в данной

---

\* Работа поддержана грантом РГНФ и администрацией Мурманской обл., проект № 14-16-51003.

стране, но не характеризуют жизнь отдельных человеческих сообществ. В очень редких работах для оценки качества жизни были использованы такие физиологические показатели, как вариабельность сердечного ритма (ВСР) [8]. В целом же для оценки субъективного восприятия качества жизни обычно применяются опросники, в том числе включающие вопросы по оценке слагающих счастливого существования (Eudaimonic Well-Being) [9].

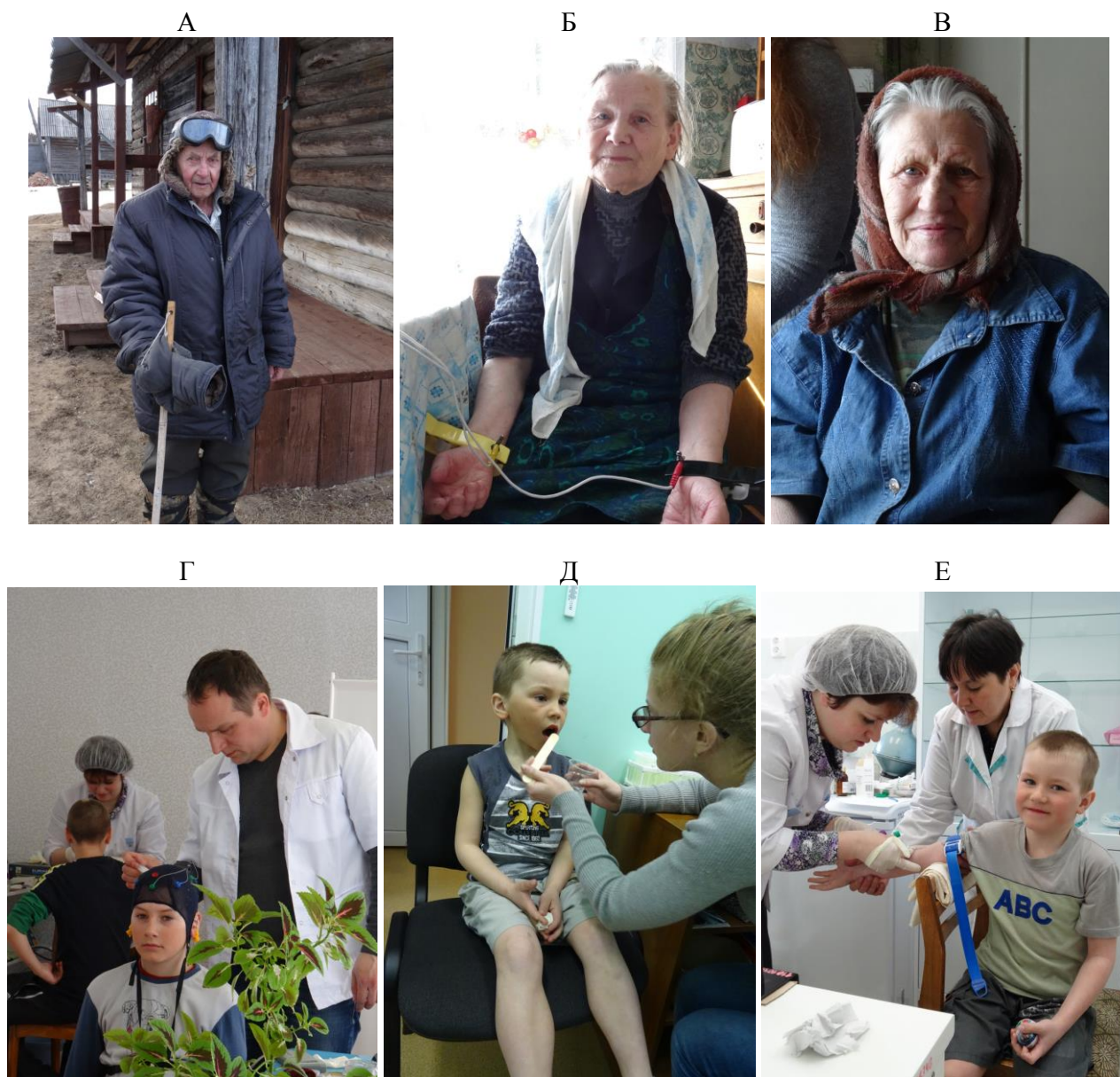
В проекте «Влияние социально-экономических условий на оценку качества жизни представителей различных групп населения Кольского Севера», поддержанном грантом РФФИ, предполагается выявить субъективные и объективные составляющие качества жизни населения, которые являются интегральными слагающими благополучия, как одного из индикаторов процветания. Объективной характеристикой качества жизни с позиции такого индикатора, как здоровье, станут результаты комплексного исследования психофизиологического состояния организма людей, проживающих в контрастных социально-экономических и природных условиях. Субъективное ощущение качества жизни будет выявлено при анализе ответов на вопросы анкет, предлагаемых при исследовании. Сравнительный многомерный анализ качества жизни представителей различных социальных групп населения Кольского Севера позволит получить принципиально новые научные данные о зависимости психологического и физического здоровья от социально-экономического статуса, а также выявить субъективные и объективные, общие и частные компоненты, влияющие на индивидуальную оценку «качества жизни». Конечная цель исследований – найти возможные механизмы «управления» качеством жизни для создания оптимальных условий проживания на Севере и сохранения главного ресурса – здоровья населения.

В настоящей работе представлены первые результаты комплексного исследования качества жизни жителей с. Краснощелья – одного из наиболее труднодоступных мест Кольского Севера.

### **Место проведения исследований**

Местом исследования выбрано с. Краснощелье в Ловозерском районе Мурманской обл., которое не связано всесезонными дорогами с другими населенными пунктами, а сообщение возможно лишь воздушным транспортом. По данным Всероссийской переписи 2010 г., в селе проживали порядка 423 чел., из них 229 мужчин (54.1%) и 194 женщины (45.9%), но, по неофициальным данным, общее число жителей за последние годы уменьшилось. Именно в силу контрастных социально-экономических условий жизни поселян Краснощелья, по сравнению с другими местами Мурманской обл., и был сделан выбор для эталонных исследований вклада природных, социально-экономических и медико-биологических компонентов в качество жизни населения этого села. Основное предприятие данного поселения – сельскохозяйственный оленеводческий кооператив «Оленевод». Социально-экономические компоненты определяются материальными и финансовыми трудностями в связи с отдаленностью отделений кооператива, высокими транспортными затратами на перевозку продукции и других грузов. Компактность проживания, наличие детского сада и школы позволили опросить большую часть жителей и провести исследования по оценке психофизиологического состояния мужчин и женщин различных возрастных групп.

На рис. 1 – фотографии отдельных представителей взрослого (А-В) и детского (Г-Е) населения с. Краснощелье, принимавших участие в комплексных исследованиях по оценке качества жизни. Сотрудница КНЦ РАН к.б.н. А.А. Мартынова проводила оценку вариабельности сердечного ритма у некоторых из старейших жителей села (рис. 1, А-В).



*Рис. 1. Отдельные представители взрослого (А-В) и детского (Г-Е) населения с. Краснощелье, принимавшие участие в комплексных исследованиях по оценке качества жизни: А – И.И. Терентьев (1930 г.р.); Б – Л.И. Терентьева (1929 г.р.); В – А.И. Чупрова (1934 г.р.); Г – сотрудник КНЦ РАН С.В. Пряничников регистрирует электрическую активность мозга ученика 4-го класса; Д – сотрудница КНЦ РАН Т.С. Завадская делает соскоб буккального эпителия с внутренней стороны щеки у дошкольника; Е – процедурная медсестра детской городской больницы г. Апатиты О.Ю. Вилкова, приглашенная в коллектив сотрудников КНЦ РАН для проведения исследований в Краснощелье, берет кровь у дошкольника, помогает ей старшая медсестра детского сада Н.А. Выучейская*

В комплексных исследованиях по оценке качества жизни принимали участие 97 чел. взрослого и 46 чел. детского населения (36 школьников и 10 дошкольников).

## Оценка функционального состояния организма взрослого населения с. Краснощелье на основе показателей variability сердечного ритма

Средний возраст взрослого населения исследуемой группы –  $51.2 \pm 14$ . (20–87.4) лет. Для оценки функционального состояния организма группа обследуемых была разделена по полу и возрасту: группа женщин на подгруппы условно до пенсионного возраста (< 55 лет) – 40 чел. и после пенсионного возраста (> 55 лет) – 31 чел.; группа мужчин: < 60 лет – 20 чел., и > 60 лет – 5 чел. Все испытуемые ознакомлены с целью и условиями исследования и дали свое согласие на участие.

Оценку функционального состояния организма проводили на основе измерений ВСР с использованием программно-аппартного комплекса «Омега-М». Для данного сообщения были отобраны такие показатели ВСР, как SDNN (ms) – среднее 5-минутных стандартных отклонений всех RR-интервалов; SDANN (ms) – среднеквадратичное отклонение, вычисленное на базе интервалов RR, усредненных за 5 мин. записи; RMSSD (ms) – квадратный корень из средней суммы квадратов разностей последовательных RR-интервалов (среднеквадратичное отклонение межинтервальных различий); NN50 – количество случаев, в которых разница между длительностью последовательных RR-интервалов превышает  $50 \text{ ms}^2$ . Спектральный анализ осуществлялся при помощи быстрого преобразования Фурье с расчетом спектральной плотности мощности ( $\text{ms}^2$ ) по следующим частотным диапазонам: очень низких частот (VLF) – 0.0033–0.04 Гц, низких частот (LF) – 0.04–0.15 Гц, высоких частот (HF) – 0.15–0.4 Гц ( $\text{ms}^2$ ) и общей мощности спектра (TP,  $\text{ms}^2$ ). Вычислялись также значения мощности низкочастотного и высокочастотного компонентов спектра, выраженные в нормализованных единицах (LF, п.у., HF, п.у.) и отражающие относительный вклад каждого из них в общую мощность [10–12]. Мощности компонентов спектра в нормализованных единицах вычислялись по формулам: HF (п.у.) =  $\text{HF}/(\text{TP}-\text{VLF}) \cdot 100$ , LF(п.у.) =  $\text{LF}/(\text{TP}-\text{VLF}) \cdot 100$  [13]. Кроме того, характеризовался баланс между симпатическими и парасимпатическими влияниями на ВСР (LF/HF) [10]. В качестве индикаторов психофизиологического состояния организма использовали уровень адаптации (А), психоэмоциональное состояние (D), интегральный показатель состояния организма (ИП), а также выраженность ситуативной (СТ) и личностной (ЛТ) тревожности по методике Спилбергера – Ханина, выявляли показатели самочувствия (С), активности (Акт) и настроения (Н) (методика САН). Статистический анализ и оценку значимости различий между показателями проводили с использованием пакета программ «STATISTICA 10.0».

На рис. 2 приведены показатели функционального состояния организма различных возрастных групп взрослого населения женского и мужского пола в с. Краснощелье. Наиболее высокие средние показатели уровня адаптации (А), психоэмоционального состояния (D) и интегрального состояния организма (ИП) характерны для женщин, входящих в группу с возрастом < 55 лет, средний возраст  $43.16 \pm 9.29$  (возрастной диапазон от 20 до 54 лет). Однако эти значения едва достигают нижней границы нормы: А =  $48.53 \pm 3.54$ , D =  $49.77 \pm 2.83$ , ИП =  $50.68 \pm 3.11$  при нормальных значениях от 50 до 100 у.е. Средние показатели функционального состояния организма для группы женщин в возрасте > 55 существенно снижены и, возможно, отражают возрастные особенности пожилого организма.

Для возрастной группы мужчин в возрасте < 60 лет, средний возраст  $43.1 \pm 12.40$  лет (возрастной диапазон от 21.5 до 57.2 лет), все показатели функционального состояния организма, приведенные на рис. 2, существенно ниже, чем соответствующие показатели в первой возрастной группе женщин, и даже ниже, чем в группе горняков сопоставимого возраста ( $40.09 \pm 0.95$ , возрастной диапазон 20–60 лет), работающих под землей в атмосфере с повышенным содержанием радона [14]. В возрастной группе мужчин старше 60 лет показатели, приведенные на рис. 2, значимо не отличаются от таковых для группы женщин старше 55 лет, что соответствует литературным данным, свидетельствующим об отсутствии половых различий во временных показателях ВСР в данной возрастной группе [12].

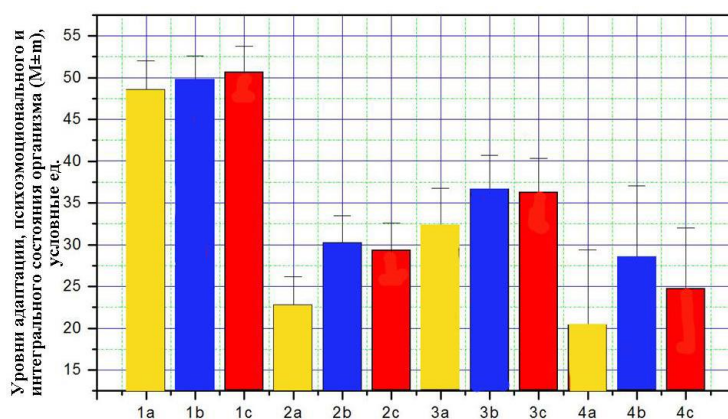


Рис. 2. Сопоставление показателей функционального состояния организма жителей с. Краснощелья в женских и мужских группах взрослого населения, с учетом возраста: желтые столбцы – показатели адаптации; синие столбцы – психоэмоционального состояния, красные столбцы – интегральное состояние организма, условные единицы; 1а – 2с – женские группы с возрастом < 55 лет (1а – 1с) и > 55 (2а – 2с); 3а – 4с – мужские группы с возрастом < 60 лет (3а – 3с) и > 60 (4а – 4с).

Значения временных и частотных показателей ВСР в двух группах женщин значительно различаются между собой, за исключением отношения LF/HF и нормализованных значений HF п.у. и LF п.у., маркированных серым цветом (табл. 1). При этом с возрастом происходит снижение практически всех показателей, что соответствует литературным данным [11, 12]. В целом практически все временные и частотные показатели ВСР у женщин в первой группе соответствуют нормативам для группы 30–45 лет [11] или 35–48 лет [12].

Таблица 1

Средние значения временных и частотных показателей ВСР в группах взрослого женского населения с. Краснощелья (M±σ)

Показатели	женщины < 55 (n=40)		женщины > 55 (n=31)		p
	M ± σ.	Мин. - Макс.	M ± σ	Мин. - Макс	
<b>Возраст</b>	43.16 ± 9.29	20–54.9	64.77 ± 9.29	55–87.4	
<b>SDNN, ms</b>	41.27 ± 10.17	15.41–94.18	27.57 ± 9.91	12.47–51.30	<b>0.0000</b>
<b>SDANN, ms</b>	69.21 ± 63.68	10.57–365.15	35.49 ± 36.92	3.94–172.96	<b>0.0101</b>
<b>NN50 -</b>	35.45 ± 46.23	0–180	7.63 ± 15.86	0–64	<b>0.0021</b>
<b>RMSSD -</b>	32.74 ± 18.61	8.08–83.94	18.92 ± 13.25	3.34–61.90	<b>0.0008</b>
<b>TP</b>	1756.07 ± 1507.9	231.49–8519.38	766.74 ± 584.09	120.20–2547.92	<b>0.0010</b>
<b>VLF</b>	780.10 ± 635.57	110.09–3645.84	420.13 ± 277.55	73.40–1174.28	<b>0.0190</b>
<b>LF</b>	564.54 ± 555.02	86.17–3027.45	238.55 ± 238.64	14.78–1104.44	<b>0.0032</b>
<b>HF</b>	411.42 ± 579.12	15.96–2998.84	108.054 ± 128.98	2.96–515.91	<b>0.0056</b>
<b>LF/HF</b>	2.84 ± 2.74	0.24–12.07	3.81 ± 3.65	0.36–13.64	0.2050
<b>HF n.u.</b>	37.05 ± 19.03	7.65–80.08	31.40 ± 17.65	6.82–73.36	0.2047
<b>LF n.u.</b>	62.94 ± 19.03	19.91–92.34	68.59 ± 17.65	26.63–93.17	0.2047



Средние значения временных и частотных показателей ВСП в группах взрослого мужского населения с. Краснощелье (табл. 2), в отличие от групп женского населения, не показывают ни одного весомого различия между ними. При этом показатели в группе мужчин со средним возрастом  $43.1 \pm 12.40$  значимо ( $p > 0.000$ ) ниже нормативных показателей для аналогичной возрастной группы [11] и соответствуют показателям более пожилой группы мужчин старше 48 лет [12]. Более того, сравнение частотных показателей в группе мужчин моложе 60 лет в с. Краснощелье с горняками, работающими под землей более 15 лет [13], выявило сходное снижение показателя общей мощности спектра (TP,  $ms^2$ ) как у мужчин со средним возрастом  $43.16 \pm 9.29$  лет в Краснощелье, так и у горнорабочих в возрасте  $40.09 \pm 0.95$  лет. Другими словами, частотные показатели ВСП у мужчин с. Краснощелье, занимающихся наземными видами деятельности: охота, рыболовство, хозяйственные работы, значимо не различаются от сходных показателей ВСП у горняков, работающих под землей, и жителей Краснощелья более пожилого возраста.

Таблица 2

Средние значения временных и частотных показателей ВСП в группах взрослого мужского населения с. Краснощелья ( $M \pm \sigma$ )

Показатели	мужчины < 60 (n=22)		мужчины > 60 (n=5)		p
	M ± σ	Мин. - Макс.	M ± σ	Мин. - Макс	
<b>Возраст</b>	43.1 ± 12.40	21.5–57.2	64.72 ± 9.72	60–82.1	
<b>SDNN, ms</b>	31.86 ± 11.45	17.00–64.49	23.61 ± 6.38	14.46–30.69	0.1382
<b>SDANN, ms</b>	40.08 ± 22.93	12.81–97.32	28.05 ± 14.78	16.13–50.19	0.2797
<b>NN50 -</b>	13.95 ± 21.85	0–91	7.2 ± 10.73	0–24	0.5138
<b>RMSSD -</b>	28.01 ± 18.97	6.70–77.22	16.02 ± 10.80	2.72–30.500	0.1915
<b>TP</b>	1025.90 ± 734.84	262.08–3234.63	537.52 ± 289.61	169.09–889.04	0.1636
<b>VLF</b>	518.53 ± 368.62	96.53–1584.33	277.67 ± 226.28	162.05–681.19	0.1797
<b>LF</b>	319.02 ± 229.26	79.46–905.50	131.04 ± 71.24	5.20–180.13	0.0873
<b>HF</b>	200.98 ± 238.60	14.23–1054.40	128.80 ± 10.80	1.83–447.87	0.5123
<b>LF/HF</b>	3.06 ± 2.73	0.39–8.92	2.74 ± 2.31	0.34–6.49	0.8121
<b>HF n.u.</b>	65.05 ± 18.38	28.21–89.92	63.57 ± 23.32	25.52–86.66	0.8796
<b>LF n.u.</b>	34.94 ± 18.38	10.07–71.78	36.42 ± 23.32	13.33–74.47	0.8796

Это свидетельствует, что физиологические показатели функционального состояния организма мужчин среднего возраста в с. Краснощелье соответствуют более пожилой группе. Значит, процессы старения в этой группе мужчин более выражены, чем в группе женщин аналогичного возраста. Такой вывод подтверждается и при сравнении других показателей ВСП: выявлены значимые различия между значениями индексов SDNN, ms в женской < 55 лет ( $41.27 \pm 10.17$ ) и мужской < 60 (возрастных группах ( $p = 0.002$ ), которые показывают снижение вариабельности ВСП у мужчин ( $31.86 \pm 11.45$ ). Между показателями RMSSD существенных различий не выявлено. Однако обнаружены весомые различия ( $p = 0.0458$ ) между средними значениями полного спектра частот (Total) в женской (< 55 лет) и мужской (< 60 лет) возрастных группах ( $1756.07 \pm 1507.94$  и  $1025.90 \pm 734.84$  соответственно), что говорит о более низких функциональных возможностях организма мужчин с. Краснощелье.

Все показатели в группах жителей с. Краснощелье пенсионного возраста как у мужчин, так и у женщин свидетельствуют о значительном истощении резервных возможностей организма, что подтверждается данными (рис. 3).

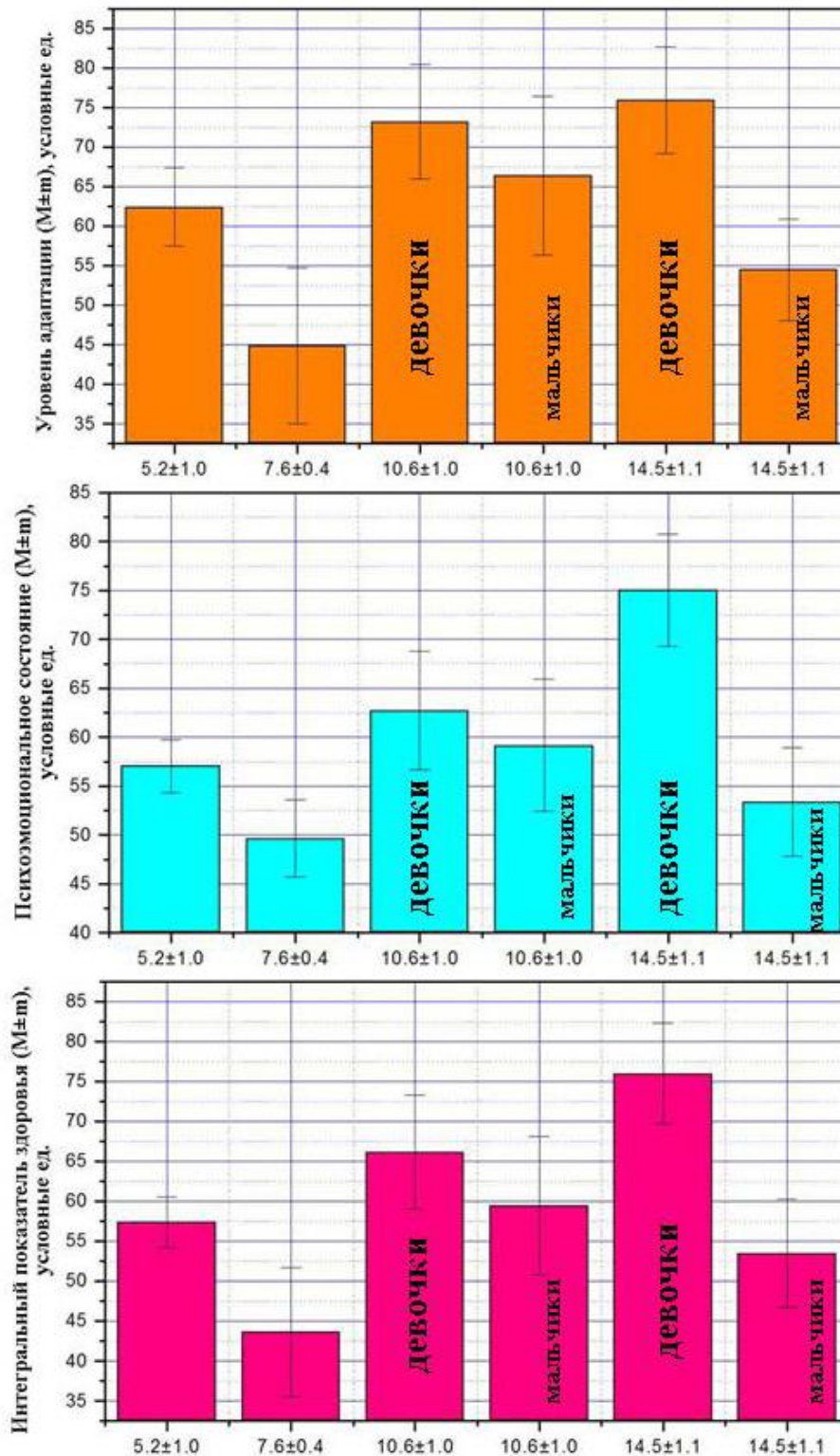


Рис. 3. Уровни адаптации (верхний рисунок), психоэмоционального состояния (средний рисунок) и интегрального показателя здоровья (нижний рисунок) в различных возрастных детских группах (в смешанных группах пол не указан). По оси абсцисс – средний возраст в группах ( $M \pm \sigma$ ), по оси ординат – условные единицы

Сравнение частотных показателей ВСР в группе мужчин со средним возрастом 43.2, проживающих в с. Краснощелье, с соответствующими показателями в аналогичной возрастной группе испытуемых, проживающих в городах Апатиты и Мурманск (табл. 3), выявило значимые

различия между показателями полного спектра частот (TP) у мужского населения Краснощелья и испытуемых мужского пола в Апатитах и Мурманске ( $p = 0.0246$  и  $p = 0.0006$  соответственно).

Таблица 3

Временные и частотные показатели ВСР у практически здоровых лиц мужского пола в Мурманской области за различные периоды времени

	24.09–18.10.2012		01–14.04.2013		30.04–11.05.2013	
	Среднее (n = 228)	Мин.-Макс.	Среднее (n = 100)	Мин. - Макс.	Среднее (n = 75)	Мин. - Макс.
<b>SDNN, ms</b>	43.61 ± 18.30	10.06–118.99	46.94 ± 16.93	12.25–94.25	54.39 ± 19.71	18.87–105.93
<b>SDANN, ms</b>	82.36 ± 101.68	5.36–1282.56	96.45 ± 90.19	4.58–547.77	140.18 ± 134.24	14.27–757.64
<b>RMSSD -</b>	29.81 ± 16.23	4.66–84.67	33.06 ± 16.35	8.93–94.16	35.79 ± 18.16	8.12–88.79
<b>TP</b>	2037.22 ± 1653.70	93.78–10680.08	2236.63 ± 1425.02	130.26–7545.90	3057.08 ± 2186.82	329.56–10961.14
<b>VLF</b>	923.97 ± 927.72	38.45–8282.06	1315.14 ± 950.59	95.28–5366.82	1225.89 ± 1022.85	111.58–5165.94
<b>LF</b>	751.28 ± 605.44	32.62–3409.66	898.19 ± 713.69	33.76–2874.43	1411.32 ± 987.59	172.34–4390.02
<b>HF</b>	361.96 ± 415.28	6.88–2215.96	426.05 ± 413.36	14.79–2270.08	419.86 ± 511.46	18.60–3028.57
<b>LF/HF</b>	4.05 ± 3.99	0.32–31.66	3.18 ± 2.75	0.47–19.42	5.48 ± 511.46	0.58–14.20

Такие различия свидетельствуют о больших резервных возможностях испытуемых, проживающих в городе, чем у местного населения Краснощелья.

Вместе с тем сравнительная оценка психоэмоциональных показателей жителей Краснощелья с испытуемыми в Апатитах (в разные периоды тестирования) и Мурманске не выявила значимых различий в самочувствии, активности, настроении, а также в степени тревожности между сравниваемыми группами (табл. 4).

Таблица 4

Показатели самочувствия (С), активности (А), настроения (Н), ситуативной (СТ) и личностной (ЛТ) тревожности у испытуемых мужского пола в городах Апатиты, Мурманск и в селе Краснощелье

		<b>С</b>	<b>А</b>	<b>Н</b>	<b>СТ</b>	<b>ЛТ</b>
Апатиты 24.09–18.10.2012	Среднее	5.54 ± 0.92	5.05 ± 1.01	5.76 ± 0.83	35.31 ± 5.85	31.87 ± 7.65
	Мин.-Мах.	2.4–7	2.4–6.7	2.9–7	22–61	20–57
Апатиты 01–14.04.2013	Среднее	5.81 ± 0.66	5.5 ± 0.98	6.09 ± 0.84	28.70 ± 8.93	29.25 ± 9.42
	Мин.-Мах.	3.7–7	3–7.8	3.4–7	20–52	20–53
Мурманск 30.04–11.05.2013	Среднее	5.36 ± 0.87	4.99 ± 0.96	5.52 ± 1.02	35.21 ± 7.81	34.52 ± 7.70
	Мин.-Мах.	4.17–4.00	2.7–6.8	2.2–7	20–52	20–52
Краснощелье 29.04-6.05.2014	Среднее	5.31 ± 0.99	4.63 ± 1.32	5.69 ± 1.03	37.76 ± 8.16	42.19 ± 10.34
	Мин.-Мах	1.6–7	0–6.7	2.5–7	12–64	0–65

Данные табл. 4 можно отнести к субъективной оценке своего состояния, имеющего отношение к качеству жизни, поскольку такие составляющие, как самочувствие, активность, настроение, уровни ситуативной (СТ) и личностной (ЛТ) тревожности определяют индивидуальную оценку «качества» жизни. И, в соответствии с индивидуальными субъективными оценками своего состояния жителями Краснощелья, качество жизни оценивалось выше, чем объективная регистрация индикаторов здоровья.

## **Оценка функционального состояния организма детского населения с. Краснощелье на основе показателей variability сердечного ритма**

Показатели ВСР применимы для характеристики уровня адаптации и функционального состояния организма как взрослого, так и детского населения. Поэтому в исследовании использован метод оценки ВСР для выявления состояния организма у детей дошкольного и школьного возраста. Процесс адаптации регулируется нейрогуморальными механизмами, которые с возрастом претерпевают существенные изменения и окончательно формируются только в старшем школьном возрасте. Для оценки адаптации организма к изменяющимся условиям среды используется анализ ВСР, позволяющий количественно охарактеризовать активность различных отделов автономной нервной системы через их влияние на функцию синусового узла. ВСР отражает автономную модуляцию синусового узла посредством парасимпатической, симпатической модуляции, а также симпто-парасимпатическим взаимодействием [14–18].

Как показали многочисленные исследования, состояние регуляторных систем работы сердца ребенка определяется его возрастом, полом, индивидуально-типологическими особенностями, факторами окружающей среды и деятельности ребенка [14: 19, 20]. Показано, что в возрасте 4–10 лет происходит усиление влияния парасимпатического отдела автономной нервной системы (АНС) и снижается активность центрального контура регуляции [15, 16]. В регуляции ВСР, начиная с 8-летнего возраста, проявляются и половые различия [14]. От 7 к 8 годам происходит увеличение возбудимости, проводимости, интенсификации метаболических процессов, сокращение длительности сердечного цикла и диастолы, смещение вегетативного баланса в сторону усиления симпатических влияний на сердечный ритм. От 9 к 10 годам отмечается значительное снижение возбудимости предсердий, повышение проводимости, удлинение сердечного цикла, систолы и диастолы, усиление парасимпатических влияний на сердечный ритм [19].

Исследования показали, что дети различаются по типу вегетативной нервной регуляции организма, который стойко сохраняется с возрастом, а при парасимпатическом типе регуляции достигается наиболее экономное функционирование сердечнососудистой системы, причем дети с преобладанием активности парасимпатической нервной системы опережают сверстников по степени зрелости регуляторных систем [16]. С другой стороны, считается, что сбалансированное (эйтоническое) состояние вегетативной нервной регуляции сердечного ритма наиболее благоприятно [22].

В соответствии с возрастными и половыми особенностями в регуляции сердечного ритма, мы разделили всех обследованных детей дошкольного и школьного возраста на следующие группы: смешанные группы мальчиков и девочек до 8 лет:  $5.23 \pm 1.06$  и  $7.65 \pm 0.35$  лет; девочки в возрасте  $10.58 \pm 1.02$  лет, мальчики –  $10.6 \pm 1.04$  лет; девочки  $14.5 \pm 1.06$  и мальчики  $14.5 \pm 1.06$  лет. Результаты оценки уровня адаптации, психоэмоционального состояния и интегрального показателя здоровья в этих группах детей показаны на рис. 3. В группе детей дошкольного возраста ( $5.23 \pm 1.06$  лет) все приведенные на рис. 3 показатели выше, чем в группе детей  $7.65 \pm 0.35$  лет. Эти данные, по-видимому, отражают возрастные изменения в структуре variability сердечного ритма, характеризующиеся снижением общей мощности и низко- и высокочастотных компонентов спектра variability сердечного ритма от 5 к 7 годам [14]. Различия в величине показателей между мальчиками и девочками в группах  $10.6 \pm 1.04$  лет и  $10.58 \pm 1.02$  лет, соответственно, вероятно, связано с половыми различиями в структуре variability сердечного ритма, характерными для этого возраста. Так, показано, что у девочек 9 лет регистрируется более высокая общая мощность спектра ВСР, с преобладанием парасимпатических влияний на сердечный ритм, чем у мальчиков того же возраста [14]. Вероятно, с этими особенностями в состоянии симпто-парасимпатического баланса АНС у мальчиков и девочек связано снижение показателей адаптационных возможностей у мальчиков. Дети с преобладанием симпатических нервных влияний на ритм сердца характеризуются сниженными адаптационными возможностями организма. Наиболее высокие адаптационные возможности характерны для девочек  $14.5 \pm 1.06$  лет, у которых, вероятно, уже сформировался взрослый тип регуляции ВСР (рис. 3).

Вместе с тем, если сравнить временные показатели ВСП у детей одного и того же возраста и пола с. Краснощелье и г. Москвы, то можно обнаружить между ними существенные различия: так, размах RR-интервалов группе 5-летних детей Москвы составил 414.00–1032.77, при среднем значении RR-интервалов  $664.81 \pm 13.36$ , в то время как в сходной группе детей Краснощелья размах RR-интервалов 552.36–707.19 при среднем значении RR  $606.17 \pm 7.5$ . Различаются и между собой и другие временные характеристики ВСП у детей Краснощелья (табл. 5) и Москвы [14]. Так, показатель RMSSD (ms) – среднеквадратичное отклонение межинтервальных различий у детей Краснощелья 5-летнего возраста составляет  $39.98 \pm 3.5$ , у детей, проживающих в Москве, соответственно,  $93.37 \pm 15.93$  [14]. Так же, как и для 5-летних детей Краснощелья, во всех возрастных группах, временные показатели ВСП, приведенные в табл. 5, отличаются от соответствующих показателей в аналогичных группах детей, проживающих в Москве [14, 19].

Более того, сравнение временных показателей ВСП у мальчиков возрастной группы  $14.5 \pm 1.06$  лет в с. Краснощелье с аналогичной группой детей ( $14.7 \pm 0.5$  лет), проживающих в г. Апатиты Мурманской обл., показало, что все показатели детей с. Краснощелье отличаются более низкими значениями ВСП (табл. 5).

Таблица 5

Временные показатели variability сердечного ритма у детей дошкольного и школьного возраста, проживающих в с. Краснощелье

	Возраст М ± σ.	SDNN, ms М ± σ.	SDNN, ms Мин.-Max.	SDANN, ms М ± σ.	SDANN, ms Мин.-Max.	RMSSD М ± σ.	RMSSD Мин.-Max.
(n = 6)	$5.23 \pm 1.06$	$44.03 \pm 6.41$	36.00-51.86	$76.63 \pm 34.82$	26.55-107.95	$39.98 \pm 11.26$	22.38-53.90
(n = 4)	$7.65 \pm 0.35$	$36.39 \pm 12.71$	28.63-55.34	$53.91 \pm 29.95$	33.67-98.05	$30.59 \pm 15.37$	16.83-44.97
д (n = 6)	$10.58 \pm 1.02$	$54.01 \pm 18.04$	34.66-77.73	$193.59 \pm 194.87$	43.25-546.94	$52.32 \pm 17.97$	38.22-81.51
м (n = 7)	$10.6 \pm 1.04$	$47.49 \pm 17.96$	25.32-68.79	$121.27 \pm 117.93$	20.43-346.8	$44.10 \pm 21.6$	16.04-70.43
д (n = 10)	$14.5 \pm 1.06$	$66.44 \pm 22.74$	35.03-98.86	$168.91 \pm 176.40$	3-186	$54.26 \pm 28.8$	20.15-103.3
м (n = 9)	$14.5 \pm 1.06$	$42.49 \pm 15.30$	24.06-65.93	$76.95 \pm 50.47$	32.25-175.56	$31.07 \pm 12.2$	12.16-47.77
м (n = 11) Апатиты	$14.7 \pm 0.5$	$57.24 \pm 28.41$	17.79-145.76	$178.36 \pm 289.71$	15.25-1782.14	$40.74 \pm 21.5$	12.36-89.95

Сравнение частотных показателей ВСП у детей одного и того же возраста и пола в с. Краснощелье (табл. 6) и Москве [14, 19] выявило, что полная мощность спектра (TP) у пятилетних детей в с. Краснощелье, по сравнению с аналогичной группой детей в Москве, ниже в 4.5 раза; у семилетних детей – в 5 раз ниже, у мальчиков 9–12 лет в 1.7 раза ниже, а у девочек той же возрастной группы – в 2 раза ниже, чем в соответствующих возрастных группах детей, проживающих в Москве [14].

Сравнение частотных показателей ВСП у детей с. Краснощелье с данными, приведенными в работе [19], показало, что у семилетних мальчиков в Краснощелье TP в 2.4 раза ниже [19], причем высокочастотная спектральная компонента ВСП (HF) ниже в 5.4 раза, чем в соответствующей возрастной группе детей, проживающих в Москве [19], а LF – в 1.4 раза, что свидетельствует о высоком напряжении систем регуляции ВСП у детей Краснощелья. Это подтверждает и отношение низкочастотной спектральной составляющей ВСП к высокочастотной (LF/HF), значение которого у детей Краснощелья в 2 раза выше, чем в аналогичной возрастной группе детей в г. Москве [19].

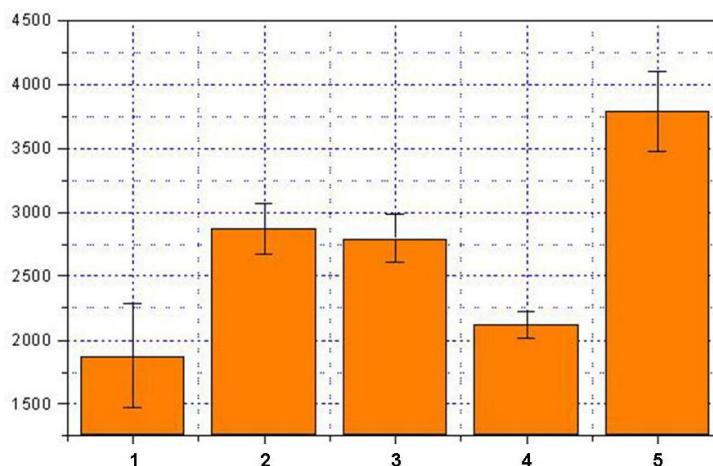
Частотные показатели variability сердечного ритма  
у детей дошкольного и школьного возраста, проживающих в с. Краснощелье

Пол	Возраст	Показатели	TP	VLF	LF	HF	LF/HF
д.+м.	4-6.3	М ± σ.	1819.87±544.08	697.93±397.97	516.04±171.23	605.89±266.50	0.95±0.35
		Мин.-Мах	1218.01-2494.26	364.93-1459.59	323.21-822.42	204.41-956.04	0.58-1.58
д.+м.	7.1-7.9	М ± σ.	1383.05±1041.03	630.79±288.31	436.29±440.25	315.97±328.29	1.53±0.66
		Мин.-Мах	785.41-2939.22	388.94-1043.72	172.26-1093.59	111.47-801.90	0.89-2.46
д.	9-11.6	М ± σ.	2960.92±1863.54	693.80±389.97	1159.19±1002.62	1107.92±654.88	0.95±0.37
		Мин.-Мах	1116.82-5495.21	183.94-1034.71	276.81-2675.68	455.07-1962.01	0.42-1.41
м.	9.5-12.7	М ± σ.	2420.08±1664.49	486.92±430.92	891.39±569.45	1041.76±910.91	1.69±1.36
		Мин.-Мах	563.68-4709.36	143.68-1353.24	292.58-1618.82	84.27-2465.69	0.23-3.98
д.	13.3-16	М ± σ.	4591.72±3001.14	1505.56±902.27	1985.57±1465.38	1100.57±1270.63	2.65±1.49
		Мин.-Мах	1204.53-9393.67	546.80-3236.24	466.77-4592.61	99.54-4261.8	0.61-6.12
м.	13.4-16.2	М ± σ.	1874.90±1222.05	661.83±486.10	774.49±552.96	438.57±317.17	3.15±3.10
		Мин.-Мах	545.08-3769.10	203.18-1463.34	187.84-1700.22	34.17-911.82	0.83-9.00
м. Апатиты	14.2-15.52	М ± σ.	3788.41±3298.16	1756.03±2541.71	1295.80±977.33	590.16±677.94	3.37±2.15
		Мин.-Мах	319.63-18585.16	149.96-11696.31	94.31-4728.33	47.05-2660.89	0.86-9.20

У мальчиков в возрастной группе 9–12.7 лет в с. Краснощелье TP оказался в 1.6 раза ниже, чем в группе московских детей 9-летнего возраста, причем максимальное значение TP в этой группе (4709.36), характерное для 12.7-летнего мальчика, проживающего в с. Краснощелье, оказалось существенно ниже, чем в группе 11-летних детей из г. Москвы ( $7267.44 \pm 482.34$ ) [19]. Отношение низкочастотной спектральной составляющей ВСР к высокочастотной (LF/HF) у детей в этой возрастной группе из с. Краснощелье, так же, как и у семилетних детей, оказалось в 2 раза выше значений LF/HF относительно той же возрастной группы, проживающей в Москве.

Таким образом, сравнительный анализ временных и частотных показателей variability сердечного ритма у детей с. Краснощелье и г. Москвы показал, что между значениями аналогичных показателей ВСР в сходных по полу и возрасту группах детей из с. Краснощелье и г. Москвы существуют серьезные различия. Они свидетельствуют о преобладании симпатического звена АНС в регуляции ВСР у детей Краснощелье, по сравнению с аналогичными группами детей, проживающих в г. Москве, что характеризует напряжение механизмов регуляции ВСР и снижение адаптивных резервов организма.

Чтобы выяснить, чем обусловлено разительное отличие функционального состояния детей в с. Краснощелье от функционального состояния организма сходных по полу и возрасту групп детей, проживающих в г. Москве, и не связано ли это различие с широтными особенностями Евро-Арктического региона, мы провели сравнительный анализ частотных показателей ВСР у мальчиков с. Краснощелье (14.5±1.06 лет) с такими же показателями ВСР детей Заполярья сходных возрастных групп. Для этой цели были отобраны группы, тестируемые в 2011, 2012, 2013 гг. на базе оздоровительного комплекса КНЦ РАН «Эковит» [13, 23], а также данные мониторинга функционального состояния детей в г. Апатиты за период с сентября по декабрь 2013 г. На рис. 4 дано сравнение средних значений ( $M \pm m$ ) показателей полной мощности спектра (TP) ВСР у 14-летних мальчиков в Краснощелье и сходных возрастных групп детей Заполярья.



*Рис. 4. Сравнение средних значений ( $M \pm m$ ) показателей полной мощности спектра (TP) ВСП у 14-летних мальчиков в Краснощелье (1), детей, приехавших на базу отдыха «Эковит» из Заполярья в 2011, 2012 и 2013 г.г. (2, 3, 4 соответственно), а также детей, проживающих в г. Апатиты. По оси абсцисс – номера исследуемых групп, по оси ординат – полная мощность спектральных составляющих вариабельности сердечного ритма, мс*

Полная мощность спектра ВСП у детей в Краснощелье существенно ниже, чем в других группах детей Заполярья (рис. 4). Это различие показывает, что условия жизни детей в с. Краснощелье, определяющие адаптацию организма, отличаются от условий жизни детей сходных возрастных групп, проживающих в других районах Заполярья. Поскольку в Краснощелье отсутствуют промышленные источники загрязнения окружающей среды, следует искать причины снижения уровня здоровья детей в локальных особенностях природной среды [24], возможно, связанных с метеорологическими условиями, обуславливающими переносы загрязнителей из других районов, или локальной геохимической структурой земной коры, детерминирующей избыточное или недостаточное поступление отдельных микроэлементов в организм жителей Краснощелья. Вероятно, причиной снижения уровня здоровья детей может быть и несбалансированный рацион питания, связанный, в частности, с дефицитом молочных продуктов, жирорастворимых витаминов и кальция. Низкий уровень здоровья детей Краснощелья, по сравнению с другими районами Заполярья, требует выяснения причин, ведущих к снижению показателей функционального состояния организма жителей этого села.

### **Субъективная оценка качества жизни на основе теста SF-36**

Тест SF-36 («Health Status Survey») [25] относится к неспецифическим опросникам для оценки качества жизни (КЖ), он широко распространен в США и странах Европы при проведении исследований качества жизни. Перевод на русский язык и апробация методики проведена Институтом клинико-фармакологических исследований (Санкт-Петербург).

Опросник SF-36 нормирован для общей популяции США и репрезентативных выборок в Австралии, Франции, Италии. В США и странах Европы проведены исследования отдельных популяций и получены результаты по нормам для здорового населения и для групп больных с различными хроническими заболеваниями (с выделением групп по полу и возрасту) [26].

36 пунктов опросника сгруппированы в восемь шкал: физическое функционирование, ролевая деятельность, телесная боль, общее здоровье, жизнеспособность, социальное функционирование, эмоциональное состояние и психическое здоровье. Показатели каждой шкалы варьируют между 0 и 100, где 100 – полное здоровье, все шкалы формируют два показателя: душевное и физическое благополучие. Результаты представляются в виде оценок в баллах по 8 шкалам, составленных таким образом, что более высокая оценка указывает на более высокий уровень КЖ. Количественно оцениваются следующие показатели:

1) **физическое функционирование (Physical Functioning – PF)**, отражающее степень, в которой физическое состояние ограничивает выполнение физических нагрузок

(самообслуживание, ходьба, подъем по лестнице, переноска тяжестей и т.п.). Низкие показатели по этой шкале свидетельствуют, что физическая активность пациента значительно ограничивается состоянием его здоровья;

2) **ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием (Role-Physical Functioning – RP)** – влияние физического состояния на повседневную ролевую деятельность (работу, выполнение повседневных обязанностей). Низкие показатели по этой шкале свидетельствуют, что повседневная деятельность значительно ограничена физическим состоянием пациента;

3) **интенсивность боли (Bodily pain – BP)** и ее влияние на способность заниматься повседневной деятельностью, включая работу по дому и вне дома. Низкие показатели по этой шкале свидетельствуют, что боль значительно ограничивает активность пациента;

4) **общее состояние здоровья (General Health – GH)** – оценка больным своего состояния здоровья в настоящий момент и перспектив лечения. Чем ниже балл по этой шкале, тем ниже самооценка состояния здоровья;

5) **жизненная активность (Vitality – VT)** подразумевает ощущение себя полным сил и энергии или, напротив, обессиленным. Низкие баллы свидетельствуют об утомлении пациента, снижении жизненной активности.

6) **социальное функционирование (Social Functioning – SF)** определяется степенью, в которой физическое или эмоциональное состояние ограничивает социальную активность (общение). Низкие баллы свидетельствуют о значительном ограничении социальных контактов, снижении уровня общения в связи с ухудшением физического и эмоционального состояния;

7) **ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием (Role-Emotional – RE)**, предполагает оценку степени, в которой эмоциональное состояние мешает выполнению работы или другой повседневной деятельности (включая большие затраты времени, уменьшение объема работы, снижение ее качества и т.п.). Низкие показатели по этой шкале интерпретируются как ограничение в выполнении повседневной работы, обусловленное ухудшением эмоционального состояния;

8) **психическое здоровье (Mental Health – MH)** характеризует настроение: наличие депрессии, тревоги, общий показатель положительных эмоций. Низкие показатели свидетельствуют о депрессивных, тревожных переживаниях, психическом неблагополучии [27].

Шкалы группируются в два показателя – «физический компонент здоровья» и «психологический компонент здоровья»:

1. Физический компонент здоровья (Physical Health – PH). Составляющие шкалы:

- физическое функционирование;
- ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием;
- интенсивность боли;
- общее состояние здоровья.

2. Психологический компонент здоровья (Mental Health – MH). Составляющие шкалы:

- психическое здоровье;
- ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием;
- социальное функционирование;
- жизненная активность.

Таким образом, на основе анализа ответов на вопросы, можно получить оценку субъективного ощущения качества жизни у исследуемого контингента. Проведено тестирование взрослого населения с. Краснощелье на основе теста SF-36, его результаты представлены на рис. 4.

Средние значения всех показателей, оцененных субъективно (оранжевые столбцы) свидетельствует о достаточно хорошем качестве жизни. Интегральные показатели физического (голубой столбец) и психологического (синий столбец) компонентов качества жизни оказываются ниже, чем величины отдельных слагающих эти компонент. Следовательно, субъективное ощущение качества жизни по отдельным составляющим несколько выше, чем интегральные показатели. Нужно отметить, что интегральные показатели физиологических и психологических компонентов качества жизни больше соответствуют объективным оценкам уровня здоровья взрослого населения, полученным на основе анализа вариабельности сердечного



ритма. Значит, тест SF-36 позволяет учитывать объективный и субъективный элементы в оценке качества жизни, что дает возможность корректировать отдельные составляющие (например, повышать уровень здоровья или улучшать социальный климат), создавая предпосылки для повышения качества жизни отдельного человека и локальных сообществ людей.

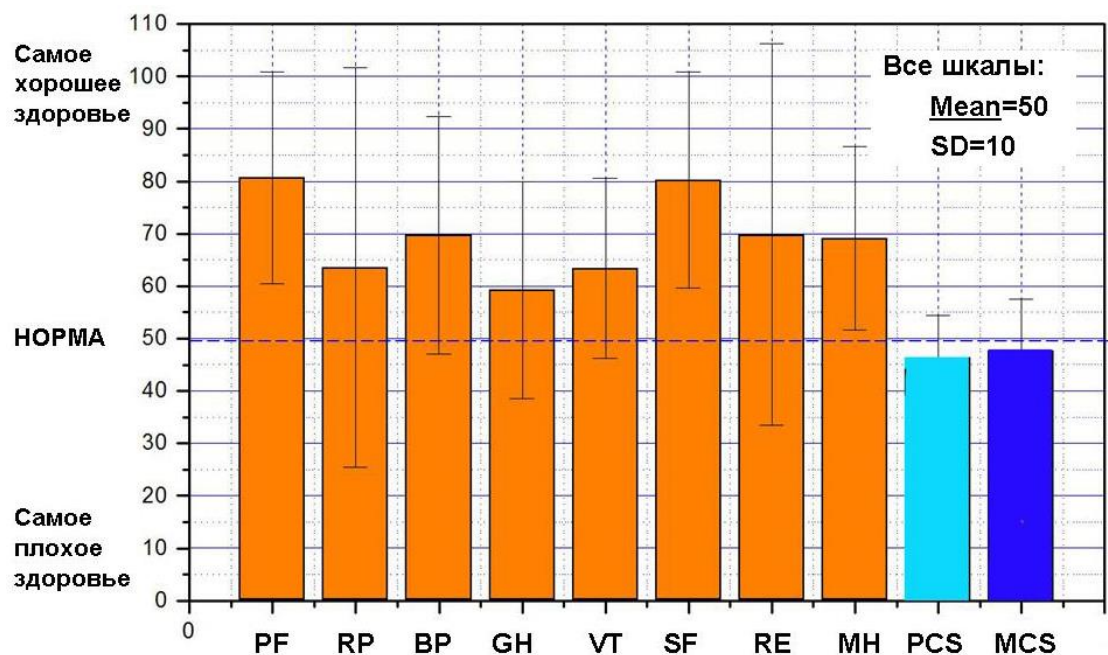


Рис. 4. Средние значения ( $M \pm t$ ) показателей качества жизни у взрослого населения (86 чел.) с. Краснощелье

## Заключение

Исследования по оценке функционального состояния организма жителей, проведенные в с. Краснощелье Мурманской обл. для различных возрастных групп, показали, что здоровье населения служит объективным индикатором качества жизни. Снижение уровня здоровья может быть обусловлено социально-экономическими условиями, вклад которых в интегральный показатель состояния организма предстоит выяснить. Полученные результаты выявили, что здоровье всех возрастных групп жителей Краснощелья существенно ниже, чем в центральных районах России, и ниже, чем в сходных возрастных группах жителей Мурманской обл. Вместе с тем субъективные показатели качества жизни, полученные на основе оценки самочувствия, активности, настроения (методика САН), ситуативной и личностной тревожности (методика Спилбергера-Ханина), а также теста SF-36 свидетельствуют, что селяне Краснощелья достаточно высоко оценивают качество своей жизни. Поскольку один из главных критериев качества жизни, имеющий государственное значение, – продолжительность жизни, репродуктивное здоровье женщин и здоровье детей, то феномен с. Краснощелья, проявляющийся в объективно низком уровне здоровья жителей (включая женщин репродуктивного возраста, детей дошкольного и школьного возраста), и высокой субъективной оценке качества жизни, требует дальнейшего изучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Самутин К.А. Здоровье населения как составной элемент экономической политики государства // Российское предпринимательство. М., 2012. № 11 (209). С. 131–136. Режим доступа: <http://www.creativeconomy.ru/articles/23992/>
2. Handbook of social indicators. Studies of Methods. Series F. No. 49. United Nations. New York. 1989. 155 p.
3. Grasso M. and L. Canova. An assessment of the quality of life in the European Union based on the social indicators approach. Munich Personal RePEc Archive (MPRA). Paper No. 1785, posted 14. February 2007. <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/1785/>
4. Heinz-Herbert Noll. SOCIAL INDICATORS AND QUALITY OF LIFE RESEARCH: BACKGROUND, ACHIEVEMENTS AND CURRENT TRENDS. Published in: Genov, Nicolai Ed. (2002) *Advances in Sociological Knowledge over Half a Century*. Paris: International Social Science Council. P. 1–36.
5. Easterlin R.A., Angelescu L. Modern Economic Growth and Quality of Life: Cross

Sectional and Time Series Evidence DISCUSSION PAPER SERIES. Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit Institute for the Study of Labor. IZA DP No. 2755 April 2007. **6.** Michalos A.C. Education, Happiness and Wellbeing\* (First draft for discussion.) Paper written for the International Conference on 'Is happiness measurable and what do those measures mean for public policy?', at Rome, 2-3 April 2007, University of Rome 'Tor Vergata', organized by the Joint Research Centre of the European Commission, OECD, Centre for Economic and International Studies and the Bank of Italy. **7.** Land K.C. Handbook of Social Indicators and Quality of Life Research / editors: A.C. Michalos, M.J. Sirgy. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 2012. 593 с. **8.** Meule A., Fath K., Real R. GL, Sutterlin S., Vögele C., and Kübler A. Quality of life, emotion regulation, and heart rate variability in individuals with intellectual disabilities and concomitant impaired vision // Psychology of Well-Being: Theory, Research and Practice 2013, 3:1. <http://www.psywb.com/content/3/1/1> **9.** Waterman A.S., S.J. Schwartz, B.L. Zumboanga, R. D. Ravert, M. K. Williams, V. B. Agocha, S.Y. Kim & M. B. Donnellan. The Questionnaire for Eudaimonic Well-Being: Psychometric properties, demographic comparisons, and evidence of validity // The Journal of Positive Psychology Vol. 5, No. 1, January 2010. P. 41–61. **10.** Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use // Circulation. 1996. 93. P. 1043–1065. **11.** Демидова М.М., Тихоненко В.М. Циркадная ритмика показателей сердечного ритма у здоровых обследуемых. // Вестник аритмологии. 2001. №23. С. 52–58. **12.** Возрастные особенности изменения показателей variability сердечного ритма у практически здоровых лиц / С.А. Бойцов, И.В. Белозерцева, А.Н. Кучмин [и др.] // Вестник аритмологии. 2002. №26. С. 57–60. **13.** Мартынова А.А., Пряничников С.В., Белишева Н.К. Особенности психофизиологического состояния горняков, занятых в подземных разработках руды // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2014. (в печати). **14.** Догадкина С.Б. Возрастная динамика временных и спектральных показателей variability сердечного ритма у детей 5–10 лет. // Новые исследования. 2012. Вып. № 4 (33). С. 40–48. **15.** Доцоев Л.А., Астадов А.А., Усинин А.М. Барорецепторный рефлекс и артериальная ригидность у школьников // Физиология человека. 2011. 37, №3. С. 27–35. **16.** Шлык Н.И. Особенности вегетативной регуляции у школьников при умственной и физической нагрузке (по данным математического анализа сердечного ритма) / Н.И. Шлык, Т.В. Красноперова, Е.Н. Сапожникова [и др.] // Программ. обуч. и компьютериз. в учеб.-тренировочном процессе. Ижевск: Удм. Гос. ун-т, 1996. С. 84–97. **17.** Sympathetic and parasympathetic responses to social stress across adolescence / T. Hollenstein, A. McNeely, J. Eastabrook, A. Mackey, J. Flynn // Dev Psychobiol. 2012. №54 (2). P. 207–214. **18.** Stifter C.A., Dollar J.M., Cipriano E.A. Temperament and emotion regulation: the role of autonomic nervous system reactivity // Dev Psychobiol. 2011. №53(3). P. 266–79. **19.** Вотякова О.И. и др. Показатели спектрального анализа variability сердечного ритма у здоровых детей и подростков / О.И. Вотякова, А.И. Рывкин, М.С. Власова, О.В. Калинина // Вестник Иван. мед. акад. 2003. 8 прил. С. 18–19. **20.** Krämer M at all. Subjective, autonomic, and endocrine reactivity during social stress in children with social phobia / M. Krämer, W.L. Seefeldt, N. Heinrichs [и др.] // J Abnorm Child Psychol. 2012. 40(1). P. 95–104. В тексте ссылок нет – ред. **19.** Крысюк О.Н. Возрастные особенности биоэлектрической активности миокарда и автономной нервной регуляции сердечного ритма у детей 7-11 лет // Возрастная физиология. С. 52–60. **22.** Hinnant J.B., Elmore-Staton L., El-Sheikh Developmental trajectories of respiratory sinus arrhythmia and pre-ejection period in middle childhood // MDev Psychobiol. 2011. 53(1). P. 59–68. **23.** Мартынова А.А. и др. Адаптация подростков Заполярья к условиям средних широт (Воронежская область) / А.А. Мартынова, С.В. Пряничников, В.В. Пожарская, Н.К. Белишева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, №5(2), С. 391–393. **24.** Белишева Н.К., Талькова Л.В., Мельник Н.А. Медико-биологический мониторинг – как средство оценки качества окружающей среды для здоровья населения на Севере. Материалы VII Северного социально-экологического конгресса. // М: ООО "Первая Оперативная Типография", 2012. С. 93–111. **25.** Ware J.E at all. SF-36 Health Survey. Manual and interpretation guide / J.E. Ware, K.K. Snow, M. Kosinski, B. Gandek // The Health Institute, New England Medical Center. Boston, Mass.-1993. **26.** Ware J.E., Kosinski M., Keller S.D. SF-36 Physical and Mental Health Summary Scales: A User's Manual // The Health Institute, New England Medical Center. Boston, Mass. 1994. **27.** Недошивин А.О. и др. Исследование качества жизни и психологического статуса больных с хронической сердечной недостаточностью / А.О. Недошивин, А.Э. Кутузова, Н.Н. Петрова, С.Ю. Варшавский [и др.] // Сердечная недостаточность. Т. 1/ N 4/2000.

## Сведения об авторах

*Белишева Наталья Константиновна* – д.б.н., зав. научным отделом медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике (НОМБП) КНЦ РАН [natalybelisheva@mail.ru](mailto:natalybelisheva@mail.ru)  
*Мартынова Алла Александровна* – к.б.н., н.с. НОМБП КНЦ РАН [martynovaalla@yandex.ru](mailto:martynovaalla@yandex.ru)  
*Пряничников Сергей Васильевич* – сотрудник НОМБП КНЦ РАН [prjanik.75@mail.ru](mailto:prjanik.75@mail.ru)  
*Соловьевская Наталья Леонидовна* – м.н.с. НОМБП КНЦ РАН [silva189@mail.ru](mailto:silva189@mail.ru)  
*Завадская Татьяна Сергеевна* – старший лаборант-исследователь НОМБП КНЦ РАН [green.myrtal@mail.ru](mailto:green.myrtal@mail.ru)  
*Михайлов Роман Егорович* – м.н.с. НОМБП КНЦ РАН [Rem1987@mail.ru](mailto:Rem1987@mail.ru)  
*Петрашова Дина Александровна* – к.б.н., н.с. НОМБП КНЦ РАН [petrashova@admksk.apatity.ru](mailto:petrashova@admksk.apatity.ru)  
*Пожарская Виктория Викторовна* – к.б.н., м.н.с. НОМБП КНЦ РАН [viko\\_pozharskaja@mail.ru](mailto:viko_pozharskaja@mail.ru)  
*Каспарян Жанна Эдуардовна* – к.э.н., н.с., Центр гуманитарных проблем Баренц региона КНЦ РАН (ЦГП КНЦ РАН) [janet\\_k@isc.kolasc.net.ru](mailto:janet_k@isc.kolasc.net.ru)  
*Муравьев Сергей Владимирович* – сотрудник НОМБП КНЦ РАН [sss3mail@yahoo.com](mailto:sss3mail@yahoo.com)

УДК 55:06.076(98)

**МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОЕКТЫ «ABCG HERITAGE – ARCTIC BIOLOGICAL, CULTURAL AND GEOLOGICAL HERITAGE» И «FODD – FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE» – ПРИМЕРЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

**Ю.Л. Войтеховский, Т.А. Мирошниченко**  
ГИ КНЦ РАН

**Аннотация**

Кратко изложена история участия Геологического института КНЦ РАН в международных проектах по геотуризму (ABCG Heritage) и базам данных по рудным месторождениям Фенноскандии (FODD). Результат первого – геотуристическая карта Хибин и Баренц-тура по России, Финляндии и Норвегии с путеводителями на трех языках, второго – карта и база данных по полезным ископаемым Фенноскандии. Оба проекта выполнялись в рамках Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности до 2020 г.

**Ключевые слова:**

Арктическая зона РФ, Кольский полуостров, Хибины, международное сотрудничество, рудные месторождения, база данных, геологический туризм.



Приграничное сотрудничество Геологического института КНЦ РАН с геологическими организациями Скандинавии имеет многолетнюю историю, но в последнее десятилетие наблюдается пик активности российско-финских контактов. В немалой степени этому способствовала общая тенденция укрепления политико-экономического сотрудничества двух стран и утвержденная Правительством РФ (октябрь 2013 г.) стратегия развития Арктической зоны России и обеспечения национальной

безопасности до 2020 г.

В условиях бурного роста энерговооруженности экономик России и Финляндии остро встал вопрос о сохранении хрупкой природы Арктического региона. Более двух лет Геологический институт КНЦ РАН с Геологической службой Финляндии и Службой природоохранных услуг Метсяхаллитус разрабатывали и продвигали проект, нацеленный на сохранение культурного и природного наследия приграничной Арктической зоны, включающей Восточную Лапландию, Норвегию и Кольский п-ов. В 2009 г. стороны подписали Обязательство по участию в подготовительных проектах для разработки программы ENPI-CBC при Министерстве иностранных дел Финляндии проект «PAX NATURA», а в 2012 г. Еврокомиссией одобрена заявка на поддержку проекта Kolarctic ENPI-CBC «ABCGHeritage – Arctic Biological, Cultural and Geological Heritage». В число партнеров Геологического института КНЦ РАН также вошли: Лапландский и Пасвикский государственные заповедники, Кольский центр сохранения разнообразия биологических видов, Мурманский государственный педагогический университет, Центры туристической информации гг. Кировска и Мончегорска, Муниципалитет г. Апатиты (Россия), Лапландский экологический центр и Университет

прикладных наук г. Рованиemi, муниципалитеты Инари, Пелкосенниemi и Саллы (Финляндия), губернатор Фюльке в провинции Финнмарк, Ассоциация недвижимости провинции Финнмарк, Институт биологических исследований коммуны Сёр-Варангер (Норвегия).

Проект отвечает предложенным Министерством регионального развития (2013) принципам ресурсоэффективности, природосбережения и соблюдения государственных интересов. Его цель – повышение компетенции населения в природном и культурном богатстве Арктической зоны и пропаганда ее рационального пользования. Планируется создание нескольких видов образовательных и интерпретационных материалов: выставки, пособия для школ, карты, брошюры, веб-сайты, экскурсионные стоянки, туристские тропы и мобильные справочные услуги, основанные на сетях GPS и Internet. Информация об охраняемых зонах и разнообразии геологических объектов способствует более реалистичной оценке возможностей и опасностей развития крупных проектов, в частности, в горнорудном секторе. Знание ценности и потенциала охраняемых зон создаст прекрасные возможности для бизнеса и увеличения количества рабочих мест в сфере природного туризма и горнорудной промышленности.



*Рис. 1. Геотуристические маршруты в Хибинах: А – на пер. Сев. Чорргор»; Б – оз. Долгое на пер. Кукисвум, В – на пер. Вост. и Зап. Петрелиуса; Г – оз. Круглое в долине Кукисвум, Д – на пер. Вост. Рисчорр, Е, Ж – на пике Марченко, З – на пер. Зап. Рисчорр*

В рамках проекта Геологический институт КНЦ РАН, Служба природоохранных услуг Метсахаллитус и Геологическая служба Финляндии объединились в рабочую группу

для выпуска первой геотуристической карты Хибин с путеводителем на трех языках, а также серии образовательных материалов по геотуристическим маршрутам Фенноскандии.

В 2012-2013 гг. рабочая группа провела серию встреч, в ходе которых согласован список уникальных геологических объектов Хибин (рис. 1). Российской стороной пройдены все намеченные маршруты, часть из них – с финскими коллегами. Так, 17-19 июня 2013 г. Геологический институт КНЦ РАН провел общую встречу партнеров проекта и двухдневный геологический семинар. Стороны отчитались о проделанной работе и приняли участие в экскурсии по геотуристическим маршрутам «"Тьетта" – молибденитовый рудник 1920-х гг.», «"Тьетта" – ущелье Рамзая». Зарубежные коллеги высоко оценили уровень проведения мероприятия, био- и геологическое разнообразие Хибин, перспективы геотуризма в районе.

В ходе двухлетнего сотрудничества Геологический институт КНЦ РАН разработал рекреационную карту Хибин с 15 геотуристическими маршрутами и легендой, унифицированной в соответствии с требованиями зарубежных партнеров (рис. 2). На рабочей встрече 3–4 декабря 2013 г. в г. Леви, Финляндия, окончательный макет карты передан коллегам Геологической службы Финляндии для ее печати и тиражирования. Готовится к изданию путеводитель по геотуристическим маршрутам в Хибинах на русском, финском и норвежском языках.

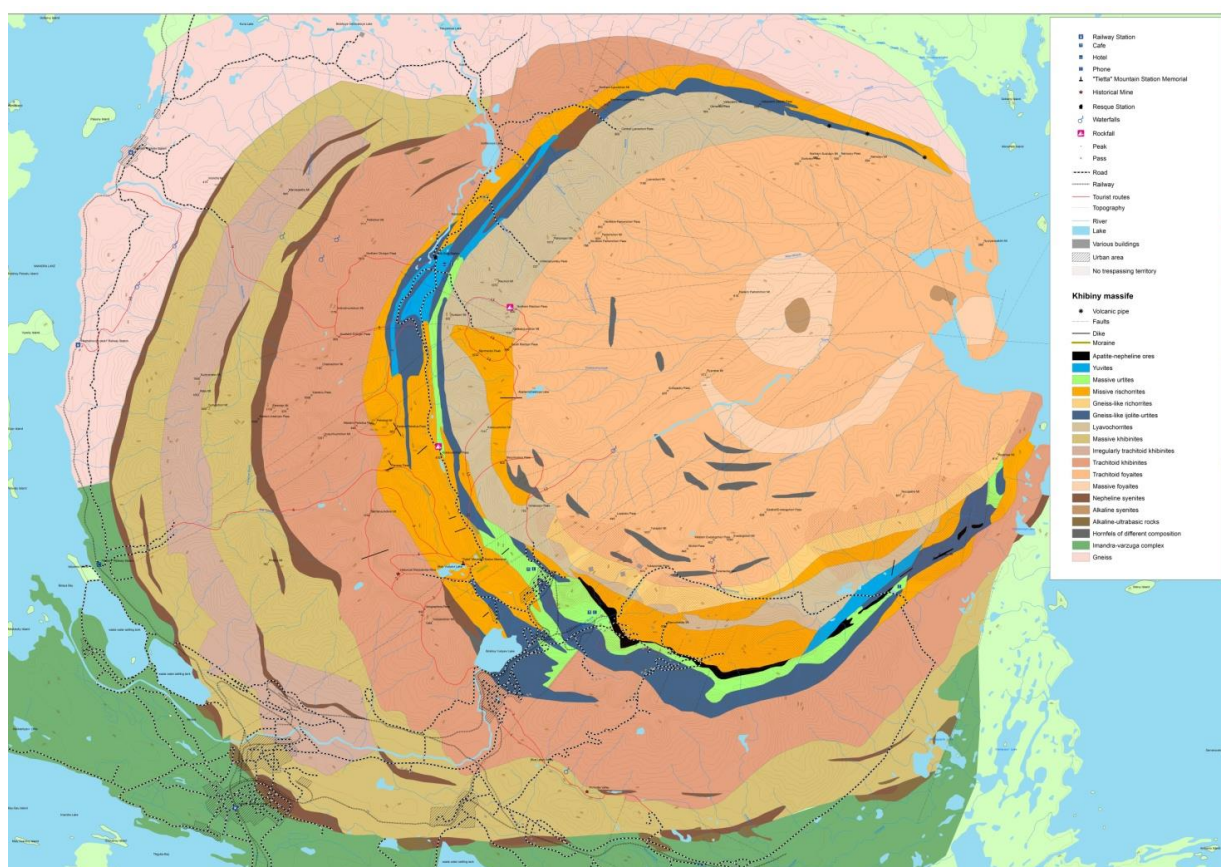


Рис. 2. Макет геотуристической карты Хибин

В ходе подготовки путеводителя стороны обнаружили, что перечень интересных с точки зрения геологии и минералогии объектов Кольского п-ова не ограничивается Хибинским массивом. В связи с этим принято решение выпустить дополнительный путеводитель по круговому маршруту «Varents Tour» по России, Финляндии и Норвегии (рис. 3). Маршрут «Печенгский р-н – Мончегорский р-н – побережье Белого моря» намечен как его замыкающая часть. В настоящее время описания маршрутов для «Varents Tour for Geotourists» на русском и английском языках переданы финским коллегам.



Рис. 3. Баренц-тур по России, Финляндии и Норвегии

Проводимые Геологическим институтом КНЦ РАН мероприятия в рамках проекта: приемы зарубежных партнеров, геотуристические экскурсии и т.д. – активно освещались в средствах массовой информации. По результатам сотрудничества вышло несколько совместных публикаций в российских и зарубежных изданиях.

Международная программа «FODD – Fennoscandian Ore Deposit Database» имеет целью создание базы данных, охватывающей рудные месторождения и перспективные рудопоявления Фенноскандии, т.е. Финляндии, Швеции, Норвегии, Кольского п-ова и Карелии. Участниками проекта являются Геологические службы указанных скандинавских стран, а с российской стороны – организации, наиболее активно работающие на Кольском п-ове и в Карелии: Геологический институт КНЦ РАН (г. Апатиты), Институт геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск), Всероссийский геологический институт, Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, АО «Минерал» (г. Санкт-Петербург), Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (г. Москва). Заказчики карты – государственные структуры стран-участниц. Карта должна послужить основой для принятия решений о развитии горнорудной отрасли Фенноскандии и долгосрочных межгосударственных альянсов в этой сфере производства. Финансирование проекта с каждой стороны – самостоятельное.

Проект FODD начат в 2008 г. по инициативе Евросоюза ввиду непредсказуемой внешнеэкономической политики Китая. Обеспокоенность Евросоюза вызвала плохая обеспеченность металлами и минералами, объединенными в группу «критических»: Sb, Be, Co, Ga, Ge, In, Mg, Nb, PGE, REE, Ta, W, флюорит, графит. Кроме перечисленных 14, потенциально критическими сегодня считаются еще 6 элементов: Y, Sc, Li, S, Te, P. Очевидно, список время от времени будет меняться, причем в сторону пополнения. Проект FODD не ограничен временными рамками и будет продолжаться, смещая акценты в зависимости от мировой конъюнктуры и новых перспектив, вызванных в первую очередь научно-техническими инновациями. Промежуточный результат проекта – «Карта месторождений промышленных полезных ископаемых Фенноскандии масштаба 1: 2 000 000» – доступна на сайте Геологической службы Финляндии <http://en.gtk.fi/information/services/databases/fodd/index.html> и составлена при участии Геологического института КНЦ РАН.

На карте показаны почти 600 месторождений и рудопроявлений, из которых 110 – действующие, 223 – закрытые и 250 находятся в резерве. Они представляют 35 видов минерального сырья (элементов или минералов), из них 16 используются в промышленности. Среди действующих и резервных объектов около 100 содержат сырье из списка «критических». Распределение объектов по странам: Швеция – 224, Норвегия – 127, Россия – 120, Финляндия – 112. При этом база данных содержит почти втрое больше объектов (рудопроявлений): Швеция – 878, Финляндия – 352, Россия – 247, Норвегия – 214. Из сказанного ясно, что Кольский п-ов представляет большой интерес для Евросоюза как потенциальный источник сырья, жизненно важного для ряда отраслей экономики. И это создает основу для наших долгосрочных международных контактов в рамках объявленной Президентом и Правительством Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности до 2020 г.

#### **Сведения об авторах**

*Войтеховский Юрий Леонидович* – д.г.-м.н., директор Геологического института КНЦ РАН;

e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

*Мирошниченко Тамара Александровна* – начальник общего отдела;

e-mail: bagrintceva@geoksc.apatity.ru

## ЭКСПЕДИЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГИ КНЦ РАН, НАПРАВЛЕННАЯ НА РАЗВИТИЕ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АРКТИКИ, РЕШЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЛОГИИ И МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

**Т.В. Рундквист**

Геологический институт КНЦ РАН

### Аннотация

Экспедиционная деятельность ГИ КНЦ РАН направлена на реализацию крупномасштабных и комплексных научных проектов в Кольском регионе и проводится по нескольким главным направлениям: работы, связанные с прогнозом и изучением месторождений стратегического рудного минерального сырья и других полезных ископаемых; работы по изучению миграций оледенения, изменений климата и динамики катастрофических явлений, происходивших на территории западной части Арктической зоны России за последние 10–15 тыс. лет; фундаментальные исследования в области геологии; экспериментальные экспедиционные работы по изучению геоэлектрических свойств земной коры и верхней мантии; международный научный туризм.

### Ключевые слова:

*экспедиционная деятельность, геология, рациональное природопользование, международное сотрудничество.*



Экспедиционная деятельность составляет неотъемлемую часть геологического изучения территории. Геологический институт КНЦ РАН ежегодно проводит экспедиционные работы в Мурманской обл., захватывая и сопредельные районы северной Карелии и Архангельской обл. (рис. 1). В последнее пятилетие (2009–2013 гг.) ГИ КНЦ РАН каждый год формирует от девяти до восемнадцати полевых отрядов, в составе которых работали от 57 до 93 чел., включая постоянных и временных работников. В качестве временных работников – лаборантов, рабочих – в отрядах трудились, осваивая азы профессии и проходя учебную практику, студенты базовой

кафедры геологии и полезных ископаемых Апатитского филиала МГТУ. Выезд отрядов на полевые работы начинался в первую декаду июня, когда большинство территорий освободилось от снежного покрова, а возвращались последние отряды тогда, когда снег снова ложился – в конце сентября или в начале октября. Короткий полевой сезон требует слаженных действий коллектива, повышает значение четкой организации работ как в техническом, так и в научном плане.

Экспедиционная деятельность ГИ КНЦ РАН направлена на реализацию крупномасштабных и комплексных научных проектов в Кольском регионе, в её составе можно выделить несколько направлений:

- направление 1. Экспедиционные научно-исследовательские работы, связанные с прогнозом и изучением месторождений стратегического рудного минерального сырья – платины, палладия, золота, хрома, меди, никеля, редких и редкоземельных элементов, нерудного минерального сырья – апатита, строительных материалов и других полезных ископаемых;

- направление 2. Экспедиционные научно-исследовательские работы по изучению миграций оледенения, изменений климата и динамики катастрофических явлений, происходивших на территории западной части Арктической зоны России за последние 10–15 тыс. лет;

- направление 3. Фундаментальные геологические исследования и сбор материала для решения задач в области геохронологии, изотопной геохимии, петрофизики, региональной геологии и тектоники плит;



• направление 4. Экспериментальные экспедиционные работы по изучению геоэлектрических свойств земной коры и верхней мантии с помощью мощных контролируемых источников электрического тока;

• направление 5. Научный туризм, организация и проведение геологических экскурсий на уникальных объектах Кольского региона для иностранных геологов в ознакомительных целях.

Первое направление экспедиционных исследований ГИ КНЦ РАН, связанное с исследованиями рудоносных объектов, возглавлялось академиком Ф.П. Митрофановым и директором ГИ КНЦ РАН д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховским. В работе принимали участие к.г.-м.н. Л.И. Нерович, к.г.-м.н. В.В. Чащин, к.г.-м.н. А.У. Корчагин, к.г.-м.н. П.В. Припачкин, к.г.-м.н. Т.В. Рундквист, к.г.-м.н. С.М. Карпов, к.г.-м.н. А.А. Калинин, к.г.-м.н. А.К. Шпаченко, а также молодые сотрудники и аспиранты: к.г.-м.н. Н.Ю. Грошев, к.г.-м.н. Д.А. Габов, к.г.-м.н. А.В. Мокрушин, А.В. Чернявский, Р.А. Гребнев, Я.А. Мирошникова, Е.Н. Борисенко, Е.Л. Кунаккузин, А.Н. Иванов.

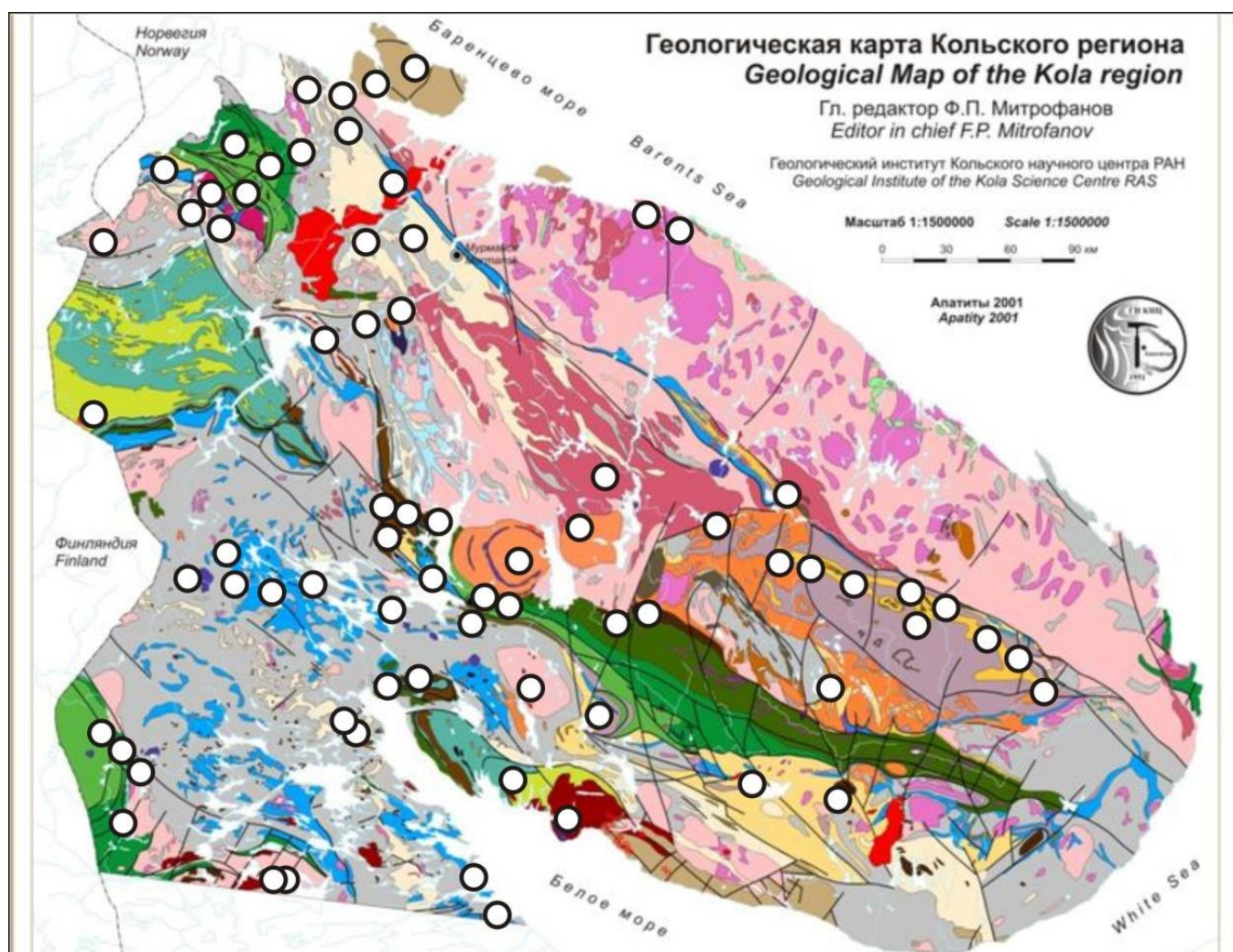


Рис. 1. Районы экспедиционных исследований ГИ КНЦ РАН в период 2000–2013 гг. на геологической карте Мурманской области

Во время полевых сезонов 2009–2013 гг. получены новые материалы по геологии перспективных платинометалльных объектов Кольского п-ова. Важнейшие объекты Кольской платинометалльной провинции – Федорово-Панский и Мончегорский интрузивные раннепротерозойские расслоенные комплексы. В пределах Федорово-Панского интрузивного расслоенного комплекса были выявлены новые геологические данные, которые позволили пересмотреть и уточнить модель геологического строения массива Федорова тундра.

В Федоровотундровском массиве выделены расслоенная и краевая серии пород. Платинометальная минерализация массива разделена на два типа: рифовый, встречающийся в расслоенной серии, и контактовый, развитый в краевой серии. Установлен мегаритмичный характер разреза мафитовых зон расслоенной серии. Границы мегаритмов – маломощные уровни оливиновых кумулатов. Подтвержден прогноз о том, что к границам мегаритмов расслоенной серии пород приурочена платинометальная минерализация. В верхней мафитовой зоне расслоенной серии массива, считавшейся ранее бесперспективной, в результате полевых работ 2009 г. выявлен уровень платинометального оруденения с отношением Pt/Pd = 1.5, содержаниями платиноидов и Au, достигающими 1 г/т и низкими концентрациями серы (0.02–0.06 мас. %) – риф Невидимый (Н-риф). В массиве Федоровой тундры в пределах платинометального Н-рифа выполнена детальная магнитная съемка по сети 25×5 м на участке 200×600 м. Установлено, что перекрывающий Н-риф слой слабомагнитных лейкогаббро (кровля Н-рифа) удовлетворительно выделяется на всех профилях в виде полосовидной низкоамплитудной отрицательной аномалии.

В пределах Западно-Панского массива и массива Федоровой тундры (Федорово-Панский платиноносный расслоенный комплекс) проведен отбор геохимических проб для определения в них редкоземельных и редких элементов с целью более детальной геохимической и генетической классификации платинометальных рудоносных объектов. На Западно-Панском платиноносном массиве на участках Каменник и Восточный Киевей осуществлено детальное опробование двух разрезов вкрест простирания расслоенности через Нижний и Верхний расслоенные горизонты для определения содержаний РЗЭ в породах и рудах и получения спектров распределения РЭ и РЗЭ в Северном и Южном платиноносных рифах. В том же массиве силами ГИ КНЦ РАН и ОАО «ПАНА» сделаны геологическая и магнитная съемки на участке Каменник. Данный участок на Северном склоне г. Каменник оставался не до конца изученным. В полевых условиях составлена геологическая карта в масштабе 1:5000, площадь полигона 8 км<sup>2</sup>. Получена карта аномалий магнитного поля северного склона г. Каменник. Северный платиноносный риф прослежен по простиранию на склоне г. Каменник.

На втором месте по значимости в отношении платинометального оруденения в Кольском регионе стоит Мончегорский рудный узел. Наиболее важные экспедиционные работы в период 2009–2013 гг. проводились здесь в границах массивов Вурэчуайвенч, Южносопчинский и Мончетундровский. В Мончегорском рудном районе выполнено крупномасштабное картирование ряда детальных участков платиноносных массивов Вурэчуайвенч и Южносопчинский. Получен ценный фактический материал по геологическому строению этих объектов и локализации платинометального оруденения. Сульфидное и платинометальное оруденение массива Вурэчуайвенч принадлежит к рифовому типу, а расположенный в непосредственной близости участок Южносопчинский – Морошковое озеро содержит сульфидно-оксидную и платинометальную минерализацию жильного типа. Осуществлено геологическое изучение пород Мончетундровского массива, где также обнаружены повышенные содержания элементов платиновой группы. Геологические и геохимические данные, ставшие результатом обработки материалов экспедиционных работ, позволяют выделить в пределах Мончегорского рудного района наиболее перспективные зоны и объекты в отношении обнаружения новых месторождений платиновых металлов. В первую очередь к таким объектам относится зона сочленения Южносопчинского массива и Мончегорского плутона, где имеются важнейшие признаки, сближающие эту зону с массивом Федоровой тундры: контакт двух магматических тел, подчеркнутый зоной брекчирования, наличие нескольких типов проявлений элементов платиновой группы с промышленным содержанием металлов.

Экспедиционные работы по платинометальной тематике проводились также в Кандалакшском и Терском районах Мурманской обл. (Кандалакшско-Колвицкие площади), вблизи населенных пунктов – г. Кандалакша и пос. Колвица. Объекты изучения – базит-гипербазитовые интрузии площади Плотичье, а также палеопротерозойские массивы основных пород – Колвицкий и Кандалакшский. Целью работ являлось выявление критериев и факторов, контролирующих платинометальное оруденение, оценка платиноносности палеопротерозойских лерцолит-вебстерит-габбро-норитовых и габбро-анортозитовых интрузий – Кандалакшской и Колвицкой. Работы были направлены на сбор образцов для дальнейшего петрографического

и петрохимического изучения пород, а также определение содержания в них элементов платиновой группы.

По-прежнему в Кольском регионе большой интерес вызывают потенциально рудоносные медно-никелевые объекты. Один из таких объектов – мафит-ультрамафитовый массив Песчаноозерский, расположенный в удаленной северо-восточной части Кольского п-ова, в районе верховий р. Варзуга, был охвачен экспедиционными работами ГИ КНЦ РАН. Проведены геологическая и магнитная съемки, в результате обнаружена зона сульфидной минерализации, связанная с горизонтом интенсивного чередования контрастных по составу пород. По данным магнитной съемки, выполненной в 2009 г., на западном фланге массива присутствует положительная магнитная аномалия, связанная с троктолитами и оливиновыми габброноритами. Здесь же, в краевой зоне, обнаружена сульфидная медно-никелевая минерализация. Протяженность зоны достигает 1.5 км. На основании результатов полевых работ и первичной обработки полученных материалов, сделан вывод о Cu-Ni металлогенической специализации массива Песчаноозерский. Принимая во внимание состав пород и строение массива, а также его размеры (8×10 км), массив весьма перспективен для обнаружения в его пределах сульфидных Cu-Ni месторождений типа Войзис-Бей в Канаде.

В 2009–2013 гг. реализованы работы по комплексному изучению геологического строения зоны Кейв и определению перспектив этой крупной и уникальной структуры в отношении алюминиевого сырья (кианит, ставролит) и других полезных ископаемых. Произведен отбор технолого-минералогических проб (крупнообъемных и штучных) ставролит-кианитовых руд, дальнейшая обработка этих проб осуществлялась в ГоИ КНЦ РАН и ИХТРЭМС КНЦ РАН в рамках межинститутской тематики изучения глиноземистого сырья. В Кейвском террейне также выполнен сбор фактического материала для научного обоснования технологий прогнозирования, оценки и комплексной переработки редкоземельных руд Кольского полуострова с целью создания функциональных материалов для высокотехнологичных секторов промышленности. В результате полевых работ выполнено картирование наиболее перспективных на тяжелые редкоземельные элементы участков в Западных Кейвах. Сформированы коллекции минералов-концентраторов тяжелых редкоземельных элементов, характеризующих перспективные объекты – редкоземельное рудопроявление горы Плоской; амазонитовые пегматиты к юго-западу от оз. Тапперйок, на Ровгоре, в верховьях р. Кейвы; кварцевые жилы в районе гор Малый и Большой Пьедесталы, на г. Юмперуайв и Платон-горе, к югу от г. Макзабак. Собран каменный материал, необходимый для геологического, геохимического, минералогического и технологического описания перспективной на тяжелые редкоземельные элементы Западно-Кейвской площади и позволяющий установить закономерность развития редкоземельной минерализации относительно контактов щелочных гранитов и вмещающих гнейсов.

Еще один вид полезных ископаемых, сосредоточенных в зоне Кейв – титановые руды. Во время полевых работ 2009–2013 гг. изучен Щучье-Медвежьеозерский массив габбро-анортозитов, что позволило провести сравнительный анализ вещественного состава, минерогенеза и условий метаморфизма архейских габбро-анортозитов Кейвского террейна, находящихся в различных тектонических позициях: в зоне крупного долгоживущего разлома (Цагинский массив), в зоне интенсивного развития надвиго-складчатых структур (Ачинский массив) и в области ненарушенного архейского фундамента (Щучье-Медвежьеозерский массив). Полученные данные дают возможность более обоснованно подойти к прогнозной оценке минерогенического потенциала этих интрузий в отношении титаномагнетитового оруденения. Проведено изучение выходов горных пород и титаномагнетитовых руд Ачинского массива, метапелитов нижнечервуртской подсветы Кейв, собрана коллекция образцов, представляющих основные типы руд массива и все стадии метаморфических преобразований пород и руд.

В ходе полевых сезонов 2009–2013 гг. продолжались исследования, направленные на выяснение золоторудного потенциала Кольского региона. Полевые исследования по золоторудной тематике осуществлялись в шести районах: Куолаяврвинская структурная зона, Кейвская зона, Южно-Печенгская структурная зона, южное обрамление структуры Имандра-Варзуга, Тикшеозерский зеленокаменный пояс и Южное Прихибинье. Проведено минералого-геохимическое опробование золотосодержащих кварцевых жил, шлиховое опробование

четвертичных ледниковых отложений, заверка биогеохимических аномалий в пределах Куоляярвинской структуры протерозойских вулканогенно-осадочных пород. Выполнено минералогическое и геохимическое опробование кварцевых жил, залегающих в породах кейвского сланцево-гнейсового комплекса. Особое внимание было уделено проявлению минерализации Se, Te и Mo (рудопоявление Озерное).

Работы в пределах Южно-Печенгской структурной зоны выполнялись на трех площадях: Пороярви, Брагинские проявления и Ансем. На участке Пороярви задокументированы горные выработки, детально изучены и опробованы естественные и искусственные обнажения, в которых отмечались зоны метасоматических изменений пород и рудной минерализации, а также проявления золоторудной минерализации, составлены геологические схемы и зарисовки с местами отбора образцов и геохимических проб. В пределах Брагинских проявлений золота проведено детальное минералогическое картирование и опробование наиболее перспективных (по результатам 2010 г.) пунктов минерализации золота, а также обследование участков «Дальнее», «Колчеданные проявления» и «Меннельяур». В ходе полевых работ в пределах Куоляярвинской структурной зоны собран материал для оценки перспектив золотоносности зон гидротермально-метасоматических образований на участках Курсуярви и Нилуттиярви – альбититов с урановой специализацией и пунктов медной сульфидной минерализации в зонах эпидотизации и окварцевания пород. Составлены детальные схемы и зарисовки обнажений и канав, выявлена последовательность метасоматических преобразований пород. Установлено, что развитие сульфидной (пирит, халькопирит, пирротин и молибденит) минерализации (до 10–15 об.%) связано со стадиями амфиболизации, карбонатизации и особенно окварцевания.

В южном обрамлении Имандра-Варзугской структуры удалось проследить потенциально золоторудную зону, близкую по положению к зоне смятия, и увязать ее с магнитной аномалией – горизонтом высокомагнитных пород мощностью около 100 м. По результатам магнитной съемки горизонт расположен приблизительно в 200 м южнее рудной зоны и прослеживается на всем протяжении полигона, что в условиях плохой обнаженности позволяет определить его как маркирующий. Протяженность потенциально рудоносной зоны около 12 км. На ее западной оконечности (участок «Горелый бор») найдена кварцевая глыба, содержащая арсенопирит-галенит-халькопиритовую минерализацию и видимое золото. Проведены полевые работы в пределах архейского Тикшозерского зеленокаменного пояса (Кандалакшский район, 25 км к юго-востоку от пос. Зареченск, оз. Кичаны, г. Лисья). Полученный материал характеризует проявление золотосодержащей сульфидной минерализации в толще плагиоамфиболитов верхнеозерской свиты, комплексное рудопоявление графита, молибденита, радиоактивных металлов в биотитовых гнейсах и плагиомикроклиновых гранитах, рудопоявления железистых кварцитов. На площади Тикшеозерского зеленокаменного пояса изучены проявления минерализации золота на оз. Верхние Кичаны, зона метасоматического изменения пород прослежена на 15 км к западу-северо-западу от участка Кичаны в район оз. Бабье, где также выявлены признаки золоторудной минерализации. Здесь найдена арсенопиритовая минерализация с повышенным (0.1 г/т) геохимическим фоном золота в зоне смятия гранат-кварцевых пород, метасоматитов по гранат-биотитовым гнейсам и плагиоамфиболитам, которая контролируется зоной разлома. Оценены масштабы развития золоторудной минерализации, выделены рудоконтролирующие структуры и перспективные горизонты.

В Южном Прихибинье полевые работы были направлены на изучение золотоносности колчеданных рудопоявлений (рис. 2). Здесь отобраны технологические пробы, задокументированы горные выработки (канавы и расчистки), вскрывшие углерод-сульфидные роговики и перекрывающие измененные биотит – кварц – полевошпатовые сланцы. Произведен отбор технолого-минералогических проб, минералогическое опробование по наиболее представительным типам пород и руд. В результате работ собран материал по всей полосе развития колчеданных руд Прихибинья.

В результате экспедиционных работ ГИ КНЦ РАН по первому направлению получен комплекс новых данных о геологии месторождений и проявлений целого ряда полезных ископаемых на территории Кольского региона. Наиболее значительные результаты достигнуты в изучении платинометалльных руд.

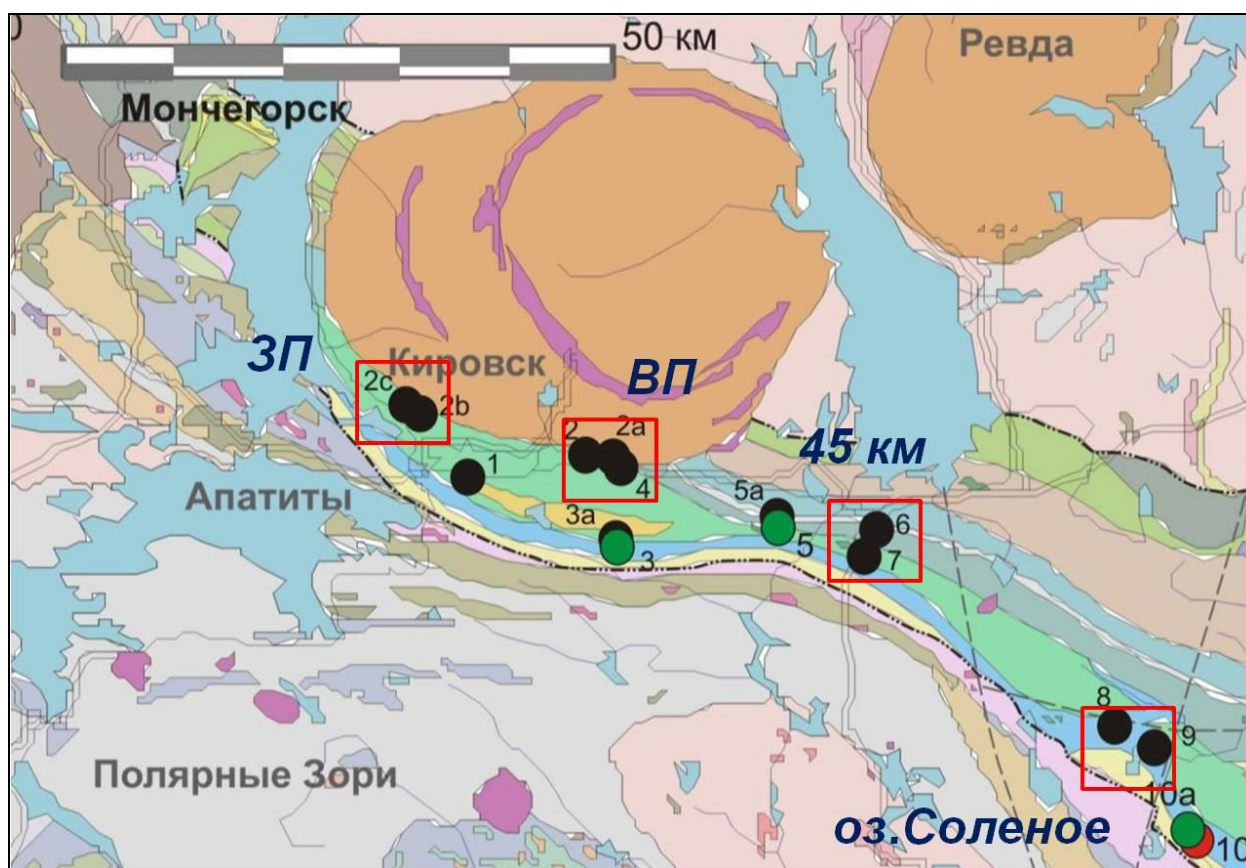


Рис. 2. Участки работ по изучению золотоносности Прихибинья в 2012 г.  
 Слева направо красными квадратами выделены участки: Восточные пирротины,  
 Западные пирротины, 45 км и участок оз. Соленое

Второе направление экспедиционных работ Геологического института КНЦ РАН посвящено исследованиям в области геологии кайнозойских отложений в Кольской и Северо-Карельской частях Арктической зоны России. В ГИ КНЦ РАН систематически ведутся комплексные исследования глобальных климатических изменений в Арктических полярных широтах. Это направление возглавляют к.г.-м.н. В.В. Колька и д.г.-м.н. В.Я. Евзеров. В работах принимают участие к.г.-м.н. О.П. Корсакова, к.г.-м.н. С.Б. Николаева, аспиранты Д.С. Толстобров и А.Н. Толстоброва (Алексеева). Экспедиционные работы проводились на побережьях Баренцева и Белого морей, омывающих Кольский полуостров, а также в его центральной части, в акваториях многочисленных озер.

В течение полевых сезонов 2009–2013 гг. продолжено исследование кайнозойских отложений Кольского п-ова, а также работы по установлению и датированию положения берегов Белого и Баренцева морей в различное время голоцена. Осуществлено бурение и отбор кернов донных осадков мелких озер для определения возраста смены морских условий осадконакопления на пресноводные озерные. Проведено комплексное опробование разрезов озерных отложений для палеоклиматических, радиоуглеродных, изотопных ( $O_{18}$ ), тефрохронологических исследований. Отобраны пробы для спорово-пыльцевого, диатомового, геохимического анализов.

Изучен состав крупнообломочного материала ледниковых и водноледниковых отложений, развитых южнее п-овов Рыбачьего и Среднего, проведены детальные структурно-геологические и геоморфологические исследования тектонических нарушений рельефа в районе юго-западного побережья Кандалакшского залива.

Исследования по той же тематике проводились и в Ковдорском районе. Опорный участок работ (район озер Верхняя Пиренга – Бабинская Имандра) был выбран после предварительного

детального дешифрирования аэрофото- и космоматериалов и анализа топокарт. В задачи работ входило изучение донных отложений озер, расположенных в зонах новейших линейных элементов и участков с развитием палеосейсмодеформаций в скальных породах, а также разрезов четвертичных отложений, вскрытых карьерами и/или в естественных обнажениях вдоль рек с помощью проходки шурфов и расчисток.

Впервые в результате целенаправленных детальных палеосейсмогеологических работ в Кольском регионе обнаружены сейсмоосадки в озерных отложениях, которые можно будет рассматривать как одно из значимых сейсмических проявлений на северо-востоке Фенноскандинавского щита. В кернах скважин они представлены «чужим» материалом, резко отличающимся от перекрывающих и подстилающих их отложений – обломками гитии, алевролита, древесины, песка и торфа в сапропелевой матрице (рис. 3). Эти осадки интерпретируются как отражение сильного природного катастрофического события голоцена, запечатленного в осадочном разрезе. Датирование осадков радиоуглеродным методом позволит установить времена возникновения события, активизации и оживления новейших разломов и по совокупности данных – способствовать выяснению основных этапов проявления (периодов, импульсов) геодинамической активности внутриплатформенных территорий на новейшем этапе их развития.



*Рис. 3. «Брекчированный» горизонт в керне озерных осадков, свидетельствующий о сильном природном катастрофическом событии голоцена*

Исследования миграции оледенения, изменения климата и динамики катастрофических явлений, происходивших в Арктической зоне в кайнозое, имеют большое значение для прогнозирования изменений климата в настоящее время и дают возможность глубже подойти к наблюдаемым сегодня климатическим аномалиям.

Третье направление экспедиционных работ ГИ КНЦ РАН неразрывно связано со всеми остальными, поскольку фундаментальные геологические исследования являются основой всех полевых работ. Однако в ряде исследований фундаментальные задачи преобладают, к таким направлениям можно отнести в первую очередь решение задач в области геохронологии и изотопной геохимии. Эти работы проходили под непосредственным руководством академика Ф.П. Митрофанова и д.г.-м.н. Т.Б. Баяновой, в них участвовали к.г.-м.н. Л.И. Нерович, к.г.-м.н. П.А. Серов, к.г.-м.н. Л.Н. Морозова, к.г.-м.н. Е.А. Ниткина, к.г.-м.н. Н.М. Кудряшов, д.г.-м.н. Т.В. Каулина, к.г.-м.н. Л.С. Петровская, к.г.-м.н. М.Н. Петровский, Е.Н. Борисенко, Е.Л. Кунаккузин и другие.

Отбор каменного материала для геохронологических исследований из различных пород интрузивных комплексов, относящихся к Восточно-Скандинавской обширной изверженной провинции, в том числе из разновозрастных даек, позволил в дальнейшем получить многочисленные систематические возрастные и изотопно-геохимические данные для габброидных пород и дайковых серий: Sm-Nd по породе, U-Pb (по циркону и бадделеиту) и Sm-Nd (по породообразующим сульфидным минералам). Фундаментальные исследования имели практическое приложение, т.к. именно с образованиями Восточно-Скандинавской обширной изверженной провинции связаны месторождения платины и палладия, открытые в Кольском регионе в последние десятилетия.

В 2009–2011 гг. ГИ КНЦ РАН под непосредственным руководством д.г.-м.н. А.А. Арзамасцева (в настоящее время он работает в ИГД РАН, в Санкт-Петербурге) проведены масштабные полевые работы, направленные на петрологическое изучение роев мафических даек, рассматриваемых как индикаторы источников, условий формирования и эволюции крупных магматических провинций Балтийского щита. Работы проведены с использованием комплекса методов, сочетающего палеомагнитные исследования с отбором материала для изотопного датирования вкупе с петролого-геохимическими исследованиями по разбраковке и оконтуриванию дайковых роев. В частности, опробованы дайки раннепротерозойских метабазитов из района г. Мурманска (у памятника «Алеша», рис. 4).



*Рис. 4. Полевая документация дайки раннепротерозойских метабазитов полевым отрядом под руководством д.г.-м.н. А.А. Арзамасцева, на заднем плане – памятник защитникам Заполярья «Алеша», г. Мурманск*

Под руководством к.г.-м.н. В.Р. Ветрина проводились полевые работы по получению геологических данных и опробованию главных разновидностей горных пород Кольско-Норвежского блока для определения состава, изотопно-геохимических характеристик и возраста разноглубинных пород, а также реконструкции и сопоставления состава протолитов наиболее распространенных пород архейской верхней и средней коры. Изученная территория сложена архейскими метаморфическими и интрузивными породами. Наибольшую площадь занимают метаморфические породы кольской серии, среди которых выделены толщи биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов. Интрузивные образования представлены измененными основными породами – габбро и габбро-амфиболитами, а также комплексами гиперстеновых диоритов

и гнейсо-диоритов, плагиогранитов, плагиомикроклиновых гранитов и гранодиоритов. Породы толщи биотитовых гнейсов располагаются в виде полос северо-западного простирания или отдельных изолированных участков среди гранитоидов плагио- и плагиомикроклинового состава. Проведены наблюдения взаимоотношений пород кольской серии в районе мыс Мишуков – пос. Белокаменка, в районе пос. Тулома, в карьере вблизи г. Североморска, в дорожной выемке на склоне г. Полнек-тундра, в карьере около пос. Магнетиты.

Во время проведения экспедиционных работ в 2010 году получены новые данные по геологии архейских образований Балтийского щита. В пределах Ингозерского блока в центральной части Кольского п-ова исследован архейский комплекс тоналит-трондьемитовых гнейсов, слагающих основание северо-востока Балтийского щита, отобраны пробы пород комплекса для выполнения геохронологических исследований: биотитовые, амфибол-биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсы, гранитогнейсы, полевошпатовые амфиболиты.

Комплексные геолого-геофизические и геолого-структурные полевые исследования проведены ГИ КНЦ РАН в границах Кейвского парасланцевого пояса архея. Важнейшей составляющей в исследовании структурных особенностей зоны Кейв стали полевые работы в районе хребта Серповидный. Начиная с 2009 г. и в течение трех последующих полевых сезонов, полевым отрядом под руководством д.г.-м.н. В.В. Балаганского при участии к.ф.-м.н. А.Б. Раевского, к.г.-м.н. С.В. Мудрука, И.Н. Горбунова и других осуществлена детальная наземная магнитная съемка и построена карта аномального магнитного поля, выполнено геологическое картирование реперных структур Кейвского пояса, включая полосу магнитной съемки. Проведены структурные исследования кейвских метаосадочных толщ, включая кинематические построения для палеопротерозойских деформаций. На основании итогов полевых работ 2009 г. и более ранних разработок, впервые на Балтийском щите выделен региональный пояс надвигов и гигантских колчановидных складок, являющийся результатом проявления палеопротерозойской тектоники сорванного чехла в Кейвском террейне. Установлено наращивание разреза южной толщи Серповидной структуры к северу и нормальное её залегание, что служит одним из доводов в пользу того, что породы этой структуры есть часть крупной надвиговой пластины, выдвинутой из Имандра-Варзугской рифтогенной зоны. Главным механизмом деформации пород изученных районов был механизм сдвигового течения, а не продольный изгиб. Отражением данного механизма являются минеральная и агрегатная линейность в горных породах и складки, размеры которых варьируют от первых сантиметров до первых километров. Полевые исследования позволили сделать главный вывод: кейвский парасланцевый пояс архея в тектоническом отношении представляет собой пояс надвигов и гигантских колчановидных складок, возникших в палеопротерозое в результате проявления горизонтальной тектоники в Кевском террейне, причем тектоники сорванной не только верхней, но средней коры в форланде палеопротерозойского Лапландско-Кольского коллизионного орогена.

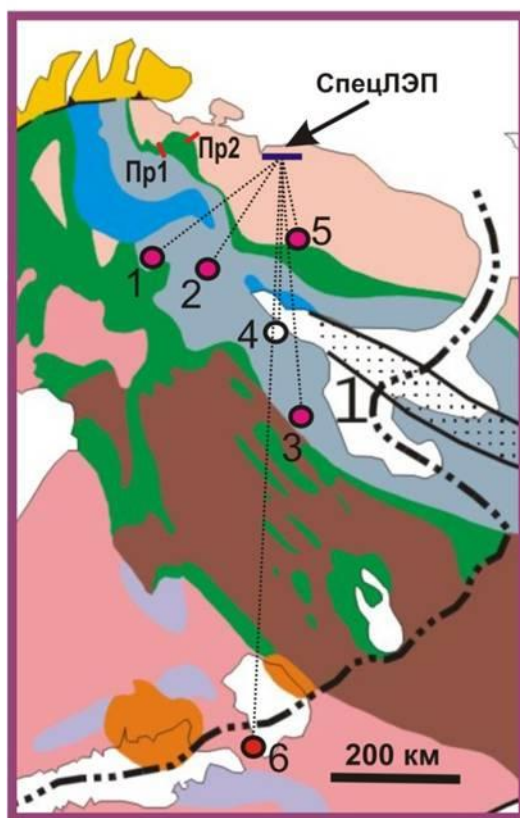
Четвертое направление экспедиционных исследований ГИ КНЦ РАН возглавляет д.г.-м.н. А.А. Жамалетдинов, в исследованиях принимают участие к.г.-м.н. А.Н. Шевцов, В.В. Котляров, аспиранты А.А. Скороходов и В.Е. Колесников. Работы проводятся при творческом сотрудничестве с ЦФТПЭС КНЦ РАН, ПГИ КНЦ РАН и целым рядом других организаций. В ходе экспедиционных работ творческая группа проводит эксперименты по глубинному электромагнитному зондированию континентальной земной коры с использованием контролируемых источников тока – промышленных линий электропередачи, а также естественных источников – магнитотеллурические и аудиоманнитотеллурические зондирования. Цель работы состоит в дальнейшем расширении и уточнении результатов выполненного ранее эксперимента «Хибины» по глубинному зондированию с помощью импульсного МГД-генератора мощностью 80 МВт.

Начиная с 2009 г., геоэлектрические эксперименты ГИ КНЦ РАН приобретали всё больший размах, захватывая новые более удаленные регионы и используя более мощную аппаратуру. В 2009 г. при творческом сотрудничестве выполнены ревизионные работы по глубинному зондированию в поле естественных и мощных контролируемых источников электромагнитного поля практически на всей территории Карело-Кольского региона по пяти профилям общей протяженностью более тысячи километров, со средним шагом 50 км. В 2013 г.



глубинные электромагнитные зондирования с источником двойного назначения (с СНЧ-антенной «СпецЛЭП») в комплексе с магнитотеллурическими зондированиями проводились как в Кольском регионе, так и в Карелии (рис. 5). Измерения сигналов контролируемого источника «Зевс» осуществлены также в районе Санкт-Петербурга, на обсерватории «Красное озеро» СПбФ ИЗМИРАН. Планируемые на полевой сезон 2014 года эксперименты должны охватить еще более удаленные регионы: проведение измерений будет выполнено на сверхдальних разносах – в Харькове, на Шпицбергене, в Нижнем Новгороде и в Улан-Удэ на удалениях до 2–3 тыс. км от источника тока.

Фундаментальная научная задача, решаемая на основе экспедиционных работ – изучение взаимодействия электромагнитных полей естественных и мощных искусственных источников КНЧ-СНЧ диапазона с земной корой и верхней мантией на территории Балтийского щита с учетом влияния ионосферы, токов смещения и лунно-солнечных приливных деформаций.



*Рис. 5. Схема расположения пунктов и районов работ отряда геоэлектриков под руководством д.г.-м.н. А.А. Жамалетдинова в 2013 г.*

В ходе геоэлектрических экспериментов решаются и практические задачи: зондирование рудоперспективных структур западной части Кольского региона (Печенгская структура), частотные зондирования в Мончегорском никеленосном районе с источником направленного действия. В результате этих работ исследователи получают экспериментальный материал, который позволяет в дальнейшем проводить количественное компьютерное моделирование глубинного строения центральной части Печенгской структуры и совместную интерпретацию измерений, полученных другими геофизическими методами. Ежегодно в ходе полевых работ группа геоэлектриков испытывает на натуральных объектах новые экспериментальные модели генераторов, разрабатываемые ЦФТПЭС КНЦ РАН.

Пятое направление экспедиционных работ ГИ КНЦ РАН – организация и проведение геологических экскурсий для иностранных геологов на уникальных объектах Кольского региона. Возникновение данного направления – ответ на многочисленные запросы международного геологического сообщества. Направление возглавляет директор института д.г.-м.н.

Ю.Л. Войтеховский, непосредственно проводя целый ряд экскурсий. Экскурсиями также руководили сотрудники ГИ КНЦ РАН к.г.-м.н. Ю.Н. Нерадовский, к.г.-м.н. П.В. Припачкин, к.г.-м.н. А.К. Шпаченко, В.В. Пуха. Большой вклад в эту работу вносит опытный переводчик Т.А. Мирошниченко (Багринцева). Своеобразие геологического строения Кольского региона – крупнейшие интрузии щелочных пород (Хибинская, Ловозерская и многие другие) с их минералогическим разнообразием, расслоенные платиноносные интрузии основного-ультраосновного состава (Мончегорский комплекс, Федорово-Панский комплекс и др.), другие уникальные объекты – привлекает как выдающихся ученых с мировым именем, так и студенческие группы.

Толчком к развитию подобных контактов послужили геологические экскурсии, проведенные в 2008 г. в рамках 33-го международного геологического конгресса, состоявшегося в г. Осло (Норвегия). Летом следующего года в ГИ КНЦ РАН поступил запрос от китайских геологов, которые не смогли попасть на экскурсию в 2008 г., о проведении отдельной экскурсии на интересующих их объектах. Летом 2009 г. для китайской делегации проведены 4 полевые экскурсии по месторождениям Мончегорского района с посещением медно-никелевых, хромитовых и платинометалльных месторождений и рудопроявлений (рис. 6).



*Рис. 6. Группа китайских геологов под руководством к.г.-м.н. Ю.Н. Нерадовского на вершине г. Ниттис в Мончегорском районе*

Начиная с 2011 г., ГИ КНЦ РАН разработал программу серии экскурсий «Уникальные геологические объекты Кольского полуострова», нацеленную на ознакомление зарубежных специалистов по геологии и минералогии с наиболее примечательными в геологическом и минералогическом плане объектами Кольского полуострова. При разработке сети маршрутов учитывалась степень привлекательности и доступности объектов для зарубежных экскурсантов, которые несколько отличаются у российских и европейских специалистов, как выявил анализ встреч с финскими партнёрами проекта по геотуризму «ABC GHeritage – Arctic Biological, Cultural and Geological Heritage».

В рамках программы «Уникальные геологические объекты Кольского полуострова» в 2011–2013 гг. проведены экскурсии для студентов и геологов из Великобритании, Польши, Германии, Финляндии, Австралии и других стран. Ведется работа по подготовке новых экскурсионных объектов и составлению путеводителей.

За последнее пятилетие экспедиционная деятельность ГИ КНЦ РАН продолжалась как за счет развития традиционных направлений, связанных с реализацией комплексных геологических научных проектов в Российской Арктике, так и, в соответствии с велениями времени, путем создания нового для института направления – международного научного туризма. В предстоящем полевом сезоне 2014 г. эта деятельность будет продолжена, в настоящее время ведутся работы по формированию полевых отрядов, подготовке транспортных средств и согласованию конкретных научных задач, стоящих перед коллективами.

**Сведения об авторе**

*Рундквист Татьяна Васильевна* – к.г.-м.н., зам директора по науке Геологического института КНЦ РАН; e-mail: rund@geoksc.apatity.ru

## ГЕОДИНАМИКА БЕЛОМОРСКОЙ КОТЛОВИНЫ В ГОЛОЦЕНЕ\*

Евзеров В.Я.<sup>1</sup>, Виноградов А.Н.<sup>2</sup>, Николаева С.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт Кольского научного центра РАН

<sup>2</sup>Кольский филиал Геофизической службы РАН

### Аннотация

Анализ материалов по геологическому строению и тектонике района Беломорской котловины свидетельствует о том, что эта депрессия существовала уже в среднем плейстоцене и была соединена с Мировым океаном. Она образовалась на рубеже позднего миоцена – плиоцена, когда после регрессивного развития континентальной окраины началось погружение шельфа. Позднее, в голоцене произошло опускание Кандалакшского грабена и формирование Колвицкого грабена. В опускание были вовлечены окружающие Кандалакшский залив массивы кристаллических пород, что отразилось в изгибе изобаз гляциоизостатического поднятия района. Совокупное воздействие тектонической составляющей и гляциоизостатического поднятия привело к возникновению напряжений, разрядка которых обусловила высокую сейсмическую активность Кандалакшского грабена и его окрестностей.

### Ключевые слова:

*Беломорская котловина, Кандалакшский грабен, Колвицкий грабен, землетрясение, палеосейсмодеформация, голоцен.*



Беломорская котловина – это внутриплитная морфоструктура на северной окраине Восточно-Европейской платформы. Котловина включает три субструктуры второго порядка: обширный Бассейн с открывающимися в него Кандалакшским, Онежским и Двинским заливами, Воронку и Горло (рис. 1).

Внешняя граница Воронки проходит по линии, соединяющей вершины полуостровов Святой Нос и Канина. На юго-востоке Воронка сопряжена с Мезенским заливом. С Бассейном ее соединяет узкий пролив, вытянутый с юго-запада на северо-восток и получивший название Горла.

Большинство исследователей признает, что контур современной Беломорской депрессии предопределен структурным планом рифейской системы грабенов, возникших на пассивной окраине палеократона Балтика в интервале 1263–1080 млн лет назад [1]. В этот период на раннедокембрийском гранито-гнейсовом цоколе сформировался стратиферный слой мощностью от 3 до 8 км, что обусловило возникновение резкой петрофизической и геомеханической неоднородности в теле континентального геоблока, с которой в последующей истории морфоструктур связана различная реакция котловины и ее кристаллического обрамления на воздействие внешних физических полей. Значительно позднее произошла реактивация разломов рифейских грабенов. Один из последних ее этапов имел место в четвертичное время. Окончательное формирование морфоструктуры определялось взаимодействием двух факторов – эндогенных тектонических напряжений в цоколе и экзогенных статических и динамических нагрузок, создаваемых Скандинавским ледниковым покровом.

\* Работа выполнена при поддержке Правительства Мурманской области в рамках государственной программы «Развитие экономического потенциала и формирование благоприятного предпринимательского климата» и РФФИ – грант 14-05-98806 р\_север\_a и гранта 14-05-98806а.

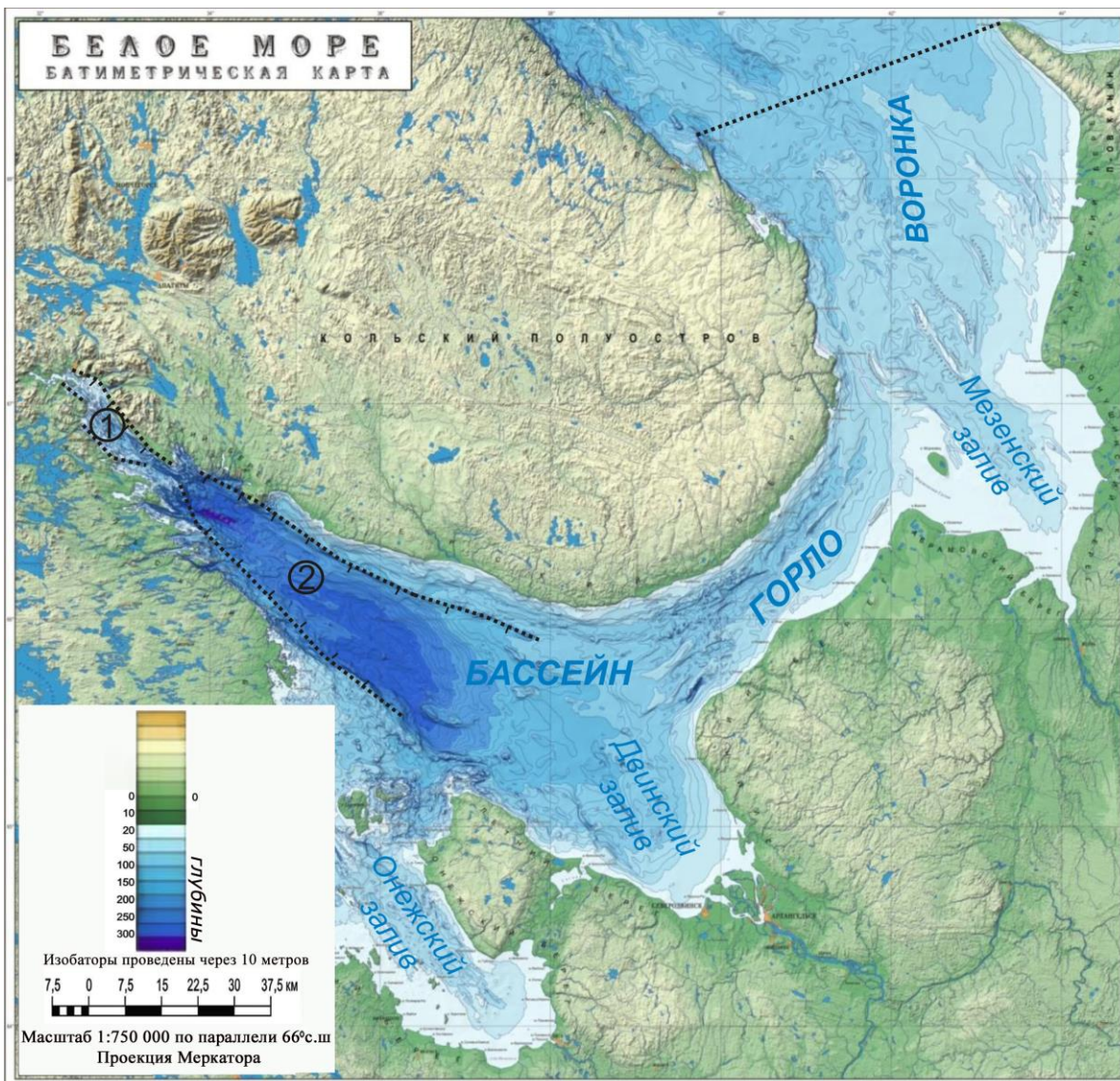


Рис. 1. Упрощенный вариант цифровой модели дна Белого моря (по [2]):  
цифры в кружках: 1 – Кольский грабен; 2 – Кандалакшский грабен [1, 3, 4]

Мощность четвертичных отложений в бассейне достигает 300 метров, однако время первоначального заполнения Беломорской котловины водами внутреннего морского бассейна точно не выяснено. На основании изучения верхних горизонтов осадочного чехла на дне Баренцева моря сделан вывод о том, что морские условия седиментогенеза установились в котловине в среднем голоцене около 6 тыс. лет назад [1, 3]. Позднее в разрезах четвертичных отложений на северном побережье в районе устья р. Варзуги были обнаружены осадочные породы позднего и среднего неоплейстоцена, содержащие раковины морских моллюсков с возрастом, определенным методом ЭПР А. Молодьковым в  $316.0 \pm 23.6$ ,  $319.0 \pm 22.7$  и  $318.0 \pm 38.5$  тыс. лет назад [5]. Еще более древние образования вскрыты скважинами на Архангельском побережье в долине р. Пёзе у деревни Сафоновской, где под мореной, подстилающей морские осадки среднего неоплейстоцена, встречен горизонт морских отложений [6]. С учетом этих находок, представляется правомерной и логичной гипотеза [7], связывающая формирование Беломорской котловины и морского бассейна в ней с переходом от регрессивного развития континентальной окраины к трансгрессивному шельфовому погружению на рубеже позднего миоцена – плиоцена.

В данной статье внимание концентрируется на геодинамике Беломорской депрессии в голоцене – последнем периоде геологической истории Земли, который начался около 12 тысяч лет назад и продолжается до сих пор. Перед голоценом территория, окружающая

котловину, и сама котловина были покрыты мощным покровом льда. Скандинавское оледенение, предшествовавшее голоцену, продвигалось в восточном направлении двумя потоками: Кольским и Беломорским. Первый из них покрывал большую часть Кольского п-ова, а второй переполнял Беломорскую котловину. Между этими потоками сформировалась аккумулятивная гряда Терских Кейв, высотные отметки которой возрастают в восточном направлении, что свидетельствует об активности Беломорского потока льда и его большей мощности [8, 9]. По результатам реконструкции [10] мощность льда в восточной части региона составляла около 400 м, а в западной превышала 2 км.

Общеизвестно, что вследствие ледниковой нагрузки происходило проседание подстилающей поверхности, его масштабы определялись мощностью ледового покрова. Согласно гляциоизостатической концепции, после таяния ледника должно проявляться компенсационное воздымание земной поверхности в связи со снятием статической пригрузки. В Фенноскандии реальность этой концепции была в целом подтверждена более 100 лет назад. Однако реальная картина поднятия в Кольском регионе оказалась более сложной. Первую схему изобаз поднятия этой области на основе высотного положения поверхностей флювиогляциальных террас составил В. Рамзай [11], встроив ее в схему изобаз всей Фенноскандии. Было показано, что амплитуда поднятия поверхности за последние 10–12 тыс. лет составила около 150 м, при этом изобазы огибают территорию Кандалакшского залива, где, как отмечалось, мощность льда была больше, чем на его побережьях (рис. 2 А).

Более детальные исследования выполнены в конце XX в., когда началось планомерное изучение строения отложений озерных котловин, изолированных от моря вследствие гляциоизостатического поднятия. Полученные материалы позволили построить графики перемещения береговой линии Баренцева и Белого морей в ряде пунктов побережий и, опираясь на эти данные, реконструировать характер поднятия северо-востока Балтийского щита в различные временные отрезки [12]. В частности, уточненная схема изобаз поднятия побережья Кандалакшского залива за последние 8 тыс. лет (рис. 2 Б) полностью подтвердила первоначальные наблюдения В. Рамзая о нарушении в этом районе ключевого положения гляциоизостатической модели: «чем толще ледник, тем выше воздымается территория после его стаивания».

Кроме этого отклонения от общего правила, в Беломорской котловине выявлена еще одна особенность структурной эволюции региона, необъяснимая с позиций гляциоизостатической модели – доминирование сдвигов среди неотектонических разрывных нарушений. На это первыми обратили внимание авторы Тектонической карты Белого моря [2, 3], предложившие два альтернативных варианта интерпретации наблюдаемой сегодня архитектуры структурно-парагенетического ансамбля рифтовой системы северо-западного простиранья и наложенных на нее трансформных разломов северо-восточного простиранья. В качестве базовой концепции неотектонической кинематики Западно-Арктической континентальной окраины авторы карты приняли «Скандинавскую сеймотектоническую модель» Ф.Н. Юдахина [13], согласно которой контроль поля напряжений в Беломорском регионе приписывается деформационным волнам сжатия, исходящим из срединно-океанических рифтов Северной Атлантики. С этой концепцией непротиворечиво увязывается картина развития морфоструктуры дна Белого моря по модели «расклинивания» Кандалакшской котловины при столкновении ее днища с Архангельским выступом фундамента. Слабое место данного варианта состоит в несовпадении максимума современной сейсмической активности с фронтом столкновения подвижной пластины дна с «упором» (как показано на рис. 3, очаговый ареал тектонических землетрясений локализован на западном фланге рифта, т.е. «смещен» на 200–250 м в тыл мобильного блока). В последние годы появились и новые аргументы против указанной концепции: поставлена под сомнение сама направленность главных векторов деформации и движения геоблоков на северо-западной окраине Евразии.

Анализ механизмов землетрясений в Северной и Центральной Атлантике в совокупности с данными геодезического мониторинга показал, что на современном этапе межплитная граница Евразии и Северной Америки вышла из режима дивергенции и на всем протяжении от Шпицбергена до моря Лаптевых представляет собой трансформную тектоническую структуру [14, 15]. Следовательно, действие ключевого постулата

«Скандинавской модели» Ф.Н. Юдахина о доминанте юго-восточного движения масс в Евро-Арктическом регионе должно быть ограничено по времени периодом активного раскрытия Северного Ледовитого океана. Точной датировки времени смены режима дивергенции трансформным режимом нет, но представляется логичным увязать этот переход со вспышкой сейсмической активности на нижнем рубеже голоцена, когда на атлантическом побережье Скандинавии проявились мощные оползневые процессы, вызванные краевыми разломами северо-восточного простирания. Доминантным типом тектонических движений на новейшем этапе стали вращательные смещения как Евразийской плиты в целом, так и отдельных геоблоков на ее северо-западной окраине (рис. 3).

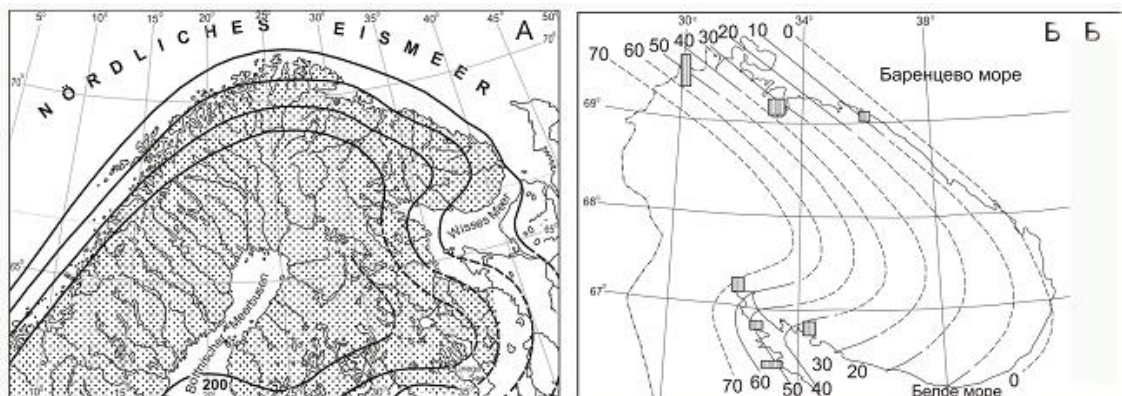


Рис. 2. А – фрагмент схемы изобаз гляциоизостатического поднятия Фенноскандии В. Рамсея [11]. Б – схема изобаз гляциоизостатического поднятия Кольского региона за последние 8 тыс. лет [12]. На рис. Б сплошными линиями показаны изобазы установленные, пунктиром – предполагаемые; прямоугольниками обозначены участки детальных работ по изучению осадков озерных котловин, изолировавшихся от моря в результате гляциоизостатического поднятия континента

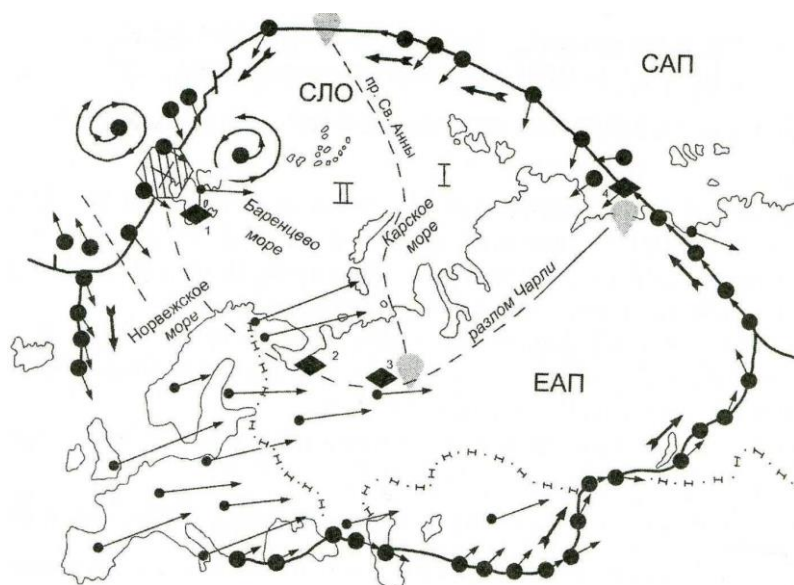


Рис. 3. Схема современного движения горных масс на северо-западной окраине Евразии (по [14]): жирные точки с короткими стрелками – направления скольжения масс в очагах сильных землетрясений; длинные стрелки с мелкими точками – векторы движения блоков по данным сети GPS; ромбы – сдвиги; циклоиды – миграция эпицентров в локальных роях землетрясений. СЛО – Северный Ледовитый океан; ЕАП – Евразийская литосферная плита; САП – Северо-Американская литосферная плита

Это представление полностью корреспондируется со второй альтернативной моделью авторов Тектонической карты [1], названной ими моделью «трансформных разломов и вращения блоков». В рамках этой модели раскрытие Кандалакшской и Колвицкой рифтогенных впадин удовлетворительно объясняется противоположной направленностью вращения Кольского и Карельского массивов. На этот процесс накладываются гляциоизостатические деформации, контролируемые мощностью ледниковой лопасти, стекавшей в Беломорскую депрессию, и темпами компенсационных восходящих движений после снятия ледниковой нагрузки. При таянии ледникового покрова нагрузка на геологическое основание в Кольско-Карельском геоблоке «щитового» типа с кристаллическими породами гранито-гнейсового слоя на поверхности должна была сниматься полностью [16], вследствие чего поверхность блока воздымалась за счет совместного действия изостазии и релаксации упругих напряжений, накопленных в арочных структурах фундамента. В рифтогенных депрессиях Беломорской котловины перемежаются пластичные и компетентные слои, осложненные интенсивной трещиноватостью. Поля напряжений и дислокаций в этой среде контролируются преимущественно вертикальной компонентой статической нагрузки, аккумуляция энергии упругих деформаций редуцирована, арочные эффекты проявляются локально. Степень проседания поверхности под ледниковой нагрузкой за счет компактации пластичных слоев здесь выше, чем в упоминавшемся «щитовом» геоблоке. Релаксация упругих напряжений при исчезновении ледниковой нагрузки играла подчиненную роль по отношению к изостатическим силам, при этом действие последних в какой-то мере сдерживалось гидросферным слоем. Таким образом, если возникновение Колвицкого грабена полностью контролировалось тектоникой, то погружение Кандалакшского грабена в основном тоже было обусловлено тектоникой, но вместе с тем имело место некоторое отставание поднятия дна грабена от основной поверхности Карело-Кольского геоблока вследствие отмеченного выше различия в геологическом строении и, соответственно, реакции названных геоструктур на снятие ледниковой нагрузки. Уже упоминавшийся изгиб изобаз (рис. 2 А и Б) вызван тем, что в погружение Колвицкого и Кандалакшского грабенов вовлекаются породы кристаллических массивов, окружающих Кандалакшский залив. Амплитуда погружения дна залива в голоцене составила примерно 150 м.

Различия в темпах и амплитуде движений создают локальные возмущения в напряженном состоянии компетентных блоков коры, способствовавшие развитию вдоль бортов грабена на протяжении последних 10–12 тыс. лет сопряженной системы трещин и разломов, обеспечивающих разрядку аномального стресса. Наиболее крупным в голоценовой генерации дизъюнктивов был сбросо-сдвиг, сформировавший Колвицкий грабен, продолжающий Кандалакшский рифт вглубь Беломорского кристаллического блока (рис. 1). Амплитуда вертикального смещения при погружении его дна достигает 70 м. Судя по глубинности современных очагов землетрясений в этом тектоническом узле: от 10 до 30 км [17], активизация рифта и пропация его в северо-западном направлении связана с нарушением геомеханической стабильности не только в верхних горизонтах коры, подвергавшихся непосредственному воздействию ледниковой нагрузки, но и на глубинных этажах кристаллического цоколя.

При веерообразном раскрытии Кандалакшского грабена также произошла просадка дна с амплитудой до 150 м, не скомпенсированная полностью встречными восходящими движениями, связанными с релаксацией ледниковой пригрузки. Вследствие сложной кинематики разнонаправленных тектонических и гляциоизостатических деформаций возникали напряжения в породных массивах, которые периодически разряжались землетрясениями различной силы. Об этом свидетельствуют обнаруженные в последнее время многочисленные палеосейсмодеформации, а также расположение эпицентров исторических и современных землетрясений (рис. 4, 5). Анализ инструментально зарегистрированных сейсмических событий свидетельствует о концентрации землетрясений в западной части Беломорской котловины, которая отличается от восточной и более высоким уровнем сейсмоактивности. Здесь же расположены эпицентры исторического землетрясения 1542 г.



с интенсивностью не менее 7 баллов и самого выдающегося по силе события 1627 г. с магнитудой 6.5 и интенсивностью 8 баллов по шкале MSK-64 [18].

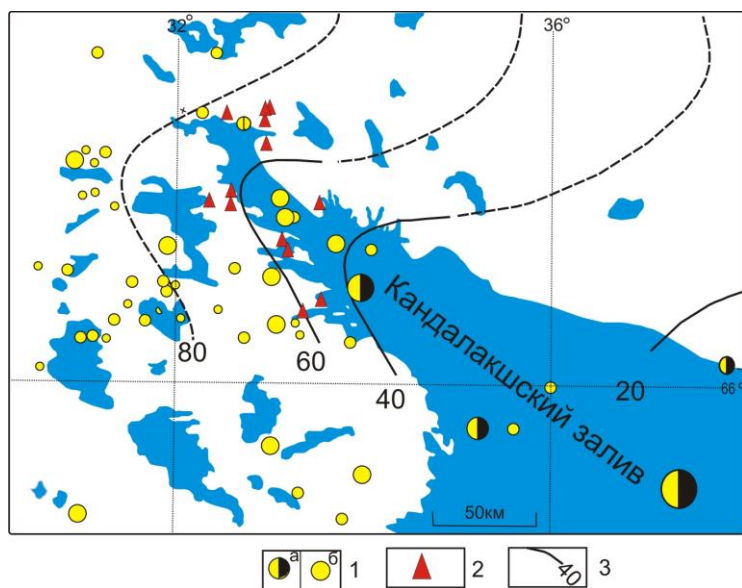


Рис. 4. Схема размещения эпицентров землетрясений и палеосейсмодеформаций: 1 – эпицентры землетрясений (1542–2003 гг.) в интервале магнитуд 0.9–6.5 (по [17–20]): а – исторические, б – инструментальные; размер значка пропорционален магнитуде; 2 – палеосейсмодеформации, 3 – изобазы гляциоизостатического поднятия (см. рис. 2 Б)



Рис. 5. Сейсмотектонический ров в гранулитах, пересекающий отроги Лувенгских тундр. Северное побережье Кандалакшского залива

Пространственное положение сейсмотектонических проявлений в рельефе побережий залива хорошо согласуется с наибольшим изгибом изобаз, что свидетельствует о влиянии тектонической составляющей наряду с общим ходом гляциоизостатического поднятия, скорости которого постепенно снижались от позднеледникового к настоящему времени. В тех же временных рамках резко снижались энергетический уровень и пространственное размещение очагов палеоземлетрясений. Судя по степени выраженности в рельефе и масштабам проявления

палеосейсмодеформаций, наибольшей интенсивностью отличались события, происходившие на рубеже позднеледниковья – начала голоцена [19–21]. Это хорошо согласуется с данными по реконструкции временного хода максимальных магнитуд палеоземлетрясений: пиковые значения до 8 единиц по шкале Рихтера приходятся на интервал 10–9 тыс. лет, а на рубеже 2 тыс. лет происходит резкий спад с 6.5 до современного уровня 5.1–5.3 [22].

Приуроченность большинства очагов землетрясений к западной части Беломорского бассейна, как отмечалось, указывает на тесную связь сейсмичности с опусканием котловины Кандалакшского залива на фоне общего гляциоизостатического поднятия. При этом на фоне медленного опускания дна котловины имели место импульсные энергетические разрядки с быстрыми «клавишными» смещениями мелких блоков. Они приводили к образованию разрывных дислокаций сбросо-сдвигового типа в кристаллическом цоколе и осадочном покрове рифта [2, 3], проявлениям на беломорском побережье волн цунами с высотой заплеска 2.5–3 м [17, 23] и вызванных цунами ледовых надвигов с высотой вала до 17 м [24].

Анализ пространственно-временной картины голоценовой сейсмичности в Беломорской котловине и ее материковом обрамлении [17–26] показывает, что район Кандалакшского рифта находится в узле пересечения с двумя линейными очаговыми зонами землетрясений – Хибинско-Ловозерской и Куусамо-Порьегубской (рис. 6). Это обстоятельство, безусловно, способствовало активизации сейсмических проявлений в рассматриваемом районе. Дальнейшее изучение сейсмических событий Кольского региона, включая прогнозы сейсмической опасности для конкретных территорий, должно проводиться на геологической основе, включающей сведения о палеосейсмодеформациях, тектонике коренного фундамента и последствиях ледниковой нагрузки.

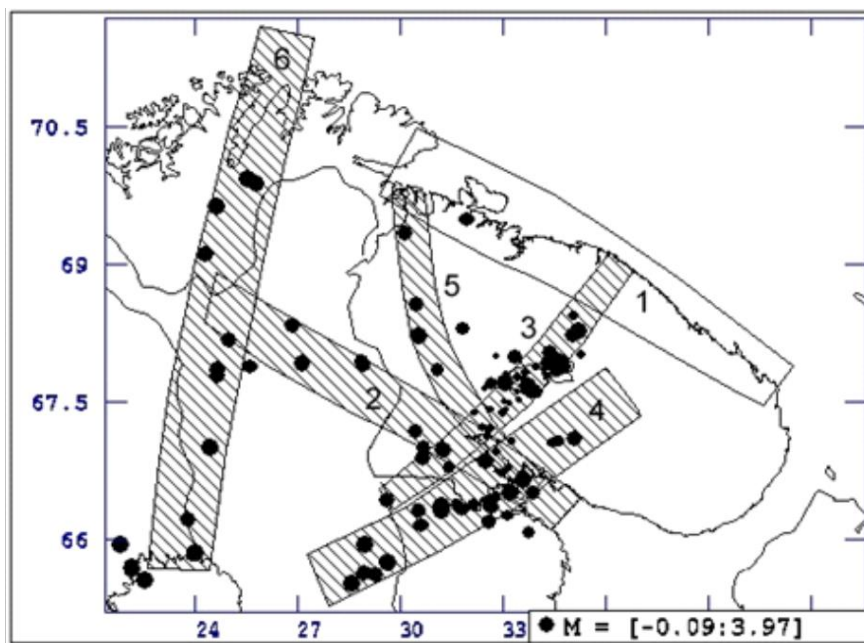


Рис. 6. Схема главных сейсмогенных зон северной части Балтийского щита (по [26, с коррекцией по данным 2013–2014 гг.]):

- 1 – Мурманская; 2 – Кандалакшская; 3 – Хибинско-Ловозерская; 4 – Куусамо-Порьегубская; 5 – Кандалакшско-Варангерская, 6 – Ботний-Финмаркская.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тектоника Белого моря: объяснительная записка к «Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий масштаба 1:1500000/ А.С. Балуев, В.А. Журавлев, Е.Н. Терехов [и др.]. М.: ГЕОС, 2012. 104 с.
2. Никифоров С.Л., Кошель С.М., Фроль В.В. Цифровая модель рельефа дна Белого моря // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2012. № 3. С. 86–92.
3. Зыков Д.С., Колодяжный С.Ю., Балуев А.С. Признаки горизонтальной неотектонической подвижности фундамента в районе Беломорья // Бюлл. МОИП. Отд. геологическое. Вып. 2. 2008. Т. 83. С.15–25.
4. Геология Белого моря / М.А. Спиридонов, Н.А. Девдариани, А.В. Калинин [и др.] // Советская геология. 1980. № 4. С.45–55.
5. Корсакова О.П., Семенова Л.Р., Колька В.В. Средне- и

верхнеоплейстоценовые осадки в разрезе обнажения Варзуга (юг Кольского полуострова) // Региональная геология и металлогения. 2011. № 48. С. 19–24. **6.** *Девятова Э.И., Лосева Э.И.* Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода в бассейне р. Мезени. Л.: Наука, 1964. 106 с. **7.** Палеогеографические обстановки и тектонические деформации Баренцево-морской континентальной окраины в кайнозое / *Э.В. Шипилов, В.А. Тюремнов, В.Н. Глазнев [и др.]* // Доклады РАН. 2006. Т. 407, № 3. С. 378–383. **8.** *Евзеров В.Я., Николаева С.Б.* Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73. **9.** *Hättestrand C., Kolka V., Stroeven A.P.* The Keiva ice marginal zone on the Kola Peninsula, northwest Russia: a key component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian Ice Sheet. *Boreas*. 2007. Vol. 36. P. 352–370. **10.** *Евзеров В.Я., Самойлович Ю.Г.* Реконструкция северо-восточной краевой области скандинавского ледникового покрова в поздневалдайское время // Геоморфология. 1998. № 4. С. 65–70. **11.** *Ramsay W.* Über die Geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartarzeit // *Fennia*, Helsingfors. 1898. Vol. 16, № 1. 151 p. **12.** Последледниковые гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита / *В.В. Колька, В.Я. Евзеров, Я.И. Мёллер [и др.]* // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 15–25. **13.** *Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. 299 с. **14.** *Беленович Т.Я., Кутинов Ю.Г.* Современный геодинамический режим Срединно-Атлантического хребта и прилегающих территорий // Материалы XVI международной конференции «Свойства, структура, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы». Воронеж. 2010. Т. 2. С. 118–123. **15.** *Vinogradov A.N., Baranov S.V.* Recent geodynamic regime of the Eurasia – North American interplate boundary: Evidences from seismology of Arctic // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2012. Т. 15, №2. С. 435–438. **16.** Строение литосферы российской части Баренц-региона / под ред. *Н.В. Шарова, Ф.П. Митрофанова, М.Л. Вербы [и др.]*. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. 318 с. **17.** *Годзиловская А.А., Асминг В.Э., Виноградов Ю.А.* Ретроспективный анализ первичных материалов о сейсмических событиях, зарегистрированных на Кольском полуострове и прилегающей территории в XX веке. М.: Изд-во ГС РАН, 2010. 132 с. **18.** *Ассиновская Б.А., Никонов А.А.* Сводный каталог землетрясений Карельского региона за 1542–2003 гг. // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / под ред. Н.В. Шарова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. С. 218–222. **19.** *Шевченко Н.В., Кузнецов Д.Е., Ермолов А.А.* Сейсмотектонические проявления в рельефе берегов Белого моря // Вестн. МГУ. Сер. 5. География, 2007. №3. С. 44–48. **20.** *Николаева С.Б.* Голоценовые движения и сейсмичность Кандавакшского залива Белого моря (северная окраина Восточно-Европейской платформы) // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия. Материалы Всероссийского совещания (г. Иркутск, 18–21 августа 2009 г.): в 2-х т. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. Т. 2. С. 43–45. **21.** *Николаева С.Б., Евзеров В.Я., Петров С.И.* Сейсмичность Фенноскандии в позднем плейстоцене и голоцене // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 220–223. **22.** *Степанов В.В.* Геодинамическая опасность промышленных объектов. М. 2001. 100 с. **23.** *Никонов А.А., Субетто А.А.* Историческое цунами на Соловецких островах // Изв. РГО. Вып. 6. 2007. Т. 139. С. 24–31. **24.** *Евзеров В.Я.* Цунами в Белом море (о событии 5 января 1888 года) // Вестник ВГУ, сер. Геологическая. 2013, № 2. С. 181–183. **25.** *Николаева С.Б., Никонов А.А., Шеварев С.В.* Детальные палеосейсмогеологические исследования на ключевом участке в бортовой зоне впадины оз. Имандра (Европейское Заполярье) – новые подходы и результаты // Материалы совместной международной конференции «Геоморфология и палеогеография полярных регионов», симпозиума «Леопольдина» и совещания рабочей группы INQUA Peribaltic. Санкт-Петербург, СПбГУ, 9–17 сентября 2012 г. / отв. ред. А.И. Жиров, В.Ю. Кузнецов, Д.А. Субетто, Й. Тиде. СПб: изд. СПбГУ, 2012. С. 161–163. **26.** Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / под ред. *Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина*. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: Изд. КарНЦ РАН, 2007. 381 с.

### Сведения об авторах

*Евзеров Владимир Яковлевич* – д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; e-mail: [yevzerov@geoksc.apatity.ru](mailto:yevzerov@geoksc.apatity.ru)

*Виноградов Анатолий Николаевич* – к.г.-м.н., директор КФ ГС РАН, главный ученый секретарь Кольского научного центра РАН; e-mail: [vino@admksk.apatity.ru](mailto:vino@admksk.apatity.ru)

*Николаева Светлана Борисовна* – к.г.-м.н., старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; e-mail: [nikolaeva@geoksc.apatity.ru](mailto:nikolaeva@geoksc.apatity.ru)

## ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЛУБИНУ ОТТАИВАНИЯ

**П.В. Амосов, Н.В. Новожилова**  
Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Представлен анализ результатов численного моделирования по влиянию пористости многолетнемерзлых пород на глубину оттаивания при подземном размещении модуля реакторной установки малой мощности. Продемонстрировано монотонное снижение глубины оттаивания с ростом пористости породы по квадратичной зависимости.

### Ключевые слова:

*многолетнемерзлые горные породы, пористость, оттаивание.*



### Введение

В Горном институте КНЦ РАН в рамках научно-исследовательской работы (научные руководители академик Н.Н. Мельников и профессор В.П. Конухин) проводятся исследования, цель которых – разработка концепции, обоснование научных и инженерных основ проектирования и строительства заглубленных и подземных атомных станций малой мощности (АСММ) модульного типа для энергоснабжения

горнопромышленных предприятий и населенных пунктов в труднодоступных регионах России. Рассматриваются отдаленные районы Восточной Сибири [1] (Республика Саха, Чукотский АО), для которых характерны условия сплошной вечной мерзлоты.

В качестве перспективных для исследований по выбору технологий АСММ российскими специалистами рассматриваются различные проекты реакторов малой мощности, например, КЛТ-40С (150 МВт, тепл.), ВК-50 (150 МВт), АБВ-6М (38 МВт) и «УниTERM» (15-50 МВт) [2]. На начало 2012 г. из базовых и перспективных реакторных установок (РУ) лицензию Госатомнадзора получила только установка КЛТ-40С для плавучей атомной станции.

Оценка теплового воздействия АСММ на многолетнемерзлые горные породы (ММГП) необходима, поскольку для режима нормальной эксплуатации с учетом фазовых переходов и климатических особенностей регионов, где предполагается разместить реакторы, это позволяет получить представление о размерах области оттаивания вокруг подземного объекта. Результаты выполненных исследований по влиянию пористости ММГП на глубину оттаивания массива при подземном размещении модуля реакторной установки (как отдельная небольшая задача) представлены в данной публикации.

### Параметры модуля реакторной установки и ММГП

Как отмечалось в работе [3], для характеристики площадки размещения подземной АСММ на текущей стадии исследований можно использовать представительный набор теплофизических параметров. Указанные выше потенциальные территории размещения АСММ относятся к районам сплошной вечной мерзлоты с температурами от -10 до -5 °С на глубине 10–15 м [4]. Авторами рассматриваются две площадки: Томтор (Якутия) и Песчанка (Чукотка). Значения среднегодовой температуры ММГП на подошве слоя сезонного оттаивания для рассматриваемых площадок разные: для Песчанки -6 °С, для Томтора -7.5 °С. Глубина слоя также различна: для Песчанки – 12 м, для Томтора – 9 м. Геотермический градиент принят равным -0.02 °С/м.

Чтобы исследовать обсуждаемый вопрос, представляется достаточным рассмотреть нестационарную тепловую задачу с учетом фазовых переходов «лед – вода» в двухмерной постановке. Модель ММГП включает в себя два слоя вмещающего массива: 1-й слой до границы

сезонных колебаний и 2-й слой – нижележащий массив с указанным выше геотермическим градиентом.

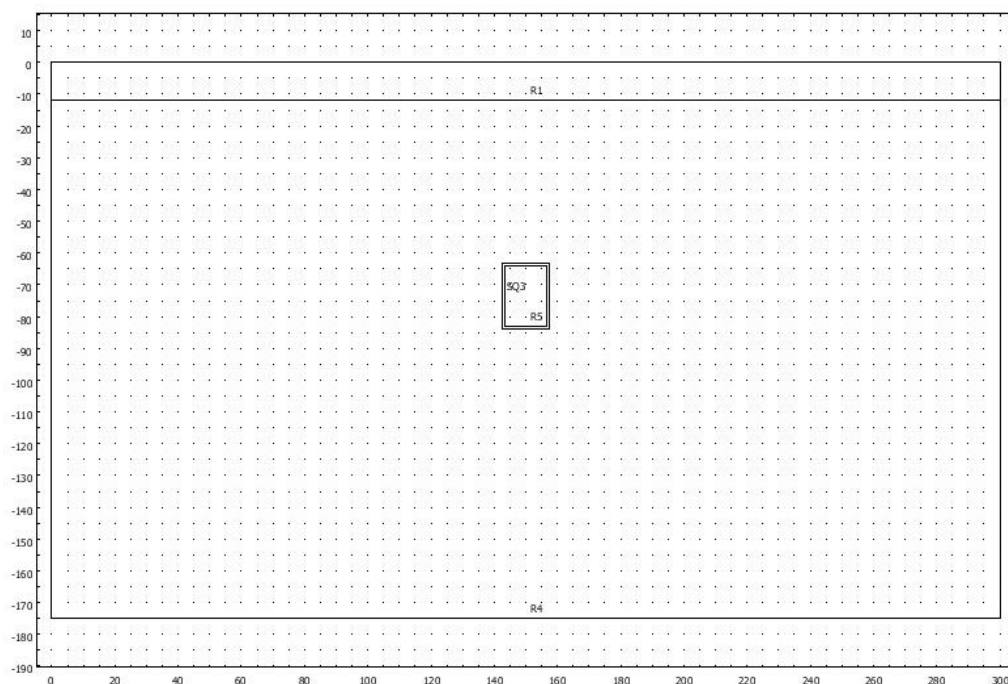


Рис. 1. Геометрическая схема задачи

В исследовании рассмотрен единственный модуль реакторной установки (с габаритами КЛТ-40С), который размещается симметрично вдоль горизонтальной оси и в отметках -84 м – -63 м вдоль вертикальной оси (рис. 1). Модуль располагается в ММГП на глубине не менее 50 м от поверхности, как того требуют строительные нормативы [5], применяемые для районов Крайнего Севера. Толщина слоя обделки равна 1 м. Теплофизические характеристики перечисленных материалов модели сведены в таблицу.

#### Теплофизические характеристики материалов

Параметры	ММГП	Обделка
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	1.8	2.0
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	800	840
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2200	2500

В отличие от работы [3], в данной публикации обсуждается ситуация, когда температура в модуле проварьирована в диапазоне от 60 до 20 °С с шагом в 20 °С. Представляется, что низкие температуры можно обеспечить за счет специального усовершенствования системы вентиляции (с учетом практически неиссякаемых запасов холода).

Для решения тепловой задачи заданы следующие граничные условия:

- на поверхности – условие 3-го рода (коэффициент теплообмена 10 Вт/(м<sup>2</sup>·К) и температура -11.6 °С (Песчанка), -14 °С (Томтор), что соответствует среднегодовой температуре в исследуемых районах) [6, 7];
- на боковых границах – условие нулевого потока;
- на нижней границе – фиксированная температура, определяемая глубиной границы и геотермическим градиентом.

Начальные условия: для ММГП – температура середины слоя модели; для слоя обделки – 10 °С. Продолжительность времени моделирования 10 лет.

Вариация основного параметра исследования пористости ММГП в области размещения модуля РУ составляла 1, 5, 10, 15, 20, 25 и 30%.

Основным «инструментом» выполнения численных экспериментов выступал код COMSOL. В принципе, можно было воспользоваться либо программным продуктом PORFLOW, либо программой, разработанной авторами для оценки воздействия подземных АСММ на вмещающие породы в условиях вечной мерзлоты. Указанные программные продукты позволяют симулировать тепловые процессы с учетом фазового перехода «вода – лед». Как и в программе А.Н. Казакова, указанные коды построены в целом на близких допущениях [8]:

- окружающая среда предполагается макроскопически однородной по всем характеристикам, причем ее поровое пространство заполнено льдом, а после фазового перехода – водой;

- не учитывается зависимость теплофизических свойств горного массива от температуры как в мерзлом, так и в талом состоянии.

Сравнительный анализ результатов тестовых расчетов, выполненных посредством упомянутых программ, показал приемлемую сходимость результатов численных экспериментов [9]. Однако именно COMSOL позволяет быстро и эффективно отображать информацию в требуемой графической форме.

### Анализ результатов

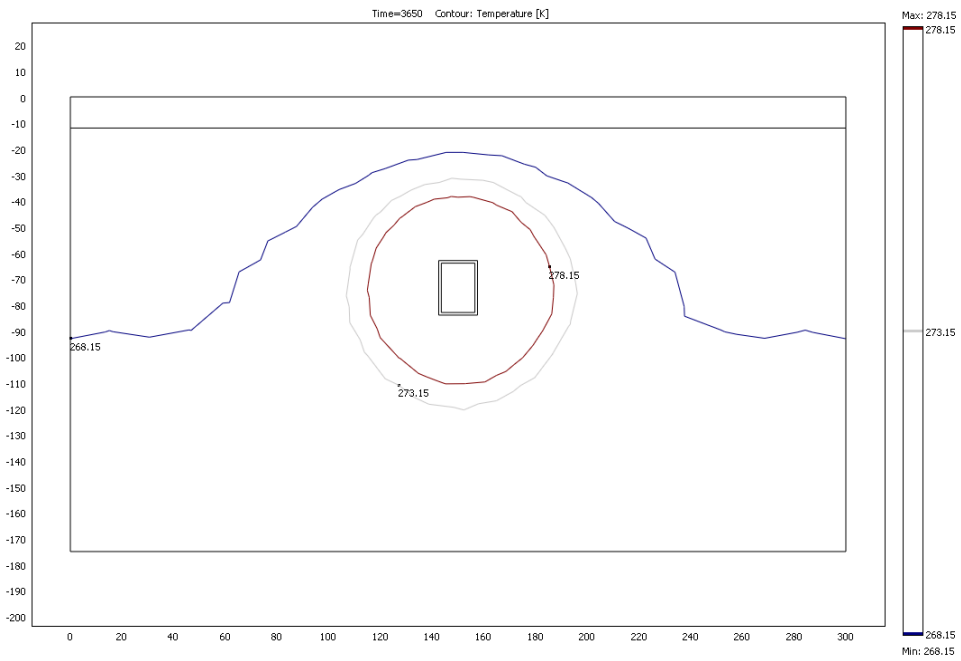
Ответ на поставленный вопрос в приближенной форме достаточно очевиден: с увеличением пористости ММГП (большее содержание льда, который требуется растопить) при прочих равных условиях относительно источника тепловыделений глубина оттаивания будет монотонно уменьшаться. Неясным остается вопрос о форме кривой, по которой предполагаемое будет уменьшаться эта глубина.

В качестве примера на рис. 2 представлены пространственные распределения изолиний температуры со значениями  $-5$ ,  $0$  и  $+5$  °С по всей области моделирования на 10 лет для района Песчанки: рис. 2а соответствует минимальной пористости (1%), а рис. 2б – максимальной (30%). Хорошо видно существенное изменение расположения изолиний  $0$  и  $+5$  °С относительно модуля РУ, в котором поддерживается температура  $60$  °С. Как видно на рис. 2, наблюдается существенное уменьшение глубины оттаивания с ростом пористости ММГП. Результаты анализа глубины оттаивания для обоих районов моделирования по всему указанному диапазону пористости приведены ниже.

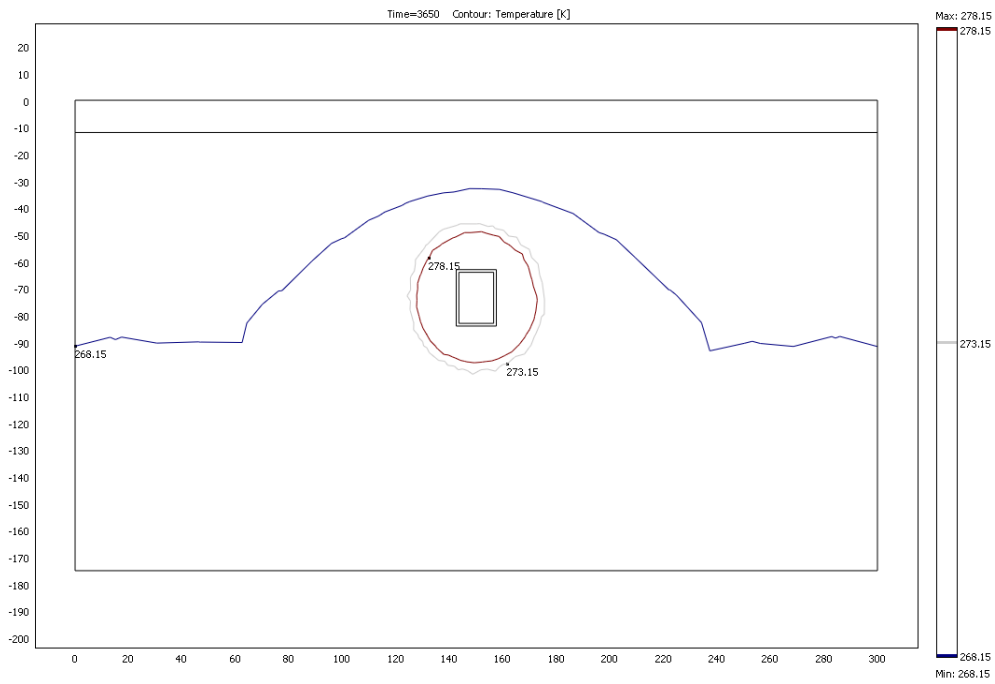
В частности, на рис. 3 представлены зависимости глубины оттаивания от пористости ММГП при температуре в модуле РУ  $60$  °С для месторождений Песчанка (а) и Томтор (б). При принятых теплофизических параметрах модели через 10 лет теплового воздействия АСММ на ММГП глубина оттаивания в горизонтальном направлении описывается квадратичной функцией для обеих выбранных площадок.

При этом диапазон изменения глубины оттаивания для Песчанки составляет почти 18 м, а сама глубина оттаивания монотонно уменьшается с 36 м до 18 м по квадратичной зависимости  $y = 0.017 \cdot x^2 - 1.1 \cdot x + 36.352$  с коэффициентом достоверности 0.986 для рассмотренного интервала пористости (рис. 3а).

Для месторождения Томтор зависимость глубины оттаивания от пористости ММГП можно выразить формулой  $y = 0.0198 \cdot x^2 - 1.2106 \cdot x + 35.937$  с коэффициентом достоверности выше, чем для месторождения Песчанка – 0.9906. Глубина оттаивания в горизонтальном направлении для этой площадки с ростом пористости также плавно монотонно снижается с 36 м до 17 м (рис. 3б).

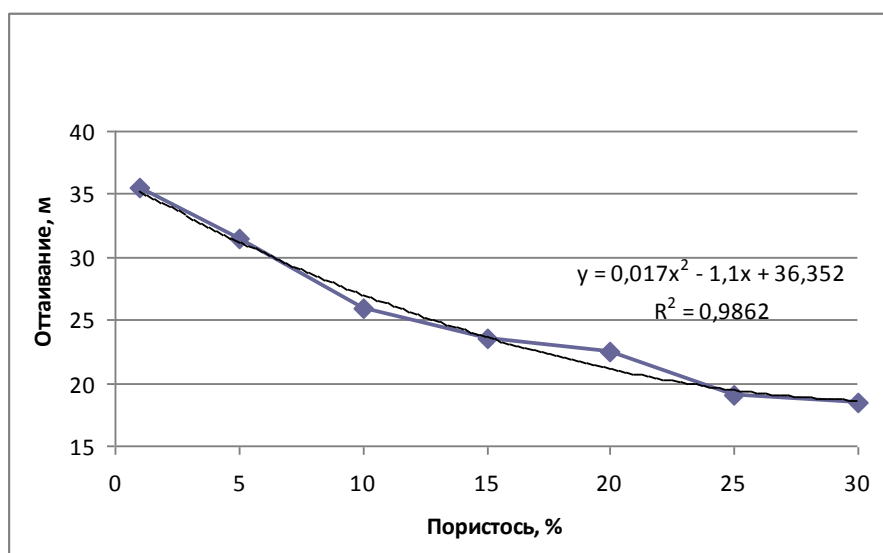


a)

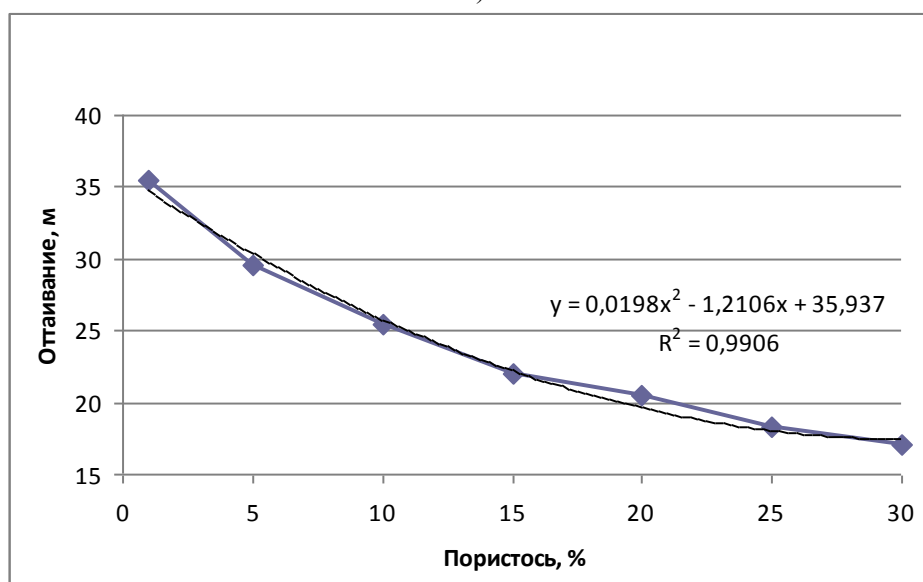


б)

Рис. 2. Пространственное распределение изолиний температуры со значениями  $-5$ ,  $0$  и  $+5$   $^{\circ}\text{C}$  по всей области моделирования района Песчанки на 10 лет при вариации пористости: а) 1% и б) 30% (температура в модуле РУ  $60$   $^{\circ}\text{C}$ )



а)



б)

Рис. 3. Зависимость глубины оттаивания ММГП в горизонтальном направлении от пористости вмещающего массива (время теплового воздействия 10 лет) для месторождений Песчанка (а) и Томтор (б) при температуре в модуле РУ 60 °С; маркеры – результаты численных экспериментов; сплошная линия – теоретическая кривая

Таким образом, высокое значение пористости действительно приводит к снижению глубины оттаивания, что объясняется существенными затратами энергии на фазовый переход «лед – вода».

#### Месторождение Песчанка

Результаты дополнительных численных экспериментов для месторождения Песчанка при других значениях температуры в модуле РУ также показывают, что высказанное выше утверждение сохраняет силу. Во всех сериях расчетов (60, 40 и 20 °С) прекрасно видно, что увеличение пористости ММГП приводит к монотонному снижению глубины оттаивания (рис. 4). Понижение температуры в модуле вызывает снижение диапазона изменения глубины оттаивания (при температуре 60 °С – 17 м, при температуре 40 °С имеем почти 15 м; при температуре 20 °С выходим примерно на 12 м).



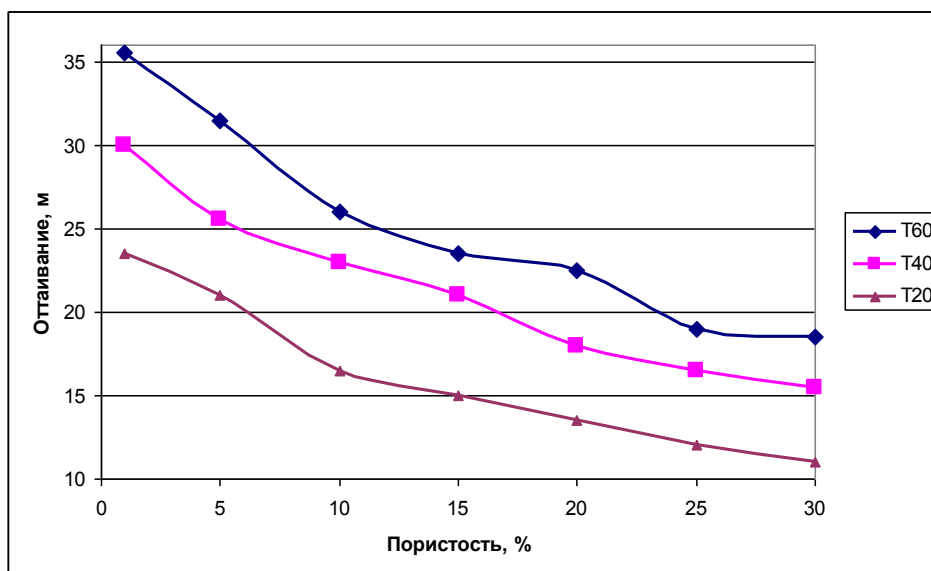


Рис. 4. Зависимость глубины оттаивания ММГП в горизонтальном направлении от пористости вмещающего массива (время теплового воздействия 10 лет) для месторождения Песчанка (в легенде указана температура в модуле РУ)

#### Месторождение Томтор

Для месторождения Томтор также была проварьирована температура в модуле РУ (60, 40 и 20 °С) для определения глубины оттаивания при различных значениях пористости ММГП. Полученные результаты показывают, что понижение температуры в модуле приводит к уменьшению диапазона изменения глубины оттаивания (при температуре 60 °С – 18 м, при температуре 40 °С ~ 16 м; при температуре 20 °С примерно 12 м) (рис. 5). При всех рассмотренных температурах в модуле РУ увеличение пористости ММГП приводит к монотонному снижению глубины оттаивания, как и на месторождении Песчанка. Разница в значениях глубины оттаивания для рассмотренных площадок при вариации пористости ММГП и температуре в модуле РУ совсем незначительна, всего 1–2 м. Причем на площадке Томтор глубина оттаивания меньше, поскольку климатические условия более суровые.

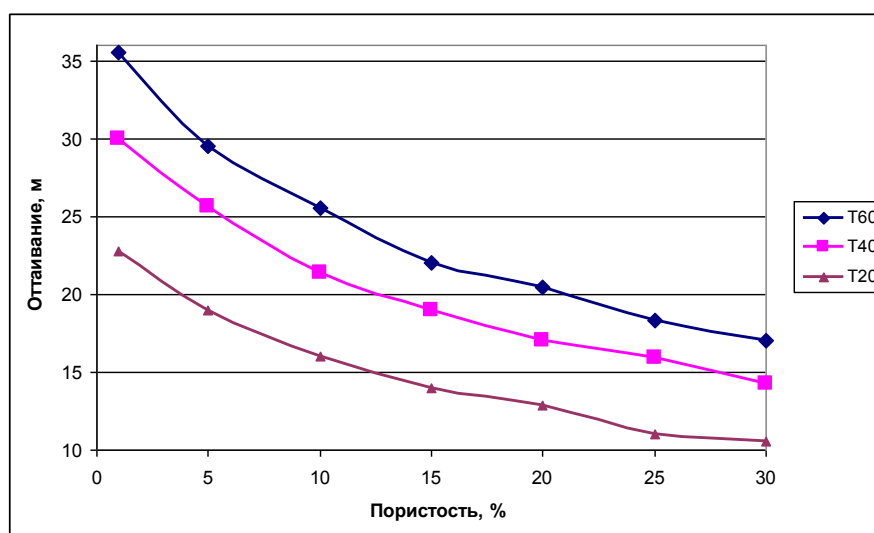


Рис. 5. Зависимость глубины оттаивания ММГП в горизонтальном направлении от пористости вмещающего массива (время теплового воздействия 10 лет) для месторождения Томтор (в легенде указана температура в модуле РУ)

### Стационарная задача

Дополнительно рассмотрена предельная ситуация по времени теплового воздействия, т.е. решена стационарная задача. Сравнительные результаты расчетных и аналитических зависимостей для двух временных интервалов функционирования теплового источника (10 лет и бесконечность) при температуре в модуле РУ 60 °С для месторождения Песчанка приведены на рис. 6. Оказалось, что и при такой постановке задачи глубина оттаивания остается монотонно убывающей функцией в зависимости от пористости ММП, но, естественно, с существенно большими значениями глубины оттаивания. Расчет показывает, что в этой ситуации значения глубины оттаивания выходят на уровень первой сотни метров. Оказалось, что в стационарной задаче теоретическая кривая с максимальным коэффициентом достоверности аппроксимации (0.9976) становится линейной. Кстати, если попытаться описать линейной зависимостью расчетные значения для нестационарной задачи (на 10 лет), то коэффициент достоверности заметно снижается – с 0.9862 до 0.9315 (ср. рис. 3а и рис. 6).

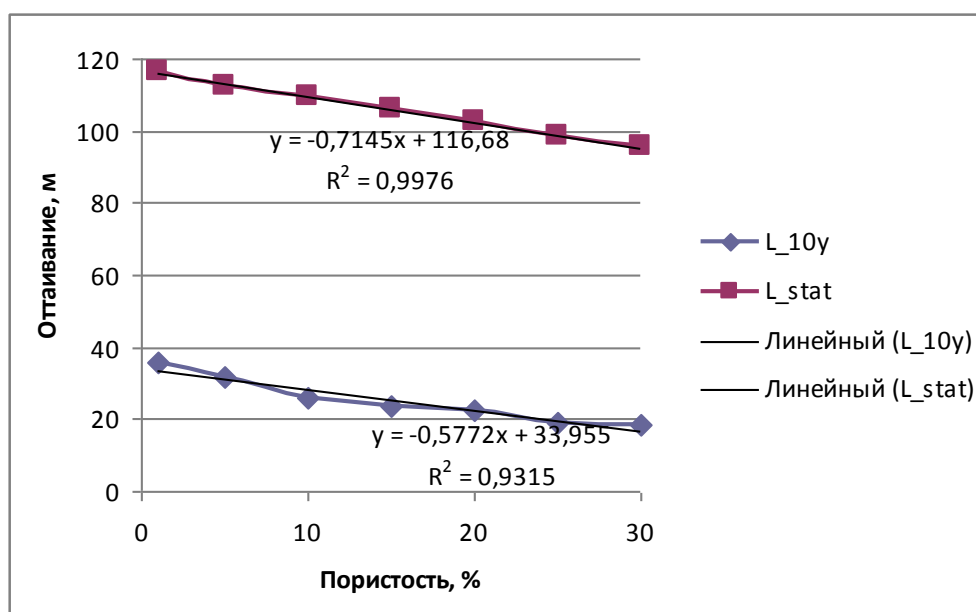


Рис. 6. Зависимость глубины оттаивания ММП в горизонтальном направлении от пористости вмещающего массива для месторождения Песчанка (время теплового воздействия 10 лет (10y) и бесконечность (stat)); маркеры – результаты численных экспериментов; сплошная линия – теоретическая кривая

### Выводы

Таким образом, поскольку высокое значение пористости обеспечивает существенные затраты энергии на фазовый переход «лед – вода», значения глубины оттаивания с ростом пористости будут снижаться. При рассмотренных параметрах модели уменьшение глубины оттаивания происходит по квадратичной зависимости. Представляется, что вид аналитических аппроксимирующих функций будет определяться, помимо рассмотренных выше параметров модели, еще геометрическими размерами и формой теплового источника.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Подземные атомные станции малой мощности для энергоснабжения горнопромышленных предприятий в труднодоступных регионах России / Н.Н. Мельников, В.П. Конухин, С.А. Гусак, В.А. Наумов // Тез. докл. XVI межрегион. науч.-практ. конф. (Апатиты, 16–18 апр. 2013 г.), Апатиты, изд-во КФ ПетрГУ. 2013. Ч. 1. С. 38–39.
2. Саркисов А.А. Новое направление развития - атомных станций малой мощности // Атомная энергия. 2011. Т. 111, вып. 5. С. 243–245.
3. Оценка теплового воздействия подземной атомной станции малой мощности на многолетнемерзлые горные породы / Н.Н. Мельников, П.В. Амосов, С.А. Гусак, Н.В. Новожилова, С.Г. Климин // Арктика: экология и экономика. 2014. № 1 (13). С. 30–37.
4. Браун Дж. Нарушение поверхности и ее защита при освоении Севера / Дж. Браун, Н.А. Граве. Новосибирск. Наука. 1981. 88 с.
5. Подземные объекты в горных выработках криолитозоны Якутии. ТСН 31-323-2002 Республики Саха (Якутия). Режим доступа:

[http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/481072/podzemnye\\_obekty\\_v\\_gornyx\\_vyrabotkakh\\_kriolitozony\\_yakutii.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/481072/podzemnye_obekty_v_gornyx_vyrabotkakh_kriolitozony_yakutii.pdf) (дата обращения 16.04.2012). **6.** Омолон (село) – заголовок с экрана. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 10.03.2013 г.). **7.** Режим доступа: [http://www.eifs.ru/download/snir\\_23-01-99\\_klimat.pdf](http://www.eifs.ru/download/snir_23-01-99_klimat.pdf) (дата обращения 12.11.2012 г.). **8.** *А.Н. Казаков, Н.Ф. Лобанов, В.И. Манькин.* Динамика развития теплофизических процессов при подземной изоляции тепловыделяющих РАО в многолетнемерзлых горных породах // ГЕОЭКОЛОГИЯ. 1997. №2. С. 36–40. **9.** *Амосов П.В.* Проверка кода для численного моделирования тепловых процессов в пористой среде с учётом фазового перехода "лёд – вода" // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 4. С. 641–643.

### **Сведения об авторах**

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

*Новожилова Наталья Викторовна* – младший научный сотрудник, e-mail: nat1966kis@mail.ru.

## ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНЕТИТ-ГЕМАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАЙМАНДРОВСКОГО РАЙОНА

**А.С. Опалев, М.С. Хохуля, В.В. Бирюков**

Горный институт КНЦ РАН

### АННОТАЦИЯ

Создана комбинированная технология получения магнетит-гематитового концентрата из железистых кварцитов, перерабатываемых ОАО «Олкон», включающая процессы магнитно-гравитационной сепарации с применением тонкого грохочения и гравитационное обогащение промпродукта основной магнитной сепарации. Она учитывает особенности вещественного состава перерабатываемых руд, различие в физико-механических свойствах, раскрываемость рудных минералов и обеспечивает снижение энергопотребления в цикле измельчения на 20%, увеличение сквозного извлечения железа на 13% и более чем на 15% выпуска гематитового концентрата при одновременном сокращении объемов складированных отходов производства. Разработка патентоспособна: получено решение о выдаче патента на изобретение.

### Ключевые слова:

*железистый кварцит, магнитно-гравитационная сепарация, гравитационное обогащение, магнетит, гематит, кварц, концентрат, хвосты, содержание, извлечение.*



ОАО «Олкон» ведет переработку железистых кварцитов группы месторождений Займандровского района, содержащих наиболее распространенный промышленный тип железных руд. В настоящее время на дробильно-обогадительной фабрике используются руды, добываемые открытым способом в

карьерах: Оленегорском, Кировогорском, XV лет Октября, Комсомольском, Куркенпахк, подземным способом – на Оленегорском руднике.

В связи с различным вещественным составом добываемых руд, обоганительный передел происходит по двум технологическим схемам: переработка тонковкрапленных магнетитовых руд предусматривает двухстадийную схему измельчения и магнитной сепарации (с участком дообогащения), а гематитовые руды обогащаются по комбинированной магнитно-гравитационной технологии.

Анализ вещественного состава измельченных продуктов данного предприятия показал, что уже после первой стадии шарового измельчения в них, кроме большого количества раскрытых зерен пустой породы и различных по содержанию железа сростков, находится значительная часть раскрытых зерен магнетита и богатых сростков, представляющих собой готовый концентрат [1–4], который необходимо своевременно выводить из процесса.

Согласно мировому опыту, для решения такой задачи наиболее перспективно применение операции тонкого грохочения в циклах измельчения. При этом проблему энергосбережения можно решать путем сокращения числа мельниц при неизменной производительности секции или увеличением объема переработки руды на секции при неизменном фронте измельчения.

Применение магнитно-гравитационного разделения в технологии получения магнетитовых концентратов в комбинации с тонким грохочением позволяет уже на начальных стадиях обогащения технологических схем выводить из процесса готовый концентрат требуемого качества [5, 6]. Высокая эффективность разделения в магнитно-гравитационных аппаратах обеспечивается комплексностью воздействия физических сил на частицы разделяемого

материала и высокой чувствительностью процесса к изменению соотношения магнитной и гидродинамической сил.

Существенное улучшение эффективности классификации достигается в настоящее время применением грохотов фирмы «Derrick Corporation», обеспечивающих эффективную классификацию материала за счет максимального выхода расчетного класса в подрешетный продукт. Положительный опыт от их применения в операции тонкого грохочения накоплен на ряде предприятий железорудной отрасли: ОАО «Карельский окатыш», ОАО «Соколово-Сорбайское ГПО», ОАО «Ковдорский ГОК» и др.

С целью определения оптимального местоположения операций тонкого грохочения и магнитно-гравитационной сепарации в топологии технологической схемы обогатительной фабрики ОАО «Олкон», проведена серия экспериментальных исследований по доводке различных продуктов обогащения. Тонкому грохочению подвергалось питание гидроциклона ГЦ-650 и пески гидроциклона ГЦ-500 черновых концентратов I и II стадий обогащения 9-й технологической секции фабрики соответственно.

Тестовые испытания по классификации указанных выше продуктов проводились с использованием грохота «StackSizer<sup>TM</sup>» модели 2S648-1STK, при этом цель испытаний – установление технологических параметров разделения в зависимости от плотности питания, частоты вращения вибромотора, размера ячеек сита и производительности по твердому. Производительность грохота варьировала в пределах 25–30 т/час, среднее содержание твердого в питании составляло 40%, частота колебаний деки находилась в пределах 40–50 Гц (табл. 1).

Таблица 1

Технологические показатели тонкого грохочения песков гидроциклона ГЦ-500 и питания гидроциклона ГЦ-650

Размер ячейки сита, мкм (частота, Гц)	Исходный продукт		Надрешетный продукт		Подрешетный продукт	
	Выход, %	Содержание Fe <sub>общ.</sub> , %	Выход, %	Содержание Fe <sub>общ.</sub> , %	Выход, %	Содержание Fe <sub>общ.</sub> , %
Пески гидроциклона ГЦ 500 (черновой концентрат II стадии)						
230 (50)	100.0	51.8	29.4	40.6	70.6	53.4
Питание гидроциклона ГЦ 650 (черновой концентрат I стадии)						
180 (50)	100.0	45.2	58.0	36.8	42.0	56.8
180 (40)	100.0	45.2	45.0	30.6	55.0	56.6
150 (43)	100.0	44.0	77.0	38.3	23.0	59.7
150 (37)	100.0	44.0	66.5	37.5	33.5	56.9
100 (43)	100.0	44.3	86.0	37.0	14.0	59.9

Дообогащение подрешетных продуктов грохота на лабораторном индукционно-роликовом магнитном сепараторе не обеспечило получения концентратов кондиционного качества из стадийных черновых концентратов, выделенных при различных режимах работы грохота, что предопределило использование экспериментального образца магнитно-гравитационного сепаратора для их доводки (рис. 1).

Исследованиями установлено, что напряженность магнитного поля в рабочем объеме магнитно-гравитационного сепаратора – определяющий параметр разделения, который позволяет изменять технологические показатели в широком диапазоне, а скорость восходящего водного потока зависит от крупности разделяемого материала и может варьировать в определенном диапазоне значений.

На рис. 2 представлены графические зависимости изменения технологических показателей магнитно-гравитационной сепарации от напряженности магнитного поля  $H$ . Полученные данные показывают, что применение сепарации в комбинации с тонким грохочением дает возможность получить как магнетитовый концентрат кондиционного качества (65.7% Fe<sub>общ.</sub>), так и содержащий более 70% Fe<sub>общ.</sub>.



Рис. 1. Общий вид экспериментального образца магнитно-гравитационного сепаратора

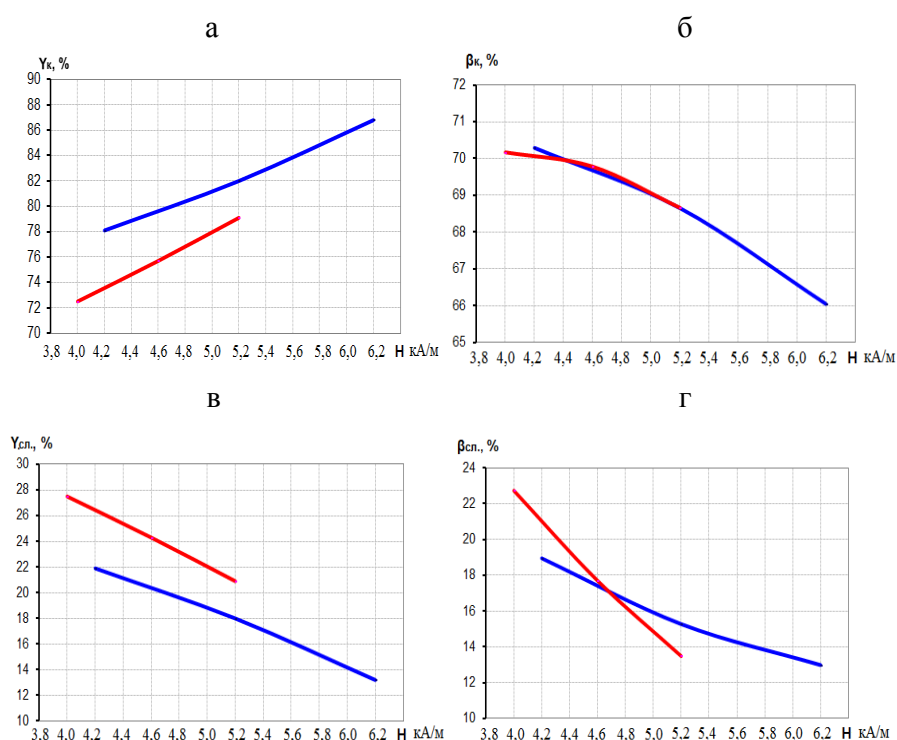


Рис. 2. Технологические показатели магнитно-гравитационной сепарации черновых концентратов (— первая стадия; — вторая стадия) от напряженности магнитного поля:  
 а – выход концентрата; б – содержание  $Fe_{общ.}$  в концентрате;  
 в – выход слива; г – содержание  $Fe_{общ.}$  в сливе

Данное обстоятельство подтверждает целесообразность использования магнитно-гравитационной сепарации для стадийного вывода магнетитового концентрата по мере его образования, при этом функциональная зависимость содержания  $Fe_{общ.}$  в концентрате от напряженности магнитного поля обеспечит решение проблемы стабилизации качества производимой продукции современными средствами автоматизации в будущей перспективе.

Минералогическими исследованиями продуктов слива магнитно-гравитационной сепарации установлено, что в зависимости от напряженности магнитного поля происходит изменение их вещественного состава (рис. 3). При значениях интенсивности магнитного поля

около 6,0 кА/м сливы содержат бедные сростки магнетита с кварцем и породообразующими минералами (рис. 3а), а по мере снижения интенсивности магнитного поля растет содержание общего железа за счет появления в продуктах более богатых сростков (рис. 3б). При дальнейшем снижении интенсивности магнитного поля рост содержания  $Fe_{общ.}$  связан с появлением тонких частиц раскрытого магнетита.

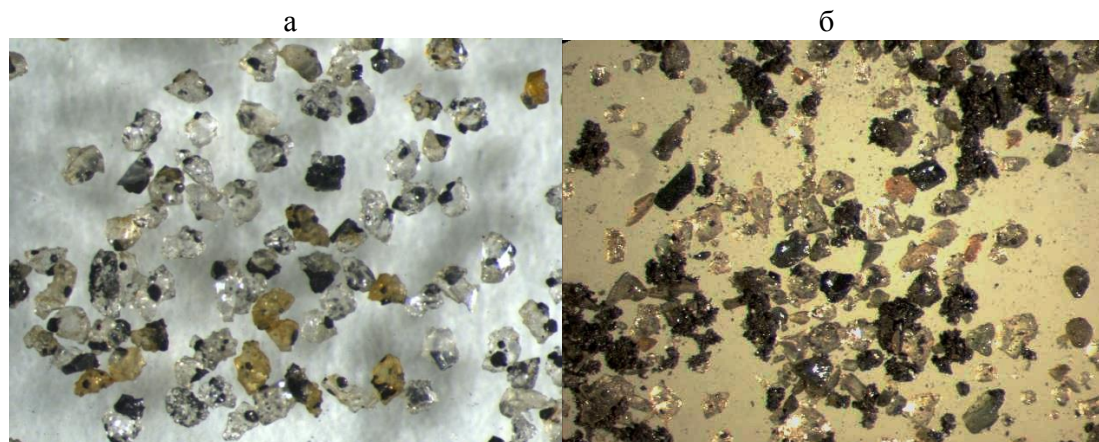


Рис. 3. Микрофотографии продуктов слива магнитно-гравитационного сепаратора с различным содержанием массовой доли железа: а – 13–15%  $Fe_{общ.}$ ; б – 18–22%  $Fe_{общ.}$ .

Железистые кварциты отдельных месторождений Заимандровского района, перерабатываемые на обогатительной фабрике ОАО «Олкон», содержат некоторое количество гематита и других минералов, обладающих слабой магнитной восприимчивостью и накапливающихся в отдельных операциях технологической схемы, что создает проблему их эффективного выделения после получения магнетитовых концентратов необходимого качества.

Гравитационный цикл обогащения промпродукта основной магнитной сепарации, реализованный на ОАО «Олкон» и включающий использование диафрагмовых отсадочных машин, недостаточно эффективно выделяет тонкие фракции гематита, что подтверждается низким (не более 40%) извлечением гематитового железа в суммарный концентрат. Это связано с пространственными флуктуациями частиц в камере отсадочной машины, вызванными неоднородностью структуры элементарных объемов взвеси.

Для обоснования разрабатываемых технологических и технических решений совершенствования схемы были проведены исследования по получению дополнительных объемов гематитового концентрата из текущих хвостов основной магнитной сепарации, являющихся питанием отсадки.

Из granulometric характеристике промпродукта, его химического и минерального составов следует, что выход фракции  $-0.315$  мм находится на уровне около 70%, в ней распределено почти 80% общего железа (рис. 4). С уменьшением крупности материала увеличение содержания  $Fe_{общ.}$  в узких фракциях возрастает, достигая 12% в классе  $-0.071$  мм (рис. 4а).

Среднее содержание гематита в пробе – 13.3%. Магнетит присутствует в пробе в незначительных количествах – не более 0.2%. Наибольшая доля среди нерудных минералов принадлежит кварцу (около 50%), заметная – полевым шпатам (микроклин, альбит), амфиболам и пироксенам (более 17%). Второстепенные минералы – слюды, эпидот и гранат (рис. 4б).

Учитывая особенности вещественного состава промпродукта основной магнитной сепарации [7–9], рекомендовано использование гравитационных процессов обогащения, наиболее благоприятно реализуемых в потоках малой толщины.

Разработанная технология предусматривает для выведения в голове процесса применение двух стадий винтовой сепарации с последующей доводкой черного концентрата на концентрационном столе, что позволяет вывести отвальный продукт.

Основные факторы процесса разделения на винтовом сепараторе – производительность и плотность разжижения исходного питания. Наиболее эффективный режим работы сепаратора зафиксирован при содержании твердого в питании на уровне 25% и исходной нагрузке 300 кг/час.

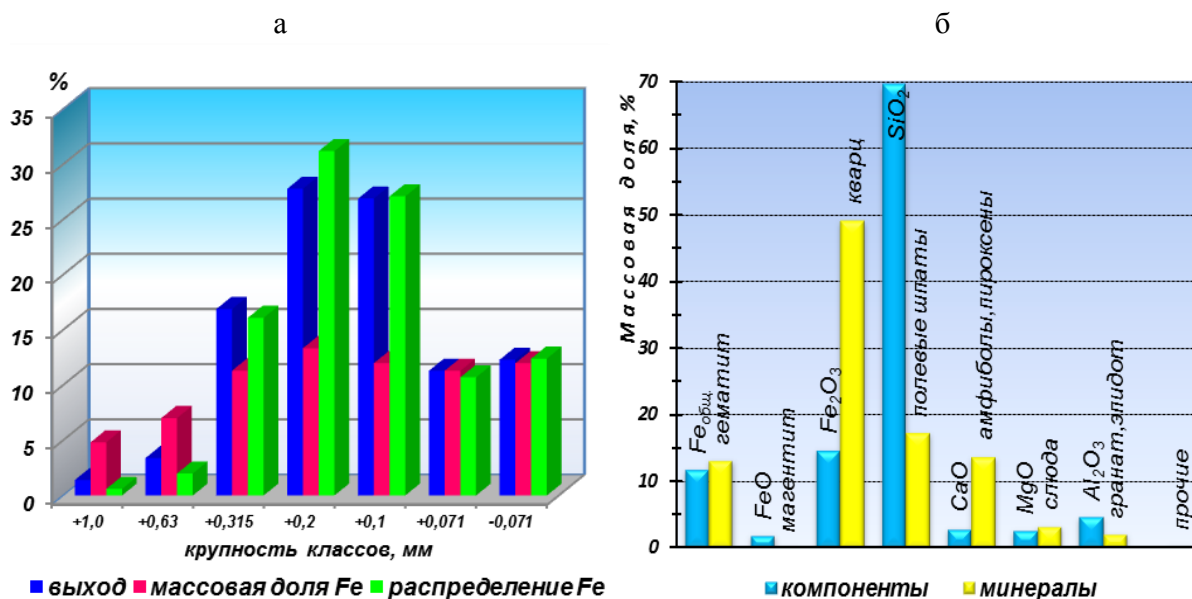


Рис. 4. Характеристика вещественного состава промпродукта основной магнитной сепарации: а – гранулометрическая характеристика; б – химический и минеральный составы

Для изучения распределения материала хвостов, гранулометрических классов, тяжелой железосодержащей и легкой фракций поток пульпы в конце винтового желоба делился на несколько продуктов разделения. К черновому концентрату основной винтовой сепарации отнесены продукты первых трех отсеков с содержанием  $Fe_{общ} = 33.4\%$ , остальная часть материала относилась к хвостам, содержание железа в которых – 4.45%.

На рис. 5 в виде гистограмм представлены графические зависимости разделения промпродукта основной магнитной сепарации по отдельным отсекам первой стадии винтовой сепарации.

Полученные результаты показывают, что существенное повышение массовой доли железа происходит в первых двух отсеках сепаратора, оно составляет соответственно 52.1 и 32.15% при извлечении более 52%  $Fe_{общ}$ . При удалении потока пульпы от внутреннего борта желоба его содержание начинает плавно снижаться до уровня более 4%  $Fe_{общ}$  в пятом отсеке сепаратора.

В последующем выход материала при попадании в зону, расположенную ближе к внешнему профилю желоба, начинает уменьшаться при некотором повышении содержания железа в последних двух отсеках. Это связано с сосредоточением тонких фракций гематита, которые не могут эффективно разделяться гравитационными методами из-за имеющихся ограничений по глубине обогащения мелких частиц, составляющей, как правило, не более 0.07 мм.

Результаты разделения свидетельствуют о том, что в тяжелую фракцию винтовой сепарации выделен черновой концентрат с содержанием более 33%  $Fe_{общ}$ , при извлечении в него более 71% железа.

В табл. 2 сведены показатели обогащения промпродукта основной магнитной сепарации.

Проведенная на этом же аппарате перечистка чернового концентрата первых трех отсеков обеспечила получение продукта с содержанием около 56%  $Fe_{общ}$ , при его извлечении более 55% от исходной руды.

Доводка промпродукта винтовой сепарации на концентрационном столе повысило на 9.6% извлечение железа в гравитационный концентрат, содержащий 62.1%  $Fe_{общ}$ .



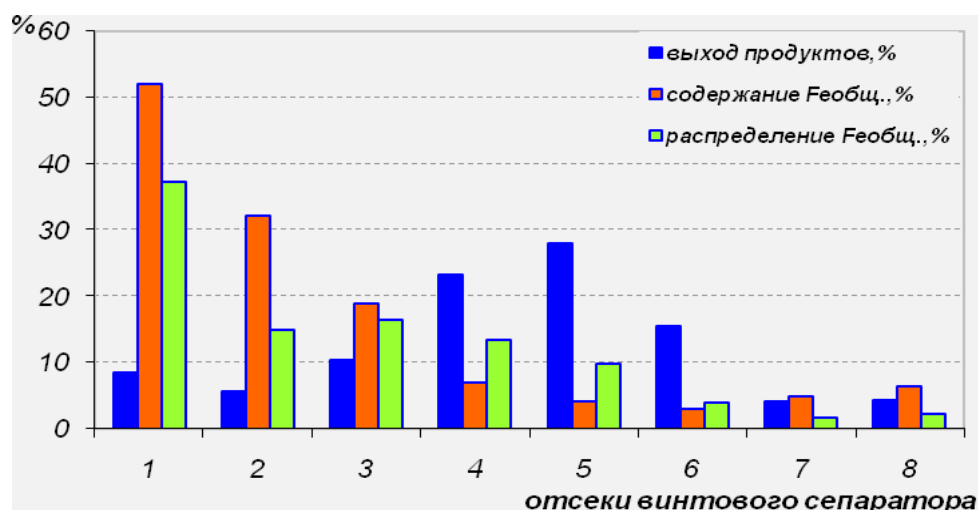


Рис. 5. Гистограммы распределения выхода продуктов, содержания и извлечения в них Fe<sub>общ.</sub> по отсекам основной винтовой сепарации

Таблица 2

Показатели обогащения промпродукта основной магнитной сепарации

Наименование продукта	Выход, %		Содержание Fe <sub>общ.</sub> , %	Извлечение Fe <sub>общ.</sub> , %	
	от операции	от руды		от операции	от руды
Основная винтовая сепарация					
Черновой к-т 1	24.7	24.7	33.4	71.1	71.1
Хвосты 1	75.3	75.3	4.45	28.9	28.9
Руда	100.0	100.0	11.6	100.0	100.0
Перечистная винтовая сепарация					
Черновой к-т 2	46.8	11.6	55.8	78.2	55.7
Промпродукт	22.2	5.5	25.8	17.2	12.2
Хвосты 2	31.0	7.6	4.9	4.6	3.2
Черновой к-т1	100.0	24.7	33.4	100.0	71.1
Магнитная сепарация					
Магнитная фракция	12.1	1.4	7.5	1.6	0.9
Немагнитная фракция	87.9	10.2	62.3	98.4	54.8
Черновой к-т 2	100.0	11.6	55.8	100.0	55.7
Доводка промпродукта концентрацией на столе					
Концентрат	32.7	1.8	62.1	78.7	9.6
Хвосты	67.3	3.7	8.15	21.3	2.6
Промпродукт	100.0	5.5	25.8	100.0	12.2

Для улучшения качества гематитового продукта черновой концентрат 2 подвергнулся разделению на электромагнитном сепараторе при напряженности магнитного поля, составляющем около 6 тыс. эрстед. Введение данной операции обеспечило увеличение содержания железа до 63.1%.

Содержание железа в гравитационном гематитовом концентрате составило 62.1% при извлечении выше 64%. Кроме того, выход концентрата при замене отсадочных машин на рекомендуемую технологию увеличится примерно в 1.4–1.5 раза.

В дальнейшем гематитовый концентрат объединялся с магнетитовым концентратом магнитной сепарации, что дало возможность получить общий магнетит-гематитовый концентрат, выход которого составил 34% при содержании в нем 66.5% Fe<sub>общ.</sub> и извлечении 88.7%.

Разработанная технологическая схема, представленная на рис. 6, учитывает особенности вещественного состава перерабатываемых железистых кварцитов, различие в физико-химических свойствах, раскрываемость рудных минералов. По сравнению с существующей на ОАО „Олкон” технологией она обеспечивает снижение энергопотребления в цикле измельчения на 20%, увеличение сквозного извлечения железа на 13% и выпуска гематитового концентрата более чем на 15% при одновременном сокращении объемов складированных отходов производства.

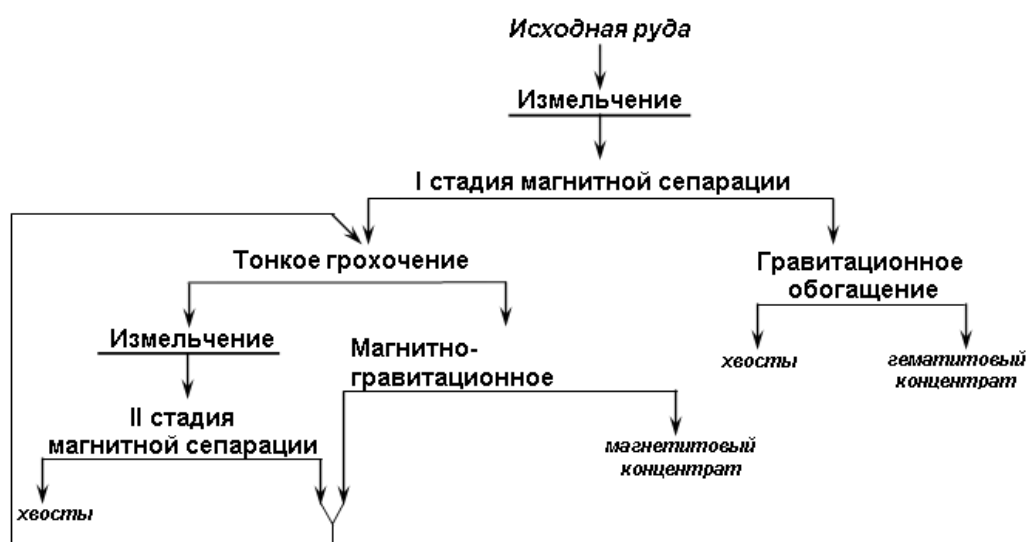


Рис. 6. Рекомендуемая схема получения коллективного гематитового концентрата из железистых кварцитов

На основании выполненных исследований получено решение о выдаче патента на изобретение «Способ получения коллективного концентрата из железистых кварцитов» (заявка №2012151974 от 04.12.2012 г.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пелевин А.Е. Стадиальное выделение железного концентрата // Обогащение руд. 2007. №3. С. 10–15.
2. Остапенко П.Е. Теория и практика обогащения железных руд. М.: Недра, 1985. 270 с.
3. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические специальные методы обогащения полезных ископаемых. Т. 1, М.: Изд-во «Горная книга», 2005. 669 с.
4. Кармазин В.В., Синельникова Н.Г., Кретов С.И. Повышение качества концентратов на основе высокой селективности раскрытия и сепарации в процессах магнитного обогащения железных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. С. 339–341.
5. Усачев П.А., Опалев А.С. Магнитно-гравитационное обогащение руд. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1993. 92 с.
6. Усачев П.А. Получение высококачественных железных концентратов на обогатительной фабрике ОАО «Лебединский ГОК» // Горный журнал. 2000. № 3. С. 41–44.
7. Перспективы применения гравитационных методов в схемах обогащения железных руд / В.А. Чантурия, Т.Н. Гзоян, С.А. Прокопьев, Р.А. Гельбинг // Материалы международного совещания «Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья». Ч. 1. Апатиты, 2007. С. 182–185.
8. Патковская Н.А., Тасина Т.И. Модернизация технологии обогащения железосодержащих руд Северо-Запада России // Обогащение руд. 2011. №1. С.6–10.
9. Внедрение винтовых сепараторов на Оленегорском горно-обогатительном комбинате / Н.А. Патковская, М.Д. Курова, Л.В. Смирнова, Л.М. Сладкович // Обогащение руд. 1975. № 5. С. 18–23.

#### Сведения об авторах

Опалев Александр Сергеевич – к.т.н., старший научный сотрудник; e-mail: opalev@goi.kolasc.net.ru  
 Хохуля Михаил Степанович – к.т.н., ведущий научный сотрудник; e-mail: mike@goi.kolasc.net.ru  
 Бирюков Валерий Валентинович – научный сотрудник; e-mail: birukov@goi.kolasc.net.ru

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕФЕЛИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА

**В.Ф. Скороходов, Р.М. Никитин, А.С. Степанникова**  
Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Кратко представлены результаты исследований, направленных на развитие способа флотации в активированных водных дисперсиях воздуха и обеспечение максимальной площади границы раздела газ – жидкость в рабочем объеме пневмомеханической флотационной машины. **Ключевые слова:** АВДВ, аэрация пульпы, нефелиновый концентрат, флотация.



Наиболее глубокое и полное извлечение полезных компонентов из минерального сырья, добываемого на территории Кольского п-ова, остается насущной проблемой, решение которой будет способствовать реализации государственной стратегии освоения Арктической зоны РФ и повышению национальной безопасности.

Помимо этого, развитие большинства отраслей промышленности невозможно без дальнейшего освоения природных сырьевых запасов, а интенсивная добыча рудного сырья и формирование техногенных месторождений ставят под удар экологию регионов, имеющих развитую горнопромышленную инфраструктуру. В то же время можно утверждать, что концепция комплексной переработки руд Хибинского массива, обозначенная А.Е. Ферсманом в 1920-х гг., реализована не в полной мере. Например, при существующей технологии переработки апатит-нефелиновых руд в ОАО «Апатит» основным товарным продуктом является апатитовый концентрат. Хвосты производства апатитового концентрата направляются на нефелиновый передел, где до основной флотации нефелина в отвал сбрасываются крупные классы (+ 0.315) и темноцветные минералы. Комплексный анализ гранулометрического, минералогического и химического составов проб хвостов производства апатитового концентрата и питания основной флотации нефелина показывают, что при действующей на АНОФ-2 ОАО «Апатит» технологической схеме только на подготовительных операциях получения нефелинового концентрата потери полезных минералов составляют: нефелин – 83.19% (5 438 тыс. т/год); эгирин – 34.93% (173 тыс. т/год); полевой шпат – 89.27% (1 901 тыс. т/год); сфен – 37.57% (74 тыс. т/год); титаномагнетит – 94.25% (56 тыс. т/год). Как демонстрирует анализ результатов основной флотации нефелина, операционные потери  $Al_2O_3$  – около 36%.

Действующая схема нефелинового производства второй обогатительной фабрики ОАО «Апатит», обеспечивает получение нефелинового концентрата с содержанием  $Al_2O_3$  не менее 28.5%. Однако анализ работы нефелинового отделения выявил, что получение кондиционного нефелинового концентрата при высоких технико-экономических показателях в условиях непрерывно ухудшающегося качества поступающих в переработку руд составляет чрезвычайно сложную проблему. Все внедренные мероприятия улучшают качество концентрата, но не решают задачу в целом.

Исследования, проводимые в Горном институте КНЦ РАН, для преодоления указанной проблемы предусматривают развитие способа флотации руд в активированных водных дисперсиях воздуха (АВДВ) и разработку оптимальных конструктивных решений для создания максимальной площади границы раздела газ – жидкость в рабочем объеме пневмомеханической флотационной машины с учетом минералого-технологических характеристик твердой фазы питания обратной флотации нефелина.

Способ флотации руд в АВДВ включает приготовление однородной смеси воды, воздуха и реагента-собирателя с последующим смешиванием ее с потоком минеральной суспензии, причем для максимальной активности газовых пузырьков газожидкостную смесь выдерживают до образования на поверхности пузырьков адсорбционного слоя реагентов, близкого к предельному значению.

Один из основных факторов, влияющих на эффективность процесса флотации, – состояние газовой фазы внутри рабочего объема камеры флотационной машины. Оно характеризуется распределением газовой фазы и степенью ее диспергации. Степень диспергации газовой фазы не постоянна и зависит от реагентного состава жидкой фазы, величины ее расхода и окружной скорости импеллера. Формирование стабилизированного градиентного поля концентрации газовой фазы в рабочем пространстве камеры определяет устойчивость процесса флотации. От эффективности аэрирования жидкой фазы зависит снижение доли «мертвых» зон в объеме камеры, возможность вовлечения в процесс флотации более крупных частиц. Одно из направлений интенсификации процесса флотации состоит в использовании АВДВ. Эффективность применения АВДВ зависит и от условий ее подачи в камеру флотационной машины.

Объект исследований настоящей работы – камера флотационной машины ОК-38, в рабочем пространстве которой оценивалось распределение концентрации и скорости газовой фазы. В пневмомеханических флотационных машинах, к которым относится флотационная машина ОК-38, газовая фаза – воздух под давлением подается через канал вала импеллера и, попадая в камеру, диспергируется пластинами импеллера. Штатный режим работы машины ОК-38 предполагает снижение поверхностного натяжения воды за счет реагентного состава до 0.03–0.04 Н/м, расход воздуха на диаметре канала 0.16 м – 0.25 м<sup>3</sup>/с, скорость вращения импеллера при диаметре 0.9 м – 150 мин<sup>-1</sup>.

Для исследования формирования стационарного состояния газовой фазы в рабочей зоне флотационной машины ОК-38, работающей в штатном режиме, была создана CFD (Computational Fluid Dynamics) модель процесса аэрирования жидкой фазы. Установлено, что степень аэрирования жидкой фазы в штатном режиме составляет 4.03% при общей площади границы раздела газовой и жидкой фаз 3774.75 м<sup>2</sup>. Эпюры распределения газовой фазы по горизонтам камеры ОК-38 показаны на рис. 1.

Такому распределению свойственна резкая неоднородность поля концентрации газовой фазы в средней по высоте части камеры. Необходимость использования высоких гидродинамических нагрузок при диспергации поступающего воздуха приводит к формированию центростремительных составляющих движения газовой фазы. Тенденция к стабилизации поля концентрации газовой фазы начинает складываться, отвечая выравниванию поля скоростей, связанного с образованием пенного слоя.

При флотации реагент-собиратель подается в жидкую фазу, адсорбируясь на поверхностях твердых частиц и снижая контрастность их свойств. Флотация с применением АВДВ позволяет формировать диспергированные до заданных размеров пузырьки воздуха, на поверхности которых образуется слой поверхностно-активных веществ (ПАВ) до их попадания в рабочее пространство камеры. Таким образом, носителями активной поверхности становятся не твердые частицы, а пузырьки воздуха, что повышает уровень селективности разделения твердых компонентов. Далее активированная газо-жидкостная смесь точно подается под импеллер, вовлекается в процесс аэрирования жидкой фазы дополнительно к воздуху, подаваемому через импеллер.

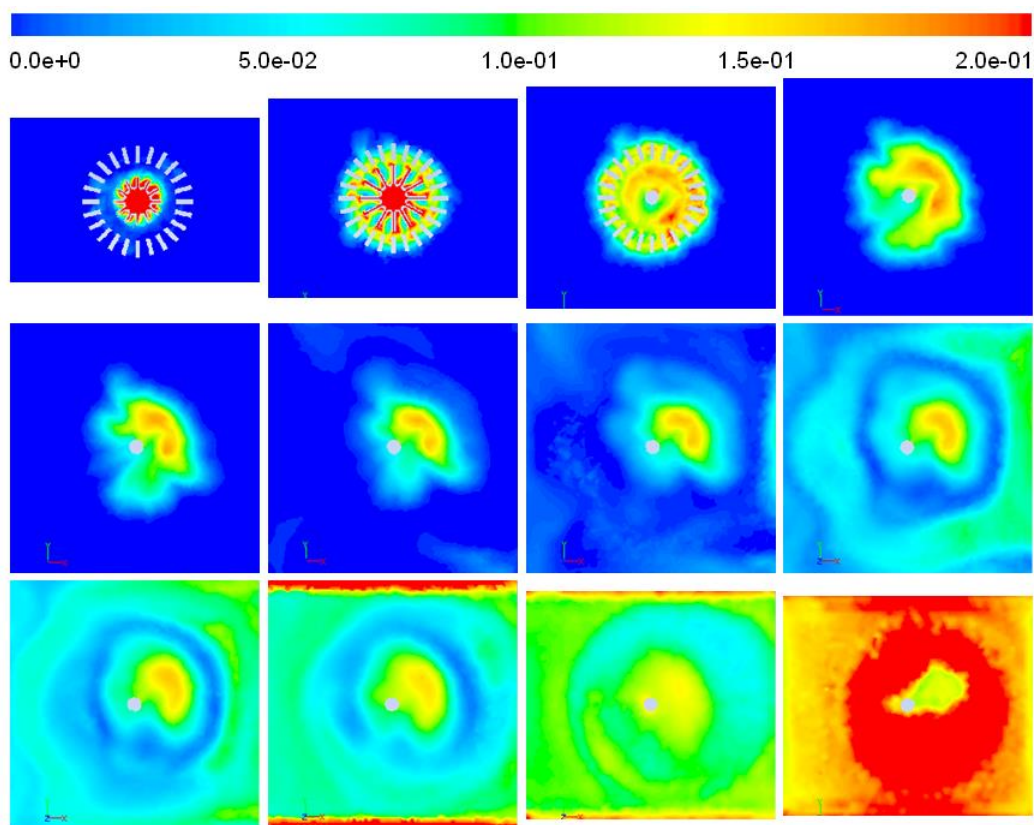


Рис. 1. Этюры распределения газовой фазы по горизонтам камеры машины ОК-38 в штатном режиме (поток питания слева направо, вращение правовинтовое, шаг горизонта – 0.25 м)

Принципиальная схема подачи собирательной смеси с использованием устройств для приготовления и дозирования реагентов в камеру флотационной машины приведена на рис. 2.

На схеме представлена связь элементов устройства для приготовления и подачи реагентов в виде активированной водной дисперсии воздуха в камеру флотационной машины ОК-38 в корпусе производства нефелинового концентрата АНОФ-2.

Устройство АВДВ расположено на фундаменте верхней отметки ОК-38 8. Для удобства ввода трубопровода дозирования готовой активированной водно-воздушной смеси 10 в зону импеллера 13, закрытого статором 12, находящегося внутри корпуса ОК-38 14, и вращающегося с помощью двигателя привода импеллерного блока 11, корпус ОК-38 расположен на фундаменте 15 (рис. 2). К устройству для приготовления реагентов в виде АВДВ подведены дополнительная вода (свежая вода обогатительной фабрики), омыленный раствор с концентрацией 2.2% и воздух, обеспечен свободный доступ для визуального контроля над состоянием дисперсии и контроля коллекторов воздуха и раствора собирателя при профилактических осмотрах.

В ходе дальнейших исследований были выявлены возможности повышения эффективности процесса флотации путем повышения концентрации и более равномерного объемного распределения газовой фазы за счет модификации конструкции для подачи АВДВ. Было предложено оснастить камеру флотационной машины ОК-38 устройством радиального распределения (УРР) АВДВ, установленным в окружной зоне статора (см. рис. 3 и 4).

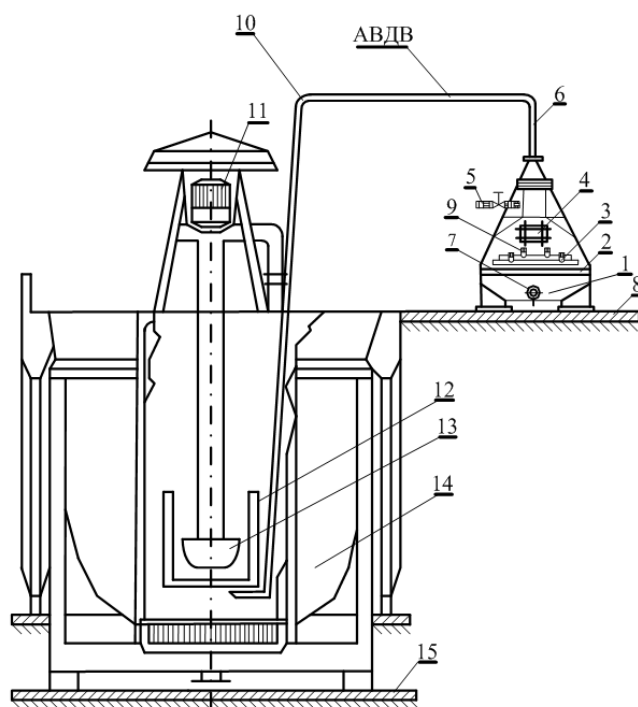


Рис. 2. Схема подачи собирательной смеси с использованием устройства для приготовления и дозирования реагентов в камеру флотационной машины ОК – 38:

1 – колоколообразная камера; 2 – корпус устройства АВДВ; 3 – регистр распределения воздуха; 4 – смотровое окно для визуального контроля за состоянием дисперсии; 5 – патрубок с вентилем для отбора поверхностно-активной газожидкостной смеси; 6 – сужающее устройство АВДВ; 7 – сливное отверстие для камеры устройства; 8 – фундамент; 9 – регистр распределения раствора ПАВ; 10 – трубопровод для трансферта готовой АВДВ; 11 – двигатель привода импеллерного блока; 12 – статор; 13 – импеллер; 14 – корпус флотационной машины ОК -38; 15 – фундамент флотационной машины ОК – 38

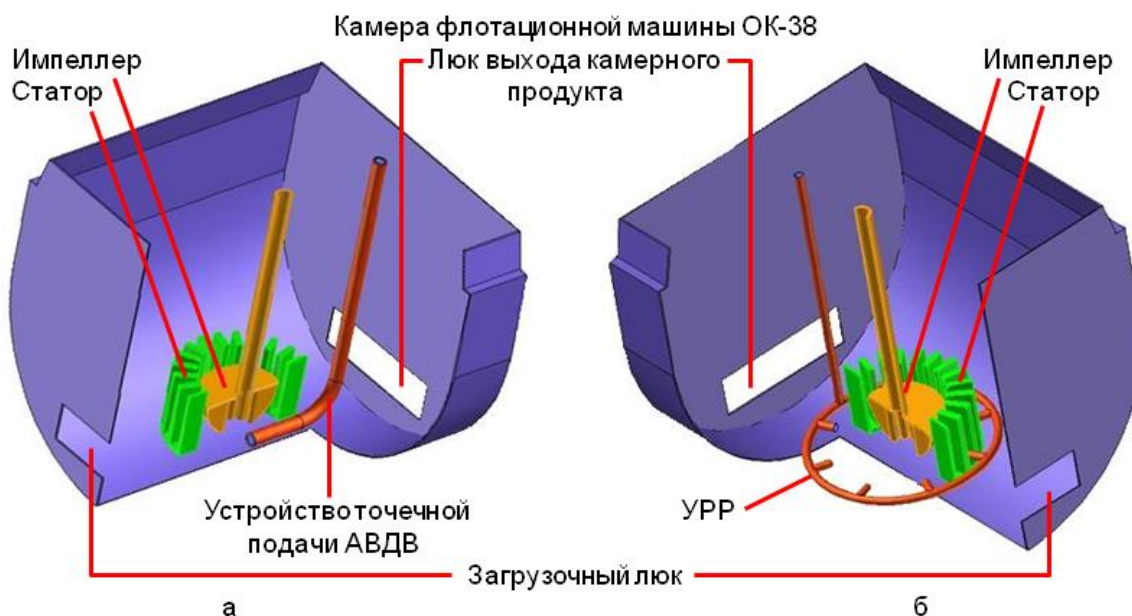


Рис. 3. Конструктивные модификации камеры флотационной машины ОК-38  
а – с точечной подачей АВДВ; б – с УРР

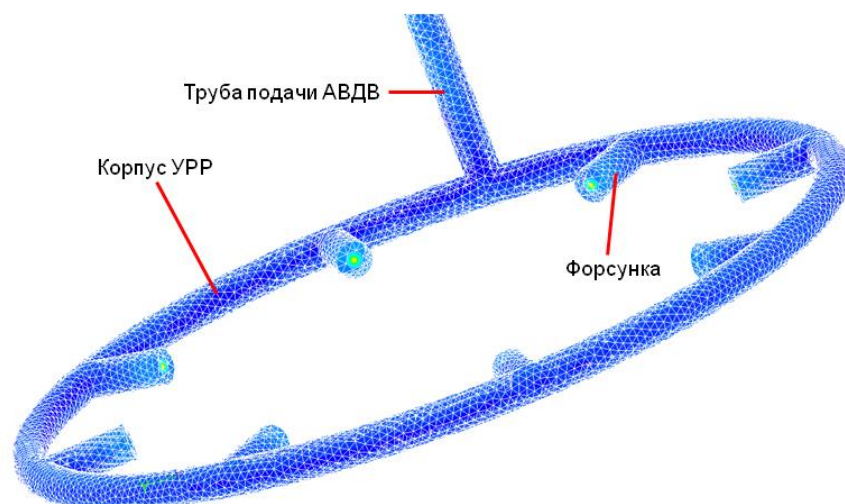


Рис. 4. Конструктивные элементы УРР

Форсунки УРР расположены в горизонтальной плоскости таким образом, что поток активированной газо-жидкостной смеси направлен противоположно горизонтальной составляющей скорости пузырьков воздуха, подаваемого через вал импеллера. Это обеспечивает интенсивное перемешивание пузырьков газовых фаз, а формирование области пониженного давления

за внешним геометрическим контуром статора вызывает более интенсивное и равномерное аэрирование придонных областей камеры при сниженной напряженности поля скоростей флотационной пульпы.

В ходе исследований выявлены закономерности распределения газовой фазы в стационарном режиме работы камеры флотационной машины ОК-38 для различных конструктивных модификаций и получены данные об объемном распределении концентраций и скоростей газовых фаз.

Установлено, что степень аэрирования жидкой фазы в случае точечной подачи АДВ равна 7.02% при общей площади границы раздела газовой и жидкой фазы  $6\,561.18\text{ м}^2$ , из которых на границу жидкой фазы с воздухом, диспергированном на импеллере, приходится  $4\,747.88\text{ м}^2$  (72.36%). Степень аэрирования жидкой фазы в случае подачи АДВ через УРР составляет 7.89%, общая площадь границы раздела газовой и жидкой фазы –  $7\,375.18\text{ м}^2$ , из которых на границу жидкой фазы с воздухом, диспергированном на импеллере, приходится  $4\,836.51\text{ м}^2$  (65.58%). Таким образом, применение УРР АДВ не только повышает степень аэрирования жидкой фазы, но еще и увеличивает долю активированной поверхности границы раздела газовой и жидкой фазы. При этом возрастание степени аэрирования происходит и за счет перераспределения газовой фазы, подаваемой через канал вала импеллера, что позволяет снизить издержки операции основной флотации нефелина при повышении эффективности процесса флотации.

Формирование максимальной площади границы раздела газ – жидкость в рабочей зоне флотационных машин связано с гидродинамикой процесса флотации и во многом зависит от структуры, состава и организации потоков подводимого воздуха. Использование УРР в камере флотационной машины ОК-38 стабилизирует структуру восходящих потоков аэрированной жидкой фазы и повышает степень аэрирования жидкой фазы по сравнению с подачей воздуха только через импеллер на 72.8%? и на 10.6% по сравнению с подачей воздуха через импеллер одновременно с точечной подачей АДВ.

По результатам промышленных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Образцы УРР для приготовления и дозирования собирателя в виде АДВ в камеры известных конструкций флотационных машин прошли укрупненные технологические и эксплуатационные испытания в технологии получения нефелинового концентрата. Показано, что это эффективное средство интенсификации процесса флотационного обогащения хвостов апатитового цикла с целью получения кондиционного нефелинового концентрата.

2. Установка УРР к камерам флотационных машин ОК-38, работающих в операции основной нефелиновой флотации, позволили снизить расход собирателя до 56.0% при сохранении качества конечной продукции.

3. В ходе испытаний выявлено, что важным параметром работы УРР является необходимость поддержания соотношения дополнительная вода – собиратель близким к 1:1, при котором обеспечивается максимальная активность приготавливаемой газожидкостной смеси и повышение эффективности выделения нефелина из крупных фракций перерабатываемого материала.

4. Полученные результаты испытаний УРР дали основание для их внедрения в технологию получения нефелиновых концентратов в условиях действующего производства АНОФ-2 ОАО «Апатит» и последующей оптимизации всех регулируемых параметров их работы.

Таким образом, показано, что внедрение предлагаемой технологии есть эффективное средство интенсификации процесса флотационного разделения минералов. УРР для приготовления и дозирования реагентов могут применяться на обогатительных фабриках при использовании флотационных технологий извлечения полезных компонентов, где в качестве реагентов-собирателей подаются поверхностно-активные вещества гетерополярного строения. Широкое применение подобных устройств возможно и в технологиях извлечения тонкодисперсных частиц из сливов сгустителей, и в очистке сточных вод от многокомпонентных примесей различных промышленных предприятий. Устройства компактны, просты в обслуживании, надежны в эксплуатации.

Ориентировочная стоимость аэрационного устройства для приготовления и дозирования собирателя в виде АВДВ составляет 300 тыс. рублей. Стоимость технической документации и организации производства – 1.5–2 млн рублей.

#### **Сведения об авторах**

*Скорородов Владимир Федорович* – д.т.н., зав. лаб., Горный институт КНЦ РАН;

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

*Никитин Роман Михайлович* – ведущий технолог, Горный институт КНЦ РАН;

e-mail: remnik@yandex.ru

*Степанникова Анна Сергеевна* – аспирант, инженер, Горный институт КНЦ РАН;

e-mail: 1990nuta2008@rambler.ru



## ПРИЕМЫ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ КУЛЬТУРФИТОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СУБАРКТИКИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

В.Т. Калинин<sup>1</sup>, И.П. Кременецкая<sup>1</sup>, Л.А. Иванова<sup>2</sup>, М.В. Слуковская<sup>3</sup>,  
Т.Т. Горбачева<sup>4</sup>, С.А. Алексеева<sup>5</sup>, В.В. Лащук<sup>1</sup>, С.В. Дрогобужская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН

<sup>2</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН

<sup>3</sup>Петрозаводский государственный университет

<sup>4</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

<sup>5</sup>Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Представлены результаты многолетних исследований по изучению влияния мелиорантов из горнопромышленных отходов, содержащих кислотонейтрализующие минералы, на создаваемый на них растительный покров в зоне воздействия медно-никелевого комбината на Кольском п-ове. Показано, что нанесение на поверхность техногенного грунта экранирующего слоя из мелиорантов способствует созданию благоприятной среды (оптимизации pH грунта, уменьшению мобильности тяжелых металлов и увеличению пула макроэлементов в доступных для растений формах) для ускоренного формирования устойчивых растительных сообществ на территории, подлежащей рекультивации. Искусственные фитоценозы, созданные по инновационным экспресс-биотехнологиям на мелиорантах без использования дефицитных торфо-почвенных смесей, обладают характеристиками, свидетельствующими о начале восстановительной сукцессии.

### Ключевые слова:

*биологическая рекультивация, вермикулит, восстановительная сукцессия, злаковые растения, мелиоранты, техногенный грунт, тяжелые металлы, фитоценоз.*

### Введение

В условиях усиливающейся экологической напряженности все более важным направлением реализации государственной политики в области научных исследований и научного обеспечения деятельности в Арктике становится разработка комплекса мероприятий, цель которых – оздоровление окружающей среды обитания человека [1]. Специфические природно-климатические условия Арктики усугубляют воздействие антропогенных факторов [2] и выдвигают на первый план комплексное изучение ассимиляционной емкости северных экосистем, а также воздействия человека на природные сообщества, восстановление их после нарушения, создание новых искусственных биогеоценозов, синтезируемых целенаправленно.

Своеобразие миграции и поступления химических элементов в депонирующие среды арктических ландшафтов обусловлено следующими особенностями:

- наличие мощной криолитозоны, которая способствует накоплению тяжелых металлов (ТМ), переходящих в почвы и воды;
- малые количества вещества и энергии, вовлекаемые в круговорот;
- высокая скорость переноса загрязняющих веществ;
- особая восприимчивость многих видов растений к ряду химических соединений [3].

Наглядный пример проявления негативного воздействия промышленности на природу Арктики и Субарктики под воздействием перечисленных факторов – формирование в импактных зонах предприятий цветной металлургии депрессивных территорий с высоким уровнем загрязнения тяжелыми металлами. Следствие деградации растительного покрова в результате выпадения кислотных дождей и пыли является интенсивная миграция соединений ТМ, накопленных техногенным грунтом, в объекты гидросферы [4]. Мониторинговые исследования химического загрязнения водных объектов, расположенных на территории зоны воздействия медно-никелевого предприятия, показали, что одним из способов локализации загрязнения

может стать создание барьеров на пути миграции токсичных компонентов путем рекультивации береговой линии водотоков (в первую очередь) и водоемов [5].

В условиях действующего предприятия создание искусственных культурфитоценозов на высоко загрязненном техногенном грунте требует особого подхода. Создание устойчиво функционирующих растительных сообществ обуславливает необходимость применения адаптивных технологий, учитывающих локальные условия их формирования. Прежде всего, следует защитить корневую систему растений от влияния токсичного грунта. Кроме того, опыт проведения рекультивации и озеленения на таких территориях показал, что привозной незагрязненный грунт, традиционно используемый для этих целей, в течение нескольких лет накапливает компоненты атмосферных выбросов и становится токсичным для растений. Данные обстоятельства свидетельствуют о необходимости нанесения на техногенный грунт слоя субстрата (мелиоранта), обладающего кислотонейтрализующими свойствами. В качестве такого материала предложено использовать горнопромышленные отходы, содержащие карбонаты и силикаты кальция и магния [6].

При проведении рекультивации помимо негативных техногенных факторов следует учитывать и особенности функционирования растительных сообществ в суровых климатических условиях циркумполярных областей. Это короткий вегетационный период, возможность резкого понижения температуры, периодический дефицит влаги в почве, отсутствие банка семян, доминирование вегетативного пути размножения местной растительности и др. Для создания благоприятных условий формирования посевных фитоценозов целесообразно применение агровермикулита. Обладая такими свойствами, как высокая воздухо- и влагоемкость и низкая теплопроводность, этот субстрат способствует созданию в среде прорастания семян режима, оптимального по температуре, аэрации и влажности, и тем самым сокращению сроков формирования создаваемого фитоценоза, что особенно важно в суровых климатических условиях северных широт [7].

С учетом совокупности перечисленных негативных факторов и возможных способов адаптации к ним растений разработана технология рекультивации техногенного грунта, включающая посев семян растений, устойчивых к воздействию аэротехногенных выбросов, на сформированное на поверхности грунта комплексное покрытие, состоящее из экранирующей подложки (мелиоранта) и слоя вермикулитового субстрата.

Исследования, выполненные коллективом сотрудников нескольких институтов Кольского научного центра РАН и Петрозаводского государственного университета, показали перспективность использования описанных выше подходов для реабилитации техногенных ландшафтов. При организационной и финансовой поддержке ОАО «Кольская ГМК» проведены укрупненные полевые испытания предлагаемой технологии. Некоторые результаты, полученные за период 2011–2013 гг., представлены в настоящей работе.

### **Материалы, объекты и методы исследований**

Работы по рекультивации выполнены на экспериментальном участке (координаты местоположения 67°55.783'N, 32°51.535'E) в 0.7 км от источника выбросов ОАО «Кольская ГМК» (площадка Мончегорск). В 2011 г. были заложены 44 площадки размером 1×1 м. Схема опыта включала 3 опытных варианта, в которых использовались экранирующие подложки (высота слоя 5 см) из следующих мелиорантов: карбонатитовых отходов (КО), заскладированных в хвостохранилище ОАО «Ковдорский ГОК» Мурманской обл., серпентинитомagneзита (СМ) (вскрышные породы Халиловского месторождения магнезита ЗАО «Литосфера», Оренбургская обл.) и карьерного песка. В контрольном варианте внесение мелиоранта не осуществлялось.

Растительный покров формировали двумя инновационными запатентованными гидропонными экспресс-способами – настилем предварительно выращенной ковровой травяной дернины [8] и прямым посевом семян [9], основанными на комплексном использовании ковдорского вермикулита и местных популяций многолетних злаковых растений, устойчивых к северным климатическим условиям и антропогенной нагрузке [6, 10–12]. В состав травосмеси входили: пырей сизый (*Agropyron intermedium* (Host.) Beauv.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) и тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), взятые в соотношении 1:1:2:2 (по массе).

Отбор образцов травяной дернины производился методом монолитов [13]. Определяли показатели растительного покрова, наилучшим образом отражающие динамику его развития [14]. Надземные органы растений, взятые для химического анализа, отмывались от поверхностного загрязнения [15], высушивались до воздушно-сухого состояния и измельчались до размера частиц менее 1 мм [16]. Элементный анализ растений выполнялся на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN-9000 DRC-e (Perkin Elmer) после кислотного автоклавного вскрытия образцов с помощью микроволновой системы MWS-4 (Berghof).

Обработка данных, расчеты и графические иллюстрации проводились с использованием специализированного программного обеспечения Microsoft Excel 2010 [17]; расчет U-критерия Манна-Уитни выполнен с помощью специального скрипта [18].

### **Климатические условия в период проведения исследований**

Район исследования находится в центральной части Кольского п-ова, отличающейся наиболее континентальным климатом. Как и в целом для полуострова, для него характерен короткий период биологической активности – с мая по сентябрь [19], низкие среднемесячные температуры, краткость безморозного периода, возможность заморозков даже в июле [20]. В связи с этим немаловажное значение для развития растительных сообществ имеют погодные характеристики вегетационного сезона, и в первую очередь – температура воздуха и сумма осадков.

За период наблюдений средняя температура мая находилась в интервале 5.6–7.8, июня – 11.0–14.4, июля – 13.0–15.6, августа – 11.4–15.2 °С. Наиболее теплыми были 2011 и 2013 гг. Относительная влажность воздуха претерпевала схожие колебания и в разные годы составляла от 64 до 80%. Вегетационный сезон 2013 г. характеризовался наибольшей засушливостью по сравнению с остальными годами: сумма осадков за 4 месяца равнялась 174 мм, тогда как в остальные годы – 240–316 мм. Наибольшее количество выпавших осадков отмечено в 2011 г., что в сочетании с высокими температурами сформировало условия, которые можно признать благоприятными для произрастания растений.

### **Результаты и их обсуждение**

#### *Характеристика органогенного грунта*

Экспериментальный участок проблематичен для проведения рекультивационных работ: растительность на нем полностью отсутствовала, техногенный торфоподобный грунт характеризовался низким питательным статусом по P, K, Ca и Mg; содержание ТМ в доступных для растений формах превышало предельно допустимую концентрацию на два (Cu) и три (Ni) порядка [21] и составляло величину около 4–5 г/кг для меди и около 0.4 г/кг для никеля, или 30–40% от валового содержания. Сравнение значения рН водной вытяжки, которое изменяется в пределах 3.6–4.0, с условиями, благоприятными для выращивания растений (рН 6.0–6.5), свидетельствует о высокой кислотности техногенного грунта. Сопоставление с содержанием доступных компонентов в образцах стандартного грунта, используемого для выращивания растений, показало значимое (примерно в тысячу раз) превышение концентраций в техногенном грунте для Cu и Al, для Fe и S – в 30 раз, для Ni и Zn – в 10–15 раз. Содержание P, Mg, K, Ca ниже стандартного значения в 10–30 раз. Таким образом, органогенный грунт экспериментальной площадки характеризуется высоким содержанием Ni, Zn, Fe, S, экстремально высоким – Cu и Al, низким – остальных элементов [22]. По-видимому, отсутствие растительности на экспериментальной площадке – следствие высокой токсичности почвоподобного грунта.

#### *Динамика биологического состояния культурфитоценозов*

Согласно «концепции природовосстановления» [23, 24], полное восстановление экосистем на Крайнем Севере проходит в два этапа. На первом, «интенсивном» этапе, который занимает 3–5 лет, должен производиться высеv семян многолетних трав, закладка минеральных удобрений, а также применяться специальные технологические приемы в зависимости от типа нарушения. К концу этапа формируется промежуточное луговое сообщество с проективным

покрытием не менее 70%. На втором, «ассимиляционном» этапе (20–25 лет), внесение удобрений снимается, происходит формирование зонального типа растительности в процессе восстановительной сукцессии. В 2013 году завершился третий вегетационный сезон, что дает возможность оценить результаты первого, "интенсивного" этапа рекультивации. Выполнены исследования, позволяющие судить о степени устойчивости функционирования растительных сообществ, сформированных на экспериментальных участках.

Виды растений, составляющие искусственные ценозы, находятся в количественных соотношениях, соответствующих тем или иным этапам развития, что определяет строение (структуру) ценоза. Изучение этой структуры дает основание для выяснения его показательного значения, путей улучшения, рационального размещения и использования. Основные признаки, характеризующие строение создаваемых фитоценозов, – фенологическое состояние растений, площадь покрытия, плотность, биомасса и другие биометрические показатели растительного покрова [25].

#### *Фенологическое состояние растений*

В результате ежегодных периодических наблюдений за состоянием фитоценозов, созданных в разных условиях эксперимента, выявлены разные темпы прохождения ими этапов фенологического развития. Так, к концу первого вегетационного сезона (2011 г.) большинство растений во всех вариантах опыта оставалось в вегетативном состоянии (имели по 3 настоящих зеленых листа). В то же время следующая фаза развития – кущение – отмечена в контрольном варианте и на песке только у 2% растений, а в опытных вариантах этот показатель был больше и составлял для СМ 3–11%, для КО – 5–22%. Интенсивное кущение материнского побега растений, сопровождающееся образованием многочисленных корневых отпрысков и разрастанием корневищ, а также фаза созревания семян, зафиксированы в августе 2012 г. только в опытных вариантах и лишь у отдельных особей всех 4-х популяций многолетних злаков. Отставание фенологического развития растений контрольного варианта продолжилось и в 2012–2013 гг., растительный покров здесь имел угнетенное состояние, растения в нем в 2012 г. начали погибать, а конце 2013 г. полностью погибли. В то же время в опытных вариантах виды злаковых растений в течение 3-х лет последовательно прошли все фазы онтогенеза. В сентябре 2013 г. зафиксировано массовое созревание семян всех видов злаков, входящих в травостой на мелиорантах, и несколько меньшее – на песке.

#### *Количественные показатели роста растений*

*Проективное покрытие* в контрольном варианте в течение трех вегетационных сезонов снизилось с 30–70% в 2011 г. до полной гибели растительного покрова (0–2%) в 2013 г. На площадках с песком к концу третьего года этот показатель составлял 80%, тогда как вскоре после создания растительного покрова оно было практически максимальным (95%). При этом на части делянок с КО проективное покрытие увеличилось с 90% в 2011 г. до 95% в 2012 г. и 100% в 2013 г. На остальных площадках надземные части растений изначально покрывали практически весь слой мелиоранта. И так, на площадках с мелиорантами зеленые растения на третий год занимали всю исходную площадь, проективное покрытие составляло 100%.

Изучение динамики *плотности травостоя* в созданных фитоценозах выявило некоторую зависимость этого показателя от проективного покрытия – варианты с меньшей плотностью травостоя характеризовались большим проективным покрытием. Так, в первый вегетационный сезон плотность травостоя (тыс. побегов/м<sup>2</sup>) составила в контроле 130–150, на площадках с песком – 100–150, на мелиорантах 90–100 (КО) и 50–70 (СМ). Вероятно, чем комфортнее субстрат для роста и развития растений (и, соответственно, выше их проективное покрытие), тем интенсивнее протекает процесс кущения отдельных особей, что влечет за собой снижение общей плотности травостоя.

С годами плотность сложения созданного растительного покрова уменьшалась: после зимы 2011/2012 гг. – в 5 раз в контрольном варианте и в 1.5–4 раза на остальных площадках; после зимы 2012/2013 гг. – в 8 раз в контроле, в 7–9 раз на мелиорантах и в 12–17 раз на песке. Следовательно, использование одинакового стартового количества семян (июнь 2011 г.) привело к формированию растительного покрова с разной плотностью травостоя,

зависевшей от наличия/типа минерального субстрата (данные за август 2011 и август 2012 гг.), и затем – к унификации данного показателя (август 2013 г.). Причиной уменьшения плотности травостоя в разных вариантах эксперимента стали практически противоположные процессы – выпад травостоя (в контроле и на песке) и интенсивное кущение материнских особей (на мелиорантах).

Определение биомассы растений в созданных фитоценозах показало, что на контрольных площадках она была наименьшей во все годы мониторинга. Ее резкое уменьшение (с 35 до 1–4 г/м<sup>2</sup>) зафиксировано после первой перезимовки фитоценозов. В вариантах с применением мелиорантов и песка фитомасса надземных частей растений в 2011 г. была сопоставимой; в 2012–2013 гг. фитомасса растений на площадках с песком ниже, чем на мелиорантах, она составила 250–260 и 240–310 г/м<sup>2</sup> соответственно. В целом же в опытных вариантах отмечено увеличение фитомассы по сравнению с первым вегетационным периодом в 2–4 раза к концу летнего сезона 2012 г. и в 4–9 раз к августу 2013 г., при этом данный показатель составил 0.7–1.0 кг/м<sup>2</sup> на СМ и около 0.9 кг/м<sup>2</sup> на КО.

Таким образом, в опытных вариантах процесс постепенного снижения плотности травостоя на протяжении трех вегетационных периодов сопровождался увеличением массы надземных органов растений вследствие процесса интенсивного кущения растений. Напротив, в варианте с песком уменьшение плотности не повлекло за собой прироста фитомассы (рис. 1).

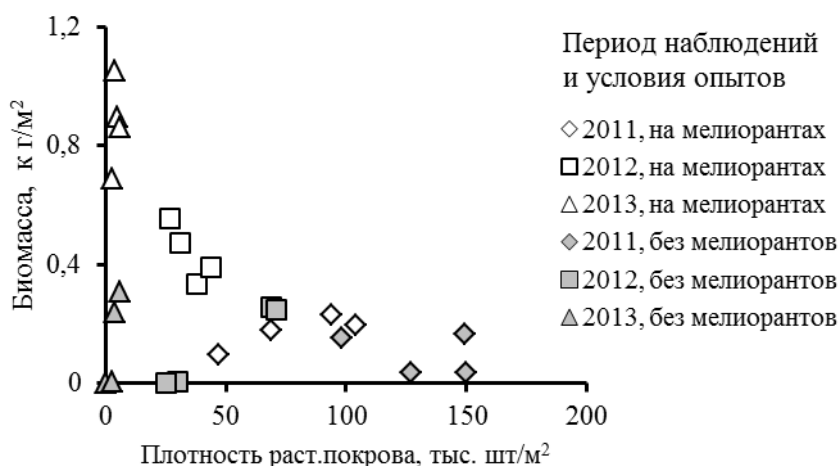


Рис. 1. Динамика плотности и биомассы растительного покрова (надземная часть)

В целом использование 4-х видов многолетних злаков для формирования культурфитоценозов на площадках, одинаковых по рельефу и влажности, но различающихся почвенными условиями, способствовало формированию растительных сообществ с диффузным (однородным) сложением и с более или менее равномерным распределением видов. Однако травостой контрольного и опытных вариантов на протяжении всего эксперимента существенно различался по высоте. В первый вегетационный сезон наименьшим ростом характеризовались растения контрольного варианта (4–5 см). Среди опытных вариантов лучшие результаты были получены на СМ, высота растений достигала 17 см, в вариантах с применением песка данный показатель составил 11–13 см. Во втором вегетационном сезоне максимальная высота травостоев увеличилась по сравнению с первым в среднем в 2.5 раза, а в июле и августе 2012 г. в течение месяца произошло ее двукратное увеличение (на 2–30 и 15–50 см на площадках без мелиорантов и с мелиорантами соответственно) (рис. 2).

Высота растений на площадках с песком к августу 2013 г. составляла 20–24 см, тогда как в вариантах с мелиорантами она была существенно выше и изменялась в интервале от 40 до 70 см. Побеги на третий год эксперимента в опытных вариантах стали выше, чем в предыдущий, на 4–18 см на СМ и на 4–11 см на КО (рис. 3). При этом во второй и третий годы сохранилась та же тенденция, что и в первый год эксперимента; соотношение между

показателем высоты травостоя в различных вариантах выглядит следующим образом:  
 контроль < песок < КО < СМ.

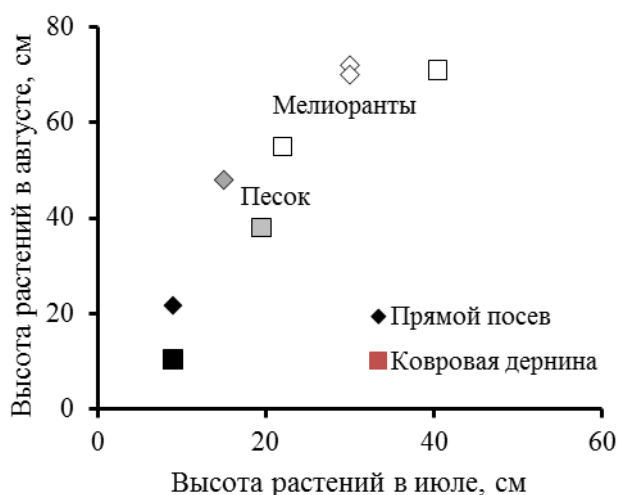


Рис. 2. Максимальная высота растений в вегетационном сезоне 2012 г.

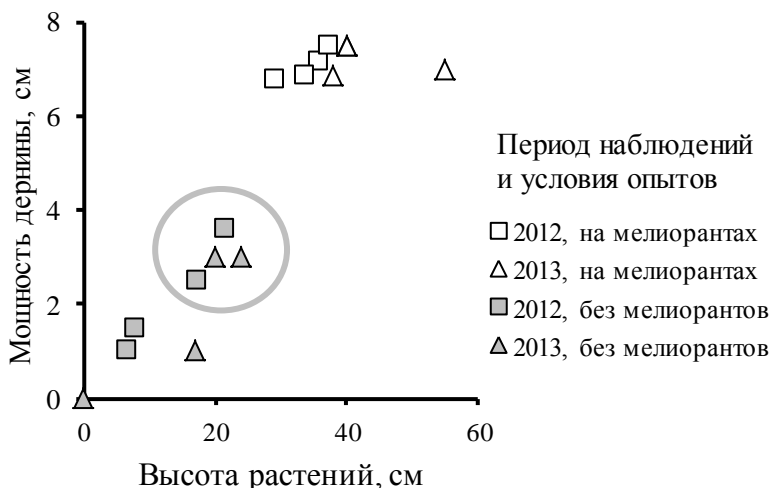


Рис. 3. Динамика средней высоты растений и мощности дернины (окружностью выделены данные для варианта с подложкой из песка)

Длина корней в 2011 г. зависела от варианта эксперимента, в контроле она составляла 2.0–2.5 см, на делянках с песком – 3.0–3.5 см, на мелиорантах – 4–5 см. В последующие годы длину корней не определяли из-за сильного переплетения и невозможности выделения отдельных экземпляров. Вместо этого измеряли общую мощность дернины.

В контрольном варианте корни полностью находились в слое вермикулита, поэтому мощность дернины была целиком обусловлена его толщиной и составляла 1–1.5 см. В опытных вариантах основными факторами, влияющими на развитие корневых систем и мощность дернины, оказались как толщина слоя, так и вид подложки из минерального субстрата. Мощность дернины во второй и третий вегетационный сезоны была примерно одинаковой и составляла на площадках на песке 2.5–3.5 см, на мелиорантах – 7.0–7.5 см.

Во второй вегетационный период произошло не только освоение корневыми системами растений подложек из всех типов мелиорантов, но и их частичное проникновение в техногенный грунт. Так, корни растений обнаружены в верхнем слое торфа на делянках под СМ на глубине до 2 см и под КО – до 1 см. В течение года под мелиорантами происходила постепенная

нейтрализация грунта и уменьшение подвижности ТМ [5], что во второй летний период привело к началу освоения исходно токсичного грунта корнями растений.

Во второй половине третьего вегетационного сезона корневые системы растений обнаружены на глубине до 3.5 см в варианте с СМ и до 1.5 см – под КО. Увеличение глубины проникновения корней на 1–2 см по сравнению с 2012 г. говорит о положительном действии используемых в эксперименте мелиорантов на торфяной грунт техногенной пустоши. В то же время на делянках с песком и в контрольном варианте проникновения корней в техногенный грунт обнаружено не было ни в один из вегетационных сезонов. На рис. 3 прослеживается взаимосвязь между высотой растений и мощностью дернины – оба показателя больше в опытных вариантах.

Не обнаружено статистически значимых различий по *U*-критерию Манна-Уитни между растительным покровом, сформированным способами прямого посева и настила ковровой травяной дернины ( $p \leq 0.05$ ). Следовательно, способ создания фитоценоза не оказывает влияния на качество растительного покрова.

Таким образом, результаты мониторинга культурфитоценозов, сформированных на экспериментальной площадке двумя инновационными экспресс-способами биорекультивации в течение трех вегетационных периодов, продемонстрировали положительную динамику развития растительных сообществ на площадках опытных вариантов с использованием мелиорантов, что подтверждается и внешним видом экспериментальной площадки в 2011–2013 гг. (рис. 4). При оценке созданного растительного покрова выявлена зависимость исследованных параметров от типа подложки. В отличие от контрольного варианта и опытного с песком, применение 5-см слоя из карбонатитовых отходов и серпентинитомагнезита, характеризующихся высоким пулом питательных элементов, в том числе Са и Mg, привело к постепенной нейтрализации кислотности и уменьшению подвижности ТМ в исходном техногенном грунте пустоши. В вариантах с мелиорантами создаются благоприятные условия для быстрого освоения корнями растений непосредственно самого слоя мелиорантов и верхнего (на глубину до 3.5 см) слоя техногенного грунта, который можно отнести к категории «мелиорированный», а также для ускорения роста и фенологического развития растений, формирования мощной жизненной дернины и устойчивых, способных к начальному этапу восстановительной сукцессии, растительных сообществ.



Рис. 4. Внешний вид экспериментального участка:  
а) июль 2011 г.; б) июль 2012 г.; в) сентябрь 2013 г.

#### *Влияние условий формирования фитоценозов на химический состав растений*

Результаты химического анализа свидетельствуют о протекании процесса накопления в надземных органах растений элементов-поллютантов (меди и никеля), концентрации которых существенно (в 1.5–2 раза) превышают пороги токсичности [26]. Концентрации соответствуют

интервалам 150–180 мг/кг для Ni и 190–240 мг/кг для Cu и для различных вариантов почвоподобных субстратов отличаются незначительно (рис. 5). Тот факт, что содержание ТМ в растениях не зависит от химического состава субстрата (в загрязненном органоминеральном грунте, т.е. в контрольном опыте, их концентрации на один-два порядка выше, чем в песке и мелиорантах) говорит о поступлении ТМ преимущественно за счет внешней абсорбции компонентов аэротехногенных выбросов [15, 27].

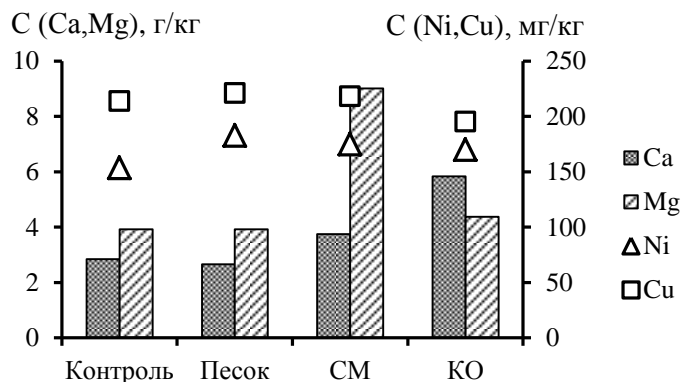


Рис. 5. Содержание макроэлементов и тяжелых металлов в надземных органах растений

Помимо ТМ, в выбросах комбината присутствуют кальций и магний [28, 29], однако для данных компонентов наблюдается не только повышенное содержание в растениях относительно средних значений [30], но и выявлена зависимость от химического состава почвоподобного субстрата. В вариантах опытов на мелиорантах концентрации кальция и магния в растениях коррелируют с содержанием их доступной формы в минеральных субстратах (табл.), указывая на реализацию механизма корневого поглощения дополнительно к воздушному, что особенно заметно в случае использования мелиорантов с высоким пулом данных элементов.

Таблица

Данные о химическом составе минеральных субстратов

Мелиоранты	Содержание компонентов в доступной для растений форме										
	мас. %		мг/кг								
	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	P
СМ	0.29	2.62	10	16	2	24	159	0.8	106	0.2	15
КО	12.3	0.18	18	218	122	530	153	3	6	7	89
ВСО	1.68	0.56	245	150	84	233	82	4.9	22	17	86

Примечание. ВСО – вермикулит-сунгулитовые отходы.

Таким образом, существенное влияние на химический состав надземных органов растений оказывает как аэротехногенная нагрузка (судя по данным для меди и никеля), так и содержание элементов в мелиорантах (результаты по кальцию и магнию). Кроме того, на основании совокупности биометрических показателей и данных о содержании химических компонентов в растениях можно констатировать, что решающим фактором, влияющим на физиологическое состояние растений, является не загрязнение воздушной среды, а наличие субстрата, пригодного для развития корневых систем, что свидетельствует об оправданности применения технологии рекультивации с применением минеральных субстратов.



### *Перспективы реализации предлагаемого способа рекультивации*

Положительные результаты, полученные при проведении полевого эксперимента, позволяют начать подготовку к опытно-промышленным испытаниям. Кольский полуостров является удобной площадкой для реализации предлагаемых подходов как один из наиболее урбанизированных регионов Арктической зоны Российской Федерации, на территории которого расположены горно-обогатительные и горно-металлургические предприятия различного профиля.

С одной стороны, производственная деятельность вышеупомянутых предприятий обуславливает проявление практически всех типов техногенного воздействия, в том числе образование обширных техногенных ландшафтов с высоким уровнем загрязнения ТМ. С другой стороны, разнообразие перерабатываемого на территории Мурманской обл. минерального сырья позволяет предложить различные варианты снижения такого рода экологического ущерба такого рода путем комплексного использования горнопромышленных отходов.

Анализ минерального состава геологических провинций и территориального размещения предприятий Мурманской области показал, что наиболее перспективным сырьем для получения мелиорантов являются заскладированные вермикулит-сунгулитовые отходы (ВСО) открытой добычи флогопита (ООО «Ковдорслюда», г. Ковдор). Наличие в ВСО серпентиновых минералов позволяет предложить данный материал для фиторекультивации техногенного грунта. Результаты химического анализа усредненной пробы показывают, что по содержанию доступного кальция ВСО уступают КО, а по магнию – СМ. В пересчете на концентрации, выраженные в молях, суммарное содержание кальция и магния в ВСО в 2 раза ниже, чем в СМ, и в 5 раз меньше, чем в КО. Наличие слюды обуславливает высокое содержание доступного калия в ВСО. Концентрации доступных форм остальных компонентов находятся в пределах, характерных для СМ и КО. На экспериментальной площадке в 2013 г. заложены опыты по испытанию сунгулитовых отходов в качестве нейтрализующего субстрата, получены положительные результаты, свидетельствующие о возможности применения ВСО для рекультивации токсичного грунта.

Следует отметить, что из ВСО можно выделить некондиционный вермикулитовый концентрат, пригодный для получения агровермикулита. Указанное обстоятельство дает возможность выполнить фиторекультивацию при минимальных затратах на материалы, которые необходимы для ее проведения согласно предлагаемой технологии.

Применение ВСО позволит не только изменить в лучшую сторону экологическое состояние водных и почвенных объектов техногенного ландшафта в окрестностях медно-никелевого комбината. Их утилизация даст возможность высвободить площадку, отчужденную для складирования отходов, и вернуть естественный облик данной территории. Решение обозначенных проблем, помимо экологической важности, имеет и социальное значение. Известно, что освоение природных ресурсов Арктики требует развития территориальных образований и проживания в них населения на постоянной основе, а не вахтовым методом [3]. Положительным аспектом рекультивации нарушенных территорий может стать улучшение социально-психологической среды моногородов, в которых горно-металлургические и горнодобывающие предприятия являются градообразующими.

### **Выводы**

1. Предложен способ реабилитации техногенных ландшафтов Субарктики, учитывающий распределенный характер загрязнения, а также необходимость применения специальных инновационных приемов биорекультивации из-за высокой токсичности грунта и короткого вегетационного сезона.

2. Выполнены укрупненные полевые испытания инновационного способа рекультивации техногенного грунта с высокой степенью загрязнения. Полученные в течение трех вегетационных периодов результаты позволили оценить степень устойчивости функционирования растительных сообществ, сформированных на экспериментальном участке в течение первого, "интенсивного" этапа проведенной фиторекультивации. Состояние создаваемого растительного покрова на участках с применением мелиорантов существенно

отличается от контрольного варианта и опытного с песком и может быть признано удовлетворительным для начального этапа восстановительной сукцессии.

3. Способы ускоренного создания высококачественного растительного покрова с проективным покрытием, близким к 100%, с использованием вермикулитового субстрата и травосмеси злаковых растений из *Agropyron intermedium*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne* и *Phleum pratense*, предусматривающие либо интродукцию ковровой дернины на слой мелиоранта, либо прямой посев семян, можно с успехом применять в условиях продолжающейся аэротехногенной нагрузки для рекультивации закисленных и загрязненных тяжелыми металлами северных техногенных ландшафтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Некипелов А.Д., Макоско А.А.* Перспективы фундаментальных научных исследований в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2011. № 4. С. 14–21.
2. *Матишов Г.Г., Дженюк С.Л.* Арктические вызовы и проблемы полярной науки // Вестник российской академии наук. 2012. Т. 82, № 10. С. 921–929.
3. Стратегия освоения и изучения минерально-сырьевых ресурсов российской Арктики и Субарктики в условиях перехода к устойчивому развитию / *Д.А. Додин, В.Д. Каминский, К.К. Золотов [и др.]* // Литосфера. 2010. № 6. С. 3–24.
4. Применение магнизиально-силикатного реагента для очистки от тяжелых металлов природно-антропогенных водных источников, расположенных в зоне воздействия ОАО "Кольская ГМК" (площадка Мончегорск) / *И.П. Кременецкая, В.В. Лащук, Е.Ю. Волочковская [и др.]* // Цветные металлы. 2012. №7. С. 35-40.
5. Комплексная технология ремедиации природно-антропогенных водных объектов Мончегорской техногенной пустоши / *И.П. Кременецкая, В.В. Лащук, М.В. Слукковская [и др.]* // Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием "Экологический риск и экологическая безопасность". Иркутск, 24–27 апреля 2012 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. Т. 2. С. 261–263.
6. Инновационные технологии рекультивации нарушенных земель / *Л.А. Иванова, Т.Т. Горбачева, М.В. Слукковская [и др.]* // Экология производства. 2014. №2. С. 58-67.
7. Ускоренное формирование противозерозионных травостоев на техногенно-нарушенных территориях: Заполярье / *Л.А. Иванова, В.А. Костина, М.В. Кременецкая [и др.]* // Вестник МГТУ. 2010. Т. 13, №4/2. С. 977–983.
8. *Иванова Л.А., Котельников В.А.* Способ создания экологически чистого покрытия и питательная среда для его выращивания: Пат. № 2393665, заявка № 2007126884, зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 10 июля 2010 г. РФ//20.01.2009. Бюл. №2.
9. *Ivanova L.A., Kotelnikov V.A.* Method for biologically recultivating industrial wastelands. Pub. No.: WO/2011/084079. Int. Appl. No.: PCT/RU2010/000001. Publ. Date: 14.07.2011. Int. Filing Date: 11.01.2010. IPC: A01B 79/02 (2006.01), A01G 1/00 (2006.01), A01G 31/00 (2006.01).
10. *Святковская Е.А.* Технология создания и содержания цветников и газонов в условиях Мурманской области. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2000. 27 с.
11. Рекомендации для рекультивации земель // АПК «Витус», 2012. URL: <http://www.vitusltd.ru/rec-ks.html> (Дата обращения 10.03.2013).
12. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (Официальное издание). М.: Министерство сельского хозяйства, 2013. 392 с.
13. *Красильников П.В.* Методика полевого изучения подземных частей растений. Л.: Наука, 1983. 208 с.
14. *Воронов А.Г.* Геоботаника. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.
15. Root versus canopy uptake of heavy metals by birch in an industrially polluted area: contrasting behaviour of nickel and copper / *M.V. Kozlov, E. Haukioja, A.V. Bakhtiarov [и др.]* // Environmental Pollution. 2000. Vol. 107, Issue 3. P. 413-420.
16. Практикум по агрохимии / *В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, О.А. Амельянчик [и др.]*. 2-е изд.: учебное пособие. М.: Изд-во МГУ. 2001. 689 с.
17. *Ивантер Э.В., Коросов А.В.* Элементарная биометрия: учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. 104 с.
18. Математические методы обработки данных. Режим доступа: <http://www.psychol-ok.ru/library.html#mat> (дата обращения 26.09.2013).
19. *Никонов В.В., Лукина Н.В.* Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 315 с.
20. *Зюзин Ю.Л.* Суровый лик Хибин. Мурманск: Рекламная полиграфия, 2006. 236 с.
21. Применение карбонатитового мелиоранта для биорекультивации техногенно загрязненного грунта в зоне воздействия медно-никелевого комбината / *М.В. Слукковская, Л.А. Иванова, Т.Т. Горбачева [и др.]* // Труды Карельского научного центра. 2013. №6. С. 133–142.
22. *Слукковская М.В.* Экологическое обоснование использования минеральных субстратов для фиторекультивации техногенной пустоши в условиях Субарктики: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск. 2013. 23 с.
23. *Лиханова И.А., Арчегова И.Б., Хабибуллина Ф.М.* Восстановление лесных экосистем на техногенно нарушенных территориях Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 104 с.
24. *Арчегова И.Б., Лиханова И.А.* Проблема биологической рекультивации и ее решение на европейском северо-востоке на примере республики Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2012. Выпуск 1(9). С. 29–34.
25. *Шенников А.П.* Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.
26. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
27. Устойчивость растений к тяжелым металлам / *А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина [и др.]*; отв. ред. *Н.Н. Немова*. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2007. 172 с.
28. *Кашулина Г.М., Салтан Н.В.* Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината «Североникель». Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2008. 239 с.
29. *Евдокимова Г.А.* Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1995. 272 с.
30. *Якушкина Н.И., Бахтенко Е.Ю.* Онлайн-энциклопедия по физиологии растений. Режим доступа: <http://fizrast.ru> (дата обращения 12.10.2012).

#### Сведения об авторах

*Калинников Владимир Трофимович* – д.х.н., академик, директор Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН; e-mail: office@chemy.kolasc.net.ru

*Кременецкая Ирина Петровна* – к.т.н., старший научный сотрудник;

e-mail: kremen@chemy.kolasc.net.ru

*Иванова Любовь Андреевна* – д.б.н., зав. лабораторий; e-mail: ivanova\_la@inbox.ru

*Слуковская Марина Вячеславовна* – к.б.н., младший научный сотрудник;

e-mail: krem.mv@gmail.com

*Горбачева Тамара Тимофеевна* – к.б.н., ведущий научный сотрудник;

e-mail: gorbacheva@iner.ksc.ru

*Алексеева Светлана Александровна* – научный сотрудник; e-mail: alekseeva@goi.kolasc.net.ru

*Лашук Владимир Владимирович* – к.т.н., старший научный сотрудник;

e-mail: laschuk@chemy.kolasc.net.ru

*Дрогобужская Светлана Витальевна* – к.х.н., старший научный сотрудник;

e-mail: drogo\_sv@chemy.kolasc.net.ru

## НОВЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ ОАО «АПАТИТ» ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ И ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ

А.И. Николаев<sup>1,2</sup>, Л.Г. Герасимова<sup>2</sup>, М.В. Маслова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кольский научный центр РАН

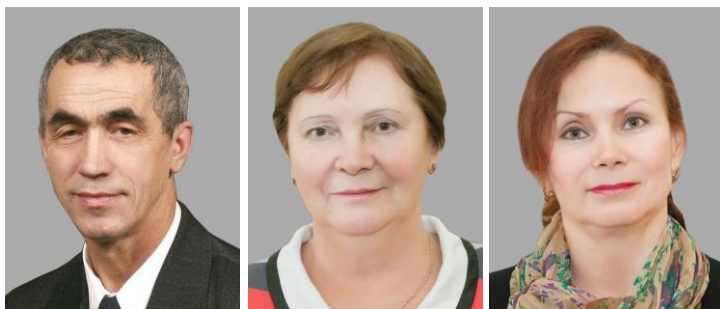
<sup>2</sup>Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья  
им. И.В. Тананаева КНЦ РАН

### Аннотация

Объектами загрязнения окружающей среды являются горнодобывающие, химические предприятия, а также объекты гражданского и оборонного назначения, использующие радиоактивные материалы. Хранение образующихся отходов в отвалах и спецзахоронениях создает серьезные экологические проблемы для нормальной жизнедеятельности, особенно в Арктических регионах. Разработанные авторами инновационные технологии переработки техногенных отходов ОАО «Апатит» с получением новых эффективных сорбционных материалов способны внести ощутимый вклад в решение вопросов, связанных с очисткой стоков от токсичных и радиоактивных веществ не только в арктической зоне России, но и в других регионах страны.

### Ключевые слова:

*экологические проблемы, обезвреживание радиоактивных и токсичных отходов, сточные воды, сорбция, титановые сорбенты, технологическая схема.*



Вопросы утилизации отходов обогащения и переработки минерального сырья актуальны во всем мире. Растущий объем добычи и переработки минерального сырья приводит к увеличению отходов, порождает экологические проблемы, особенно серьезные для северных регионов. Целесообразность вовлечения

отходов производства в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья доказана многолетней практикой многих стран. Например, в сырьевом балансе США и Японии доля отходов доходит до 26%, в экономически развитых странах этот показатель колеблется в пределах 16–20%, а в современной России не превышает 10%. Изложенное обосновывает необходимость проведения интенсивных исследований с целью разработки новых инновационных технологий переработки отходов с получением продукции, имеющей спрос на российском и зарубежном рынке.

Мурманская область – один из регионов России, где интенсивно функционируют несколько горнопромышленных гигантов, производя минеральную и синтетическую продукцию и сбрасывая в отвалы огромное количество отходов. Так, одно из крупнейших предприятий области ОАО «Апатит» ежегодно пополняет свои хвостохранилища, в которых скопилось до 1 млрд т отходов, новыми порциями в десятки млн т. При этом в составе сбросов сосредоточены такие ценные минеральные компоненты, как нефелин, сфен (титанит), титаномагнетит [1, 2]. В частности, сфеновый концентрат – едва ли не единственное в России титановое сырье, которое без значительных капитальных вложений можно получать из техногенных отходов обогащения апатит-нефелиновых руд. Однако низкое содержание в нем титана (~30 % в пересчете на  $TiO_2$ ) не позволяет организовать на его основе рентабельное производство наиболее широко используемого во многих отраслях промышленности продукта в виде пигментного диоксида титана. Перерабатывать сфен с получением другой малотоннажной, но дефицитной и дорогостоящей титансодержащей продукции, потребление которой в последние годы значительно выросло, а производство ее в России отсутствует, может быть экономически и экологически выгодным, а также не требует разработки новых месторождений.

С этой точки зрения интерес представляют такие материалы, как титансодержащие сорбенты: титанофосфатосиликат (далее титанофосфат) – ТФС [3–8], гидроксид титана – ГТ [9], титаносиликат каркасной структуры – ТС [10], использование которых позволит решать серьезные экологические проблемы, связанные с очисткой стоков от токсичных и радиоактивных веществ, образующихся при эксплуатации горно-обогатительных, химических предприятий и спецобъектов военной и гражданской сфер деятельности как в арктической зоне России, так и в других регионах страны.

Важность организации производства таких сорбционных материалов в регионе продиктована неблагоприятной экологической обстановкой, связанной с накоплением жидких радиоактивных отходов (ЖРО), а также низкой степенью очистки сточных вод горно-перерабатывающих предприятий. В России практически отсутствует промышленное производство неорганических сорбентов, хотя они имеют определенные преимущества по сравнению с традиционными материалами – органическими смолами. В частности, они обладают высокой обменной емкостью, более устойчивы к химическому и радиационному воздействию, хорошо совмещаются с матрицами, используемыми при подготовке сорбента для захоронения. Положительный момент еще и в том, что такие сорбенты значительно дешевле многих известных сорбентов, используемых для этих целей.

Основные источники образования радиоактивных отходов (РАО) в области – атомный подводный и ледокольный флот, а также Кольская АЭС. С началом массовой утилизации атомных подводных лодок (1999 г) количество РАО резко возросло. По данным Росатома, на сегодняшний день на Северном флоте накоплено более 10 тыс. м<sup>3</sup> ЖРО, из них 73 % составляют низкоактивные отходы (НАО). К ним относятся контурные воды судовых атомных реакторов, дезактивационные и промывные воды, образующиеся при санобработке спецодежды. При эксплуатации одной ядерной энергетической установки образуется 30 м<sup>3</sup> ЖРО/год при суммарной активности 0.15 Ки [11]. Постановлением Росатома с 2007 г запрещается сброс НАО в открытые водоемы, наиболее перспективный вариант их утилизации – ионообменная сорбция, позволяющая реально сократить объемы ЖРО до тысячи раз.

Основное количество ЖРО Северного морского флота сосредоточено в хранилищах губы Андреевой и Гремихи. В Андреевой губе накоплено 2.5 тыс. м<sup>3</sup>, в Гремихе – 2 тыс. м<sup>3</sup> ЖРО. Все хранилища находятся в крайне неудовлетворительном состоянии, во избежание аварийных ситуаций требуется скорейшая переработка отходов. На сегодняшний день в области действуют несколько установок по переработке ЖРО, но их мощности недостаточны. Единственная действующая станция по переработке ЖРО ледокольного флота – ремонтно-технологическое предприятие Атомфлот – имеет производительность 1 тыс. м<sup>3</sup>/год. Накопленные ЖРО содержат радионуклиды <sup>54</sup>Mn и <sup>60</sup>Co, поступающие из продуктов коррозии оборудования, а также <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr и продукты их деления.

На основании обширных физико-химических и технологических исследований разработан и научно обоснован новый вариант серноокислотной технологии сфенового концентрата, обеспечивающий получение сорбентов заданного состава, пригодных для очистки жидких стоков различной степени загрязнения радиоактивными и токсичными элементами. Принципиальная технологическая схема получения сорбентов представлена на рис. 1. Инновационный характер разработки подтвержден 8 патентами РФ [2–9] и неоднократно отмечался наградами на российских и зарубежных выставках.



Рис. 1. Принципиальная технологическая схема сернокислотной переработки сфена с получением титаносодержащих сорбентов

Основное преимущество разработанной технологии заключается в том, что за одну технологическую операцию получается титаносодержащий прекурсор, обеспечивающий возможность переориентации на выпуск любого из указанных на рис. 1 видов продукции.

Эта технология прошла стадию укрупненных и опытно-промышленных испытаний, представительные партии сорбентов протестированы в специализированных организациях и на предприятиях – потенциальных потребителях, достигнуты высокие эксплуатационные свойства. Внешний вид сорбента ТФС приведен на рис. 2.

Исследования полученных ТФС показали, что для низко-среднеактивных отходов с удельной активностью порядка  $1 \text{ МБк} \cdot \text{дм}^{-3}$  молярная концентрация собственно ионов-загрязнителей (радионуклиды  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) не превышает  $5 \cdot 10^{-15} \text{ М}$ , они являются наиболее перспективным сорбентом (фосфорнокислотный катионит).

Установлено, что гранулированный ТФС без существенных изменений может длительное время (до 1 года) использоваться в контакте со слабощелочными или слабокислыми водными средами. Селективность такого сорбента обусловлена способностью ионогенных групп образовывать достаточно прочные комплексные соединения с подлежащими извлечению ионами, что приводит к изменению их формы существования с катионной на молекулярную.



Рис. 2. Гранулы ТФС сорбента. Гранулы – 3–10 мм

Опытно-промышленные испытания сорбента на ФГУП «Атомфлот» показали перспективность его использования при очистке растворов с низким солесодержанием (2–5г/л) от радиоизотопов стронция и цезия (табл. 1).

Таблица 1

Очистка реальных жидких радиоактивных отходов с помощью титанофосфатосиликата

Показатель	Вода перед очисткой	Вода после очистки (дезактивации)
рН	6.7	–
Солесодержание, г/л	1.8	–
Co <sup>60</sup> , Ки/л	$1.7 \cdot 10^{-7}$	н/о
Cs <sup>137</sup> , Ки/л	$1.8 \cdot 10^{-6}$	$2.2 \cdot 10^{-10}$
Sr <sup>90</sup> , Ки/л	$5.1 \cdot 10^{-6}$	$5.0 \cdot 10^{-10}$

Согласно полученным данным, характеристики очищенной воды удовлетворяют допустимым санитарным нормам на сброс воды. Суммарная активность на титанофосфатном сорбенте после очистки 174 м<sup>3</sup> ЖРО составляла  $9.23 \cdot 10^{-3}$  Ки, удельная активность –  $2.31 \cdot 10^{-5}$  Ки/л.

Была проверена возможность использования титанофосфатного сорбента при очистке сбросных вод спецпрачечной и дезактивирующих растворов. Отличительная особенность данных растворов состоит в присутствии псевдоколлоидных и коллоидных систем, что вызывает определенные трудности при утилизации ЖРО. Ни один из традиционно применяемых на предприятии сорбентов не очищает ЖРО такого сложного состава. Применение ТФС позволило за одну ступень снизить содержание <sup>90</sup>Sr для дезактивирующих растворов в 100 раз, для вод спецпрачечной в 200 раз.

Также ТФС можно успешно использовать при очистке стоков промывных вод гальванических производств. В области работают судоремонтные заводы («Севморпуть», СРЗ-10, СРЗ-35), в результате деятельности которых образуются промывные стоки, содержащие железо, никель и хром, причем концентрация металлов в стоках достигает 20 мг/л по отдельным элементам. Предварительные исследования показали, что ТФС успешно сорбирует цветные металлы из нейтральных и слабощелочных растворов, при этом емкость сорбента по вышеназванным элементам составляет 60–100 мг/г.

Предприятия цветной металлургии, имеющие гидрометаллургические и электрохимические производства, служат источниками жидких стоков, содержащих

значительное количество тяжелых цветных металлов. Вредные химические элементы, попадая в водоемы, ухудшают их санитарное состояние и вызывают необходимость специальной очистки воды перед ее дальнейшим использованием. Традиционные методы очистки воды, такие как осаждение, отстаивание, коагуляция, флотация, не позволяют снизить концентрацию ионов тяжелых металлов до ПДК. Для достижения глубокой степени очистки требуется ввести в комплексную технологическую схему водоподготовки стадии сорбционной доочистки [12–15]. Как правило, такая стадия реализуется на заключительном этапе технологического процесса очистки сточных вод, позволяя добиться нормативных показателей без внесения дополнительного количества реагентов. Однако сорбционная доочистка стоков может быть экономически выгодна лишь при условии использования недорогого и эффективного сорбента, например, ТФС. Такой сорбент способен извлекать ионы металлов из систем с концентрацией  $10^2$ – $10^3$  мг/л, что гарантирует глубокую очистку воды (табл. 2).

Таблица 2

Очистка на установке, укомплектованной фильтром тонкой очистки  
(фильтр-гарантёр с ТФС сорбентом)

Компоненты исходного раствора	Содержание компонентов в исх. растворе перед очисткой, мг/л	Содержание на входе в фильтр-гарантёр (с ТФС сорбентом), мг/л	на выходе из фильтра-гарантёра, мг/л
рН	6.5–8.5	6.36	6.36
натрий	30–50	0.1	<0.001
кальций	30–50	0.1	<0.001
магний	5–10	0.1	<0.001
нефтепродукты	0.36–0.89	<0.01	<0.002
фосфаты	6.0–12.0	<0.02	<0.02
медь	0.02–1.2	<0.005	<0.002
кадмий	5.0–10.0	0.01	<0.002
марганец	1.5–5.5	0.004	<0.002
железо	0.39–0.50	0.032	<0.005
никель	2.5–7.5	0.021	<0.005
цинк	5.0–20.0	0.02	<0.005

Испытания гранулированного ТФС-сорбента на лабораторной установке (рис. 3) показали, что при пропускании более 2 тыс. м<sup>3</sup> очищаемой воды через сорбционную колонку не отмечено снижения эффективности ее очистки и производительности, это свидетельствует о его высокой сорбционной ёмкости и механической прочности.

Хорошо работает ТФС и при обезжелезивании воды. Согласно принятым санитарным нормам, содержание общего железа в водопроводной воде не должно превышать 0.3 мг/л, но реально концентрация этого элемента превышает норму в 5–10 раз, и проблема обезжелезивания воды стоит очень остро во многих регионах страны. По результатам испытаний, использование фосфата титана в качестве предфильтра очистки водопроводной воды позволяет снизить концентрацию железа до требуемых норм ПДК и коэффициент очистки составляет  $10^5$ .

Потребителем ТФС могут стать предприятия, имеющие стоки цветных металлов. Комбинат «Североникель» – одно из крупнейших предприятий в России, перерабатывающее медно-никелевое сырье. Большие объемы производства сопряжены с образованием значительного количества производственных стоков, содержащих до 70 мг/л никеля и меди. Химическая очистка стоков методом известкования позволяет снизить концентрацию никеля до 0.2 мг/л, а меди до 0.04 мг/л. Однако и в этом случае содержание тяжелых металлов в стоке в несколько раз превышает ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. При дополнительном оснащении очистных сооружений сорбционными фильтрами качество сточной воды удаётся



повысить до природного уровня или более высокого, соответствующего качеству подготовленной воды. В первом случае вода может быть сброшена в водоем, во втором – повторно употреблена для хозяйственных целей. Эта общепризнанная перспективная схема водоснабжения наиболее полно отвечает требованиям рационального использования и охраны водных ресурсов.

Установка непрерывного ионного обмена

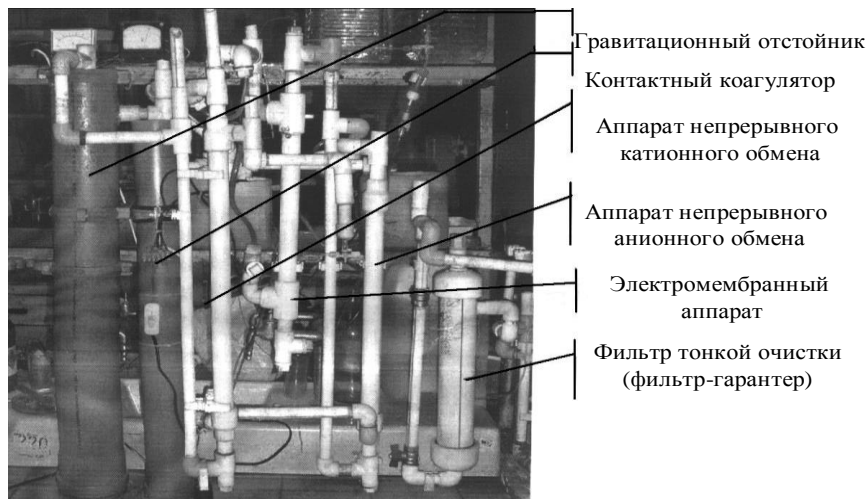


Рис. 3. Схема очистки с использованием фильтра-гарантера с ТФС

Анализ результатов, полученных при очистке ЖРО с помощью ТФС для сточных вод промышленных предприятий, а также хозяйственной воды, свидетельствует о перспективности организации производства этого дешевого и эффективного сорбента.

Интерес представляют и другие сорбенты на основе титана(IV) – ГТ и ТС каркасной структуры. С целью оптимизации условий технологических операций получения новых сорбентов, обеспечивающих их высокие эксплуатационные свойства, нами проводятся широкие исследования разрабатываемых схем и свойств конечных продуктов. Так, при получении сферогранулированного ГТ (рис. 4), обладающего ионообменными свойствами, использовался устойчивый коллоидный раствор Ti(IV), синтезированный золь-гель методом из растворов титановых солей –  $TiOSO_4 \cdot H_2O$  (COT) и  $(NH_4)_2TiO(SO_4)_2 \cdot H_2O$  (ACOT).

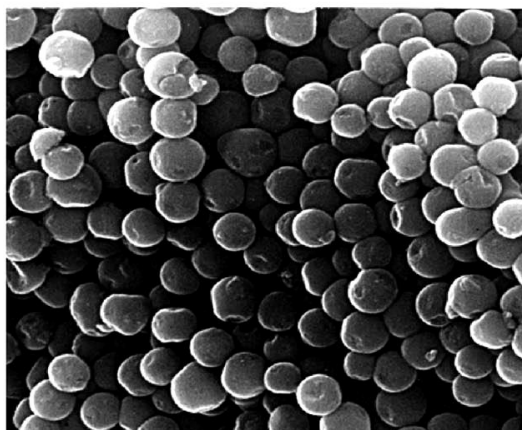


Рис. 4. ГТ-сорбент. Диаметр гранул 1–2 мм

Установлена взаимосвязь между составом используемого прекурсора (содержание коллоидного Ti(IV) изменялось от 50 до 80%) и количеством терминальных и мостиковых групп ОН групп в ГТ. Показано, что с повышением коллоидной части в золе уменьшается общее

количество  $\text{OH}^-$  групп в конечном продукте в результате образования высокомолекулярных оксокомплексов, формирующих коллоидные частицы посредством  $\text{Ti-O-Ti}$  связей. Повышение концентрации титана(IV) в исходном растворе ведет к увеличению количества  $\text{OH}^-$  групп за счет роста терминальных гидроксильных групп при осаждении из растворов ACOT и мостиковых  $\text{OH}^-$  групп при использовании растворов COT (рис. 5). Этот факт обусловлен присутствием аммонийного иона в золе, который препятствует образованию мостиковых связей.

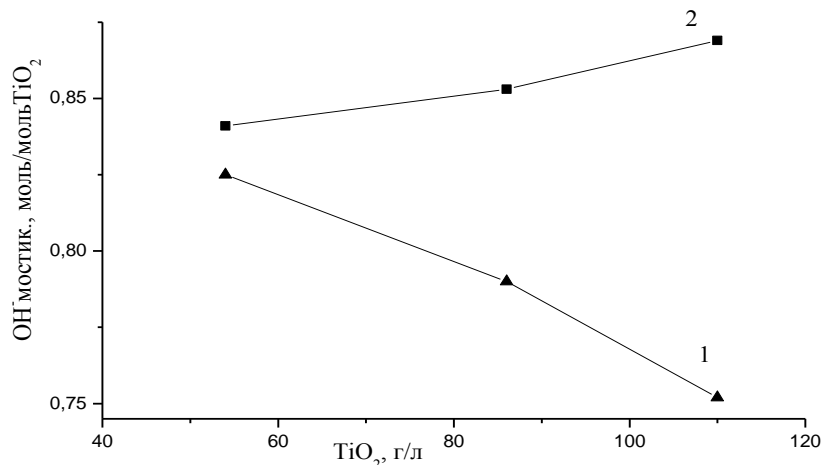


Рис. 5. Изменение содержания мостиковых  $\text{OH}^-$  групп в ГТ от концентрации титана (IV) в исходном растворе: 1 – ACOT, 2 – COT

Зависимость между природой  $\text{OH}^-$  групп и сорбционными свойствами ГТ представлена в виде диаграмм (рис. 6).

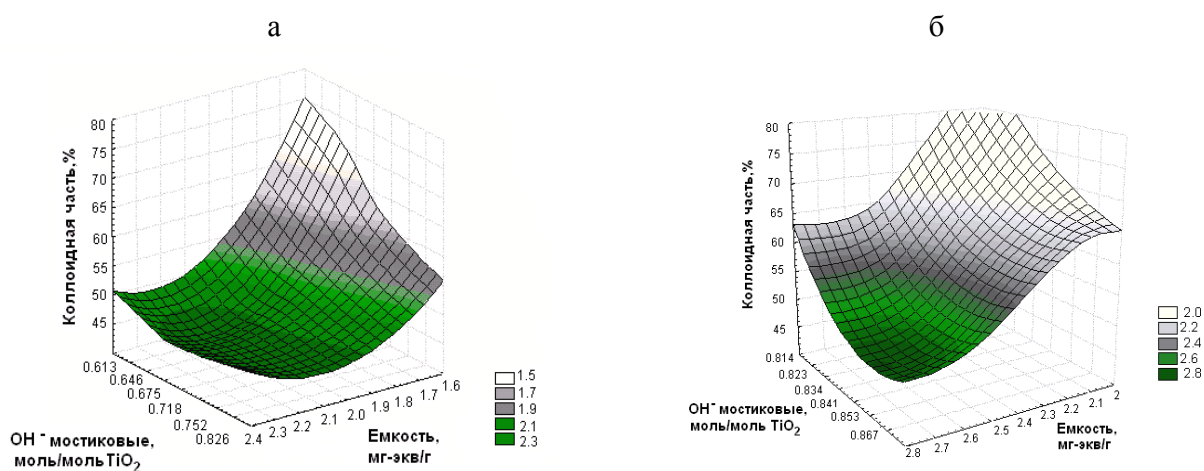


Рис. 6. Влияние содержания мостиковых  $\text{OH}^-$  групп в золе на сорбционную емкость ГТ (по Sr), полученного с использованием ACOT (а) и COT (б)

В лабораторных условиях синтезированы представительные партии ГТ, которые были испытаны в сорбционных процессах с использованием различных загрязненных объектов. Результаты исследований показали, что ГТ эффективно извлекает из водных растворов катионы тяжелых и цветных металлов. Это свойство материала делает его перспективным в технологиях водоочистки и водоподготовки. В качестве объекта сравнения выбран промышленный слабокислотный катионит Purolite C104, широко используемый для умягчения воды и селективного извлечения катионов переходных металлов из водных сред. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

## Очистка воды с помощью ГТ

Состав воды	Исходная концентрация металлов, мг/л	Концентрация металла в фильтрате после пропускания 0.5 м <sup>3</sup> р-ра, мг/л	
		«Purolite» С-104	ГТ
Жесткость общая, мэкв/дм <sup>3</sup>	8	5,2	2,8
Ca	100	64	4
Pb	0.3	4.37	нпо*
Mn	0.08	1.8721	нпо
Cu	0.7	0.3418	нпо
Ni	0.4	0.0677	0.0021
Fe	1.4	НПО	НПО
Zn	1.1	0.5911	0.0452
Cr	0.1	НПО	НПО

*Примечание:* нпо – ниже предела обнаружения.

ГТ обладает повышенной емкостью (по сравнению с С-104) по отношению к катионам поливалентных металлов и селективностью к катионам жесткости. Это позволяет использовать ГТ как фильтрующий элемент систем очистки жидких техногенных отходов, в том числе и радиоактивных, в качестве компонента нормализации их макрохимического состава перед проведением стадии глубокой дезактивации, увеличивая тем самым эффективность использования других селективных сорбентов.

Модифицированный группами ГТ  $\text{HCO}_3^-$  показывает высокую сорбционную способность по отношению к катионам редкоземельных элементов (РЗЭ). Испытания такого сорбента проведены при извлечении РЗЭ из сернокислых технологических растворов выщелачивания фосфогипса, образующегося при переработке хибинских апатитов (состав, г/л:  $\Sigma\text{РЗЭ} - 0.77$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5 - 0.4$ ,  $\text{F} - 0.18$ ,  $\text{pH} - 1.38$ ). Основными макропримесями растворов выщелачивания фосфогипса являются катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Si}^{4+}$ , их концентрация составляет 5–50 г/л. Элементный анализ растворов после сорбции показал, что извлечение элементов легкой группы составило 60–70%, тяжелой – 70–75% (табл. 4). Емкость модифицированного ГТ по сумме РЗЭ равнялась 112.6 мг/г, что близко к значениям емкости, полученной при использовании промышленного катионита КУ-2. Катионы натрия, алюминия и кремния практически не сорбируются в данных условиях, сорбция кальция и стронция составляет порядка 50%, ионов железа – 70%.

Полученные данные позволяют прогнозировать перспективность использования модифицированного ГТ для концентрирования РЗЭ.

Другая цель проводимых исследований состоит в расширении номенклатуры конечных сорбентов, в том числе получении продуктов с улучшенными технологическими характеристиками. Среди подобных сорбентов особое место занимают титаносиликаты каркасной структуры. Химия и синтез ТС с каждым годом привлекает всё большее внимание ученых передовых исследовательских центров многих стран мира. Такого рода материалы обладают высокой термической, химической и радиационной стабильностью, устойчивы к окислению, имеют структурную эластичность, поэтому в настоящее время это одни из перспективных материалов для решения задач радиохимии, катализа, проблем очистки сточных вод, а также поиска новых возобновляемых носителей ионов  $\text{Li}^+$  для целей электрохимии.

## Сорбция РЗЭ из растворов выщелачивания фосфогипса

элемент	концентрация в растворе, мг/л		элемент	концентрация в растворе, мг/л	
	исходный	после сорбции		исходный	после сорбции
La	198	26.97	Dy	2.87	0.15
Ce	223	22.05	Ho	0.46	0.026
Pr	17.68	1.38	Er	0.95	0.052
Nd	41.13	3.72	Tm	0.1	0.003
Sm	4.3	0.21	Yb	0.42	0.013
Y	9.64	0.72	Lu	0.04	0.001
Gd	5.61	0.35	Eu	1.27	0.063
Tb	0.69	0.036			

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что при синтезе титаносиликатов, во-первых, используются чистые и в связи с этим дорогие реагенты. Например, в качестве титаносодержащего прекурсора чаще всего берут растворы хлоридов титана с валентностью 3 или 4. А во-вторых, регулируют гидротермальный процесс добавкой органических соединений, что усложняет утилизацию отходов синтеза. Цель наших исследований заключалась в расширении ассортимента пригодных для синтеза реагентов, включая технические материалы, и упрощении процесса за счет исключения использования органических веществ.

Достигнутые на данный момент результаты лабораторных и укрупненных исследований показали возможность реализации поставленной цели. Получен ряд уже известных и новых минералоподобных титаносиликатов, интенсивно изучаются их свойства для определения областей использования.

### Заключение

Технология получения и переработки сфенового концентрата с выработкой титаносодержащих соединений, в том числе сорбентов, проверена с нашим участием в укрупненном и в опытно-промышленном масштабе на ОАО «Апатит». На основе этих результатов принято решение о проектировании производства. Однако в связи с происходящими в настоящее время преобразованиями предприятие старается уйти от создания непрофильных для него инновационных производств малой мощности, поскольку это связано с дополнительными рисками. Производства малотоннажных титановых продуктов как функциональных материалов можно создать с использованием структуры Кольского химико-технологического кластера (КХТК), идея создания которого разработана в Кольском научном центре РАН и поддержана в 2011 г. как правительством Мурманской обл., так и профильными министерствами РФ (Минрегионов, Минпромторгом, Минприроды, Минфином). Возможности дефицитного бюджета Мурманской области для введения в эксплуатацию КХТК крайне недостаточны. Требуется поддержка центральных властей в упрощении создания государственно-частных предприятий, которые могут и должны стать основой реализации инновационных технологий производства импортозамещающих стратегических материалов, к числу которых относятся и рассматриваемые титаносодержащие сорбенты.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Брыляков Ю.Е., Васильева Н.Я., Петровский А.А.* Перспективы комплексного использования апатит-нефелиновых руд // Горный журнал. 1999. №9. С.42–45.
2. *Технология комплексного обогащения апатит-нефелиновых руд / Ю.В. Плещаков, А.И. Алексеев, Ю.Е. Брыляков [и др.] // Обогащение руд. 2004. №2. С.15–17.*
3. Пат. 2207980 РФ, МПК<sup>7</sup> С 01 G 23/00, С 22 В 3/08. Способ переработки титаносодержащего концентрата / Л.Г. Герасимова, М.В. Маслова, В.А. Матвеев [и др.]; Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кол. науч.центра РАН. №2001133656/12; Заявл. 10.12.2001; Опубл. 10.07.2003, Бюл. №19.
4. Пат. 2228907 РФ, МПК<sup>7</sup> С 01 G 23/00. Способ переработки сфенового концентрата / М.В. Маслова, Л.Г. Герасимова, Р.Ф. Охрименко [и др.]; Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кол. науч.центра РАН. №2002128972/15; Заявл. 29.10.2002; Опубл. 20.05.2004, Бюл. №14.
5. Пат. 2235685 РФ, МПК<sup>7</sup> С 01 G 23/00, С 22 В 3/06. Способ переработки сфенового концентрата / Л.Г. Герасимова, М.В. Маслова, В.А. Матвеев; Ин-т химии и

технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН. №2003114799/15; Заявл. 19.05.2003; Оpubл. 10.09.2004, Бюл. №25.  
6. Пат. 2323881 РФ, МПК С 01 G 23/00, С 22 В 3/08 (2006/01). №2006123304/15; Заявл. 29.06.2006г.; Оpubл. 10.05.2008, Бюл. №13. Способ переработки сфенового концентрата / Л.Г. Герасимова, М.В. Маслова, А.И. Николаев [и др.]; 7. Пат. №2367605 РФ, МПК С01G 23/00, С22В 3/08 (2006/01) Заявл. 31.03.2008, №2008112356. Оpubл. 20.09.2009 Бюл. №26. Способ переработки титансодержащего концентрата / Л.Г. Герасимова, М.В. Маслова, В.Т. Калинин [и др.]. 8. Пат. 2394768 РФ, МПК С01G 23/00, С09С 1/00, С22В 3/08. заявл. 11.01.09. №2009100535/15. Оpubл. 20.07.2010. Бюл. №20. Герасимова Л.Г., Маслова М.В., Николаев А.И. Способ переработки сфенового концентрата. 9. Пат. №2445270 по заявке 2010144575 от 29.10.2010 Способ получения титансодержащего продукта / Л.Г. Герасимова, М.В. Маслова, Н.В. Мотина [и др.]. Оpubл. 20.03.2012. 10. Пат. №2467953 по заявке №2011127614 от 05.07.2011. Способ переработки титансодержащего концентрата / Л.Г. Герасимова, А.И. Николаев, М.В. Маслова [и др.]. Оpubл. 27.11.2012 Бюл. №33. 11. Атомная Арктика: проблемы и решения / Н. Бермен, А. Никитин, И. Кудрик. СПб.: Изд-во Bellona Foundation. 2001. 11с. 12. Blocher C., Dorda J., Mayrov V. Hybrid flotation-membrane filtration process for the removal of heavy metal ions from wastewater // Water Res. 2003. 37(16). 4018–4026. 13. Selective removal of the heavy metal ions from water and industrial wastewaters by ion-exchange method / A. Dabrowski, Z. Hubicki, P. Podkoscielny [и др.] // Chemosphere. 2004. 56. P. 91–106. 14. Lee B.G., Lee H.J., Shin D.Y. Effect of solvent extraction on removal of heavy metal ions using lignocellulosic fiber // Mater. Sci. Forum. 2005. 486–487, 574–577. 15. Wilkins E., Yang Q. Comparison of the heavy metal removal efficiency of biosorbents and granular activated carbons // J. Environ. Sci Health A. 1996. 31, 2111–2118.

#### Сведения об авторах

*Николаев Анатолий Иванович* – д.т.н., зав. лабораторией химии и технологии сырья тугоплавких редких элементов, зам. директора по научной работе ИХТРЭМС КНЦ РАН, научный руководитель отдела исследований природных и синтетических нано- и микропористых веществ КНЦ РАН; e-mail: nikol\_ai@chemy.kolasc.net.ru

*Герасимова Лидия Георгиевна* – д.т.н., заведующий сектором ИХТРЭМС КНЦ РАН; e-mail: office@chemy.kolasc.net.ru

*Маслова Марина Валентиновна* – к.т.н., старший научный сотрудник ИХТРЭМС КНЦ РАН; e-mail: office@chemy.kolasc.net.ru

## ИЗМЕНЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ И СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

Демин В.И.<sup>1</sup>, Священников П.Н.<sup>2,3</sup>, Иванов Б.В.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Полярный геофизический институт КНЦ РАН

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>3</sup> Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

### Аннотация

Рассмотрены изменения температуры воздуха на Кольском п-ове внутри однородных макроциркуляционных групп E, W, C (по классификации Г.Я. Вангенгейма). Обнаружено, что потепление наблюдается во все сезоны при всех трех группах макропроцессов, что можно рассматривать как аргумент в пользу присутствия иных механизмов современного потепления в регионе, кроме изменений крупномасштабной циркуляции атмосферы.

### Ключевые слова

циркуляция атмосферы, климат Арктики, изменение климата, Мурманская область.



### Введение

Вторая половина XX в. и начало XXI в. характеризуются заметным потеплением на Кольском п-ове [1–2]. Согласно [3], среднегодовая температура воздуха ( $t_{сг}$ ) в г. Мурманске для периода 1881–1960 гг. составляла 0 °С. Для базового периода 1961–1990 гг., используемого при описании современного климата,  $t_{сг}$  –

также около 0 °С. С 1991 по 2013 гг.  $t_{сг}$  повысилась до 1 °С, а за десятилетие 2004–2013 гг. она оказалась равной 1.4 °С.

Повышение температуры в регионе наиболее заметно в зимние месяцы (особенно декабрь – январь), однако также фиксируется и в другие сезоны (рис. 1). При этом потепление нельзя списать на положение метеорологических станций внутри населенных пунктов. Интенсивность антропогенного «острова тепла» пропорциональна числу жителей [4, 5]. Наблюдаемое же потепление охватывает весь регион и практически не зависит от плотности населения и характера хозяйственной деятельности в окрестностях метеорологической площадки [1, 2].

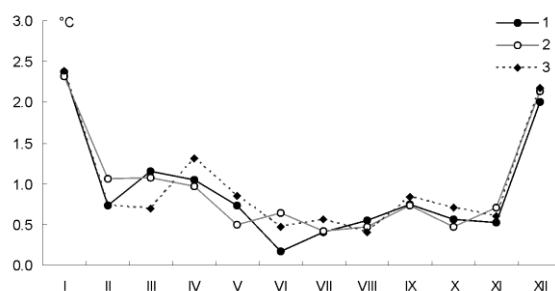


Рис. 1. Изменение среднемесячных температур, рассчитанных для периодов 1991-2013 и 1961-1990 гг. в городах Мурманск (население более 300 тыс. чел. (1), Кандалакша (34 тыс. чел. (2) и в селе Краснощелье (около 400 чел. (3)). Ряды климатически однородные. По оси ординат – изменение температур, по оси абсцисс – месяцы (I, II, III, ..., XI, XII)

Возможная причина изменения климата в регионе – перемены в крупномасштабной циркуляции атмосферы, которые могли привести к более высокой повторяемости выхода

на регион более теплых воздушных масс (и/или уменьшения холодных вторжений) при общем сохранении их термодинамических свойств. Основанием для такого предположения может служить существование в циркуляционном режиме атмосферы длительных периодов (от 10 лет и более) с аномальным развитием тех или иных динамических процессов. Изменения форм циркуляции *W*, *C* и *E* по классификации Г.Я. Вангенгейма [6, 7], демонстрирующие реальность так называемых циркуляционных эпох, представлены на рис. 2.

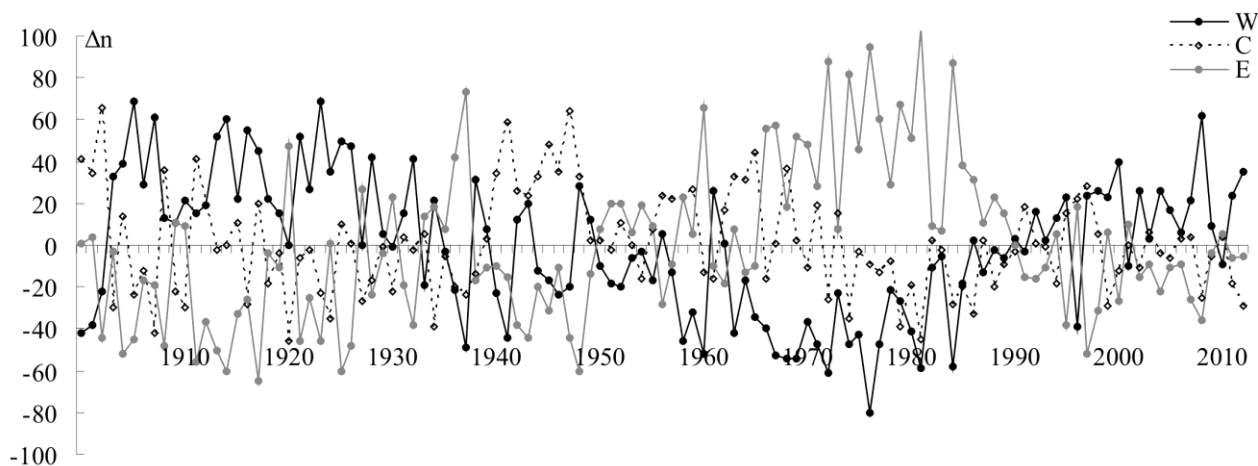


Рис. 2. Отклонения числа дней в году ( $\Delta n$ ) с формами циркуляции *W*, *C*, *E* (по классификации Г.Я. Вангенгейма) от их средних многолетних значений за период 1900–2013 гг.

Каждой форме циркуляции соответствует определенная структура планетарных волн в тропосфере: форме *W* – зональный перенос, а при формах *C* и *E* появляются гребни и ложбины большой амплитуды, но разной географической локализации. Эти особенности термобарического поля в тропосфере определяют траектории движения барических образований и воздушных масс [6]. Соответственно, установление в циркуляционном режиме долговременного периода с аномальным (по сравнению с многолетней нормой) развитием той или иной формы циркуляции может привести к соответствующим аномалиям в поле температуры [6–10].

Обращает на себя внимание, что принятые в настоящее время климатические нормы, относительно которых оцениваются современные изменения климата, были рассчитаны по периоду 1961–1990 гг., который пришелся на аномальное развитие макропроцессов формы *E* (рис. 2). В то же время последние два десятилетия характеризуются снижением частоты макропроцессов формы *E* и увеличением макропроцессов формы *W*. Температурный режим на Кольском п-ове при данных формах макропроцессов различный, что уже само по себе способно было вызвать появление тренда.

Так, при западной форме циркуляции (*W*) циклоническая деятельность развивается в средних широтах. Вдоль этих широт с запада на восток перемешаются циклоны и гребни. На Кольском п-ове в этот момент наблюдается преимущественно неустойчивая погода, прохладная летом и осенью [11]. Зимой и весной преобладание западного типа циркуляции, если он проявляется в чистом виде, вызывает положительную аномалию температуры в регионе. Однако, если при западной форме циркуляции эпизодически происходят вторжения воздушных масс из Арктики, то на Кольском п-ове формируется значительная отрицательная аномалия температуры.

При меридиональных процессах формы *C* исландский минимум ослабевает или совсем исчезает, и давление в Арктике растет. Над Кольским п-овом устанавливается северный, северо-восточный, а иногда и восточный перенос холодных арктических масс, что и обуславливает возникновение отрицательной аномалии [11].

При восточной форме циркуляции *E* за счет углубления исландского минимума и антициклогенеза над Европейской территорией России и западной Сибирью усиливается поток

теплого воздуха с юго-запада на северо-восток, что вызывает значительное потепление на Кольском п-ове во всех сезонах. Похолодание возможно только в холодное полугодие, когда сибирский антициклон значительно распространяется на запад и северо-запад зимой или восточная циркуляция перебивается меридиональной  $C$  [11].

На рис. 3 представлены среднемесячные значения температуры воздуха в г. Мурманске при различных формах циркуляции в течение 1949–2013 гг. Возрастание частоты процессов формы  $E$  приводит к росту температуры воздуха, особенно заметному в летнее время, а увеличение повторяемости процессов  $W$  или  $C$  – к понижению.

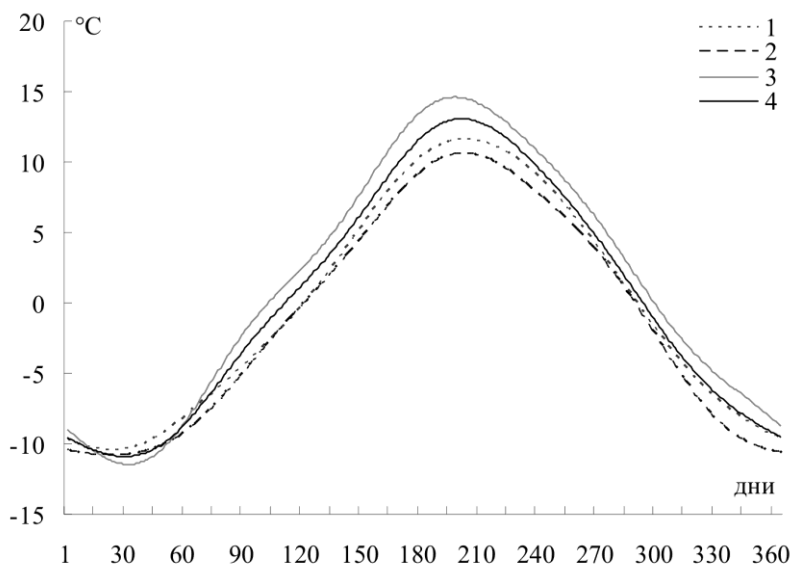


Рис. 3. Годовой ход среднесуточной температуры воздуха в г. Мурманске при макропроцессах форм  $W$  (1),  $C$  (2),  $E$  (3) и по общей выборке (4) за период с 1949 по 2013 гг.

Изложенное показывает, что при изучении долговременных изменений климата в отдельном регионе не достаточно рассмотрения вариаций только температуры воздуха, необходимо также проследивать динамику температуры внутри однородных макроциркуляционных групп. Учет циркуляционного фактора требуется и для регионального уточнения глобальных климатических сценариев, которые должны рассматриваться как фоновые, так как тренд температуры, вызванный сменой режима циркуляции, очевидно, может наложиться на тренд, обусловленный глобальными процессами, усилить или ослабить его.

#### Данные и методы

Существует несколько схем типизации атмосферных макропроцессов (см, например, [6, 9, 14]). В настоящей работе рассматривается типизация Г.Я. Вангенгейма, предусматривающая выделение в Атлантико-Европейском секторе трех форм циркуляции: западная  $W$ , восточная  $E$  и меридиональная  $C$  [7]. Одно из преимуществ выбранной схемы – наличие хорошо выраженных многолетних периодов с аномальным развитием той или иной формы.

Следует отметить, что изучение исключительно формы циркуляции не обеспечивает достаточной однородности: погодный режим в заданном районе может иметь существенные различия при одной и той же форме циркуляции в зависимости от процессов, предшествующих ее возникновению, и стадии преобразования в другие формы [6, 12]. По этой причине температура воздуха в конкретный день зависит не только от типа циркуляции, но и от довольно длительной предыстории наблюдаемого процесса (цепочки преобразований  $W$ ,  $C$ ,  $E$ ). Более того, даже в течение каждой эпохи наблюдается развитие процессов нескольких разновидностей основной формы и отдельных разновидностей других форм, отражающих черты прошедшей



эпохи или «ростки» следующей эпохи [6]. Вместе с тем, увеличение числа рассматриваемых макропроцессов, например, за счет привлечения тихоокеанского сектора ( $Z, M_1, M_2$ ), приведет к возрастанию числа групп с трех до девяти с одновременным сокращением числа случаев в каждой группе, что скажется на надежности статистических оценок на интервале в 20–30 лет. Таким образом, только создавая максимально возможные по числу событий группы, можно в какой-то степени надеяться на «обнуление» предыстории процесса и выделение характеристик, присущих именно данной форме.

В работе использован каталог атмосферных процессов [7, 13], а также ежеквартальные «Обзоры гидрометеорологических процессов в Северном ледовитом океане», подготовленные Арктическим и Антарктическим НИИ.

### Результаты работы и обсуждение

Для периодов 1961–1990 и 1991–2013 гг. были рассчитаны среднесезонные значения температуры для разных форм циркуляции. Выделение сезонов на Кольском п-ове проведено по классификации, предложенной Б.А. Яковлевым [11]: зима (ноябрь–март), весна (апрель–май), лето (июнь–август), осень (сентябрь–октябрь). Изменение сезонных температур по всей выборке и отдельно при разных формах циркуляции показано в таблице.

Таблица

Средние сезонные температуры в г. Мурманске и их изменение при различных формах циркуляции

Форма циркуляции	Сезон	Средняя $t$ °С		Разность $t$ °С
		1961–1990	1991–2013	
W	зима	-9.4	-6.8	2.6
	весна	-0.7	0.8	1.5
	лето	9.3	10.6	1.3
	осень	2.9	3.9	1.0
E	зима	-7.4	-6.8	0.6
	весна	2.2	3.7	1.5
	лето	12.4	12.7	0.3
	осень	5.0	5.8	0.8
C	зима	-9.1	-8.6	0.5
	весна	-0.6	0.5	1.1
	лето	8.4	9.4	1.0
	осень	2.5	3.0	0.5

Как видно из таблицы, в 1961–2013 гг. в регионе одновременно «потеплели» все макропроцессы, независимо от формы циркуляции  $W$ ,  $E$  или  $C$ . Аналогичная ситуация (повышение средней температуры при всех формах циркуляции в 1991–2013 гг. по сравнению с 1961–1990 гг.) наблюдается, например, в горных районах Кольского п-ова (Хибины [15]).

Этот факт показывает, что объяснить современное потепление только изменением циркуляции с более частым (по сравнению с периодом 1961–1990 гг.) поступлением в район Кольского полуострова теплых воздушных масс и/или меньшим поступлением холодных довольно сложно. Скорее всего, имеет место влияние еще какого-либо механизма или механизмов. К такому же выводу можно придти и путем сопоставления наблюдаемых изменений температуры с изменениями частот появления форм циркуляции  $E$ ,  $W$ ,  $C$ .

Так, на Кольском п-ове в теплое полугодие при макропроцессах формы  $E$ , как правило, наблюдается положительная аномалия температуры воздуха. Средняя летняя температура при макропроцессах формы  $E$  в период 1961–1990 гг. в Мурманске составляла 12.4 °С, в то время как при макропроцессах форм  $W$  и  $C$  – 9.3 и 8.4 °С соответственно. Тогда переход от циркуляционной эпохи формы  $E$  к эпохе с формой  $W$ , который произошел с начала 1990-х гг. (рис. 2), очевидно, должен был привести к некоторому снижению летней температуры.

В действительности же летние температуры в период 1991–2013 гг. несколько повысились. Очевидно, уменьшение числа макропроцессов формы *E* было полностью скомпенсировано повышением температуры воздушных масс, поступающих в регион. В этой связи можно даже предположить, что наблюдаемое летнее потепление в регионе даже занижено за счет увеличения в последние два десятилетия числа частоты появления более «холодных» макропроцессов.

### **Заключение**

Принятые в настоящее время климатические нормы, относительно которых принято оценивать современные изменения климата, рассчитаны по периоду 1961–1990 гг., который пришелся на аномальное развитие макропроцессов формы *E* (по классификации Г.Я. Вангенгейма). В то же время последние два 10-летия характеризуются снижением частоты макропроцессов формы *E* и увеличением макропроцессов формы *W*. Показано, что температурный режим на Кольском п-ове при данных формах макропроцессов различный, а значит, учет смены циркуляционных эпох необходимо при диагностике климатических изменений.

В работе рассмотрены изменения температуры воздуха в г. Мурманске с 1961 по 2013 гг. Выявлено, что потепление наблюдается во все сезоны и внутри всех групп однородных макропроцессов, выделенных по классификации Г.Я. Вангенгейма. По этой причине объяснить региональные изменения температуры в последние 10-летия увеличением числа «теплых» и уменьшением числа «холодных» макропроцессов не представляется возможным. Кроме изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы, необходимо предположить присутствие дополнительного механизма(-ов) современного потепления на Кольском п-ове.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Комплексные климатические стратегии для устойчивого развития регионов Российской Арктики в условиях изменения климата (модельный пример Мурманской области). Режим доступа: [http://www.climatechange.ru/files/Murmansk\\_summary\\_sm.pdf](http://www.climatechange.ru/files/Murmansk_summary_sm.pdf)
2. Демин В.И. Основные климатические тенденции на Кольском полуострове за период инструментальных метеорологических наблюдений // Труды Кольского научного центра РАН "Прикладная экология Севера". 2012(9). 2. С. 98–110.
3. Справочник по климату СССР. Вып. 2. Мурманская область. Часть II. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 144 с.
4. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 360 с.
5. Landsberg H.E. The urban climate // International Geophysics Series, Academic Press, New York. 1981. Vol. 28. P. 275.
6. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 488 с.
7. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 280 с.
8. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. / под ред. Б.А. Крутских. СПб.: Гидрометеиздат, 1991 г. 200 с.
9. Куражов В.К., Иванов В.В., Коржигов А.Я. Роль атмосферной циркуляции в формировании долгопериодных колебаний климата Арктики // Тр. ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 33–43.
10. Циркуляционные механизмы современных колебаний климата / под ред. К.В. Кувшинова. М.: Наука, 1987. 192 с.
11. Яковлев Б.А. Климат Мурманской области. Мурманск, 1961. 180 с.
12. Болотинская М.Ш., Иванов В.В. Синоптико-статистические характеристики изменчивости естественных стадий развития макропроцессов различного временного масштаба // Тр. ААНИИ. 1999. Т. 441. С. 6–18.
13. Дмитриев А.А., Беязо В.А. Космос, планетарная изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеиздат, 2006. 360 с.
14. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин; Ин-т географии РАН. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
15. Demin V.I., Chernous P.A., Moroz N.V. Long-term variation of large-scale circulation and its relation to climate changes at the Kola Peninsula // Abstracts of 32th International Conference on Alpine Meteorology, Kranjska Gora, June, 2013. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje, 2013. P. 34.

### **Сведения об авторах**

*Демин Валерий Иванович* – н.с., научный сотрудник Полярного геофизического института КНЦ РАН; e-mail: demin@pgia.ru.

*Священников Павел Николаевич* – зав. кафедрой климатологии СПбГУ, старший научный сотрудник Арктического и антарктического НИИ; e-mail: svyashchennikov@mail.ru.

*Иванов Борис Вячеславович* – зав. лабораторией Арктического и антарктического НИИ, доцент кафедры океанологии СПбГУ; e-mail: b\_ivanov@aari.ru.

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СИСТЕМЫ РЕКИ ПАСВИК В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО И ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**В.А. Даувальтер, Н.А. Кашулин**

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

### Аннотация

Колонки донных отложений (ДО) озерно-речной системы озеро Инари – река Пасвик были отобраны в семи озерах для оценки влияния деятельности горно-металлургического комбината на состояние водной системы. Максимальные концентрации исследованных тяжелых металлов (ТМ) (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, Hg, As) в поверхностных слоях ДО отмечены в оз. Куэтсьярви, принимающем стоки комбината «Печенганикель». Вниз по течению р. Пасвик от места поступления сточных вод наблюдается снижение содержания ТМ в поверхностных слоях ДО, хотя загрязнение остается достаточно высоким. В озерах, загрязняемых только воздушным путем и коммунально-бытовыми сточными водами, в поверхностных слоях ДО не отмечено увеличения содержания ТМ, выбрасываемых в атмосферу в значительных количествах комбинатом «Печенганикель» (Ni, Cu, Co, Zn), но обнаружено значительное увеличение (до 5–10 раз по сравнению с фоновыми содержаниями) концентраций халькофильных элементов (Pb, Cd, Hg и As). Средняя скорость осадконакопления в исследованных озерах оказалась немного больше (1–3 мм/год), чем в среднем для озер северной Фенноскандии (менее 1 мм/год). В некоторых озерах отмечено увеличение содержания фосфора по направлению к поверхности ДО, что может говорить о развитии процессов эвтрофирования.

### Ключевые слова:

*донные отложения, река Пасвик, тяжелые металлы, загрязнение.*



### Введение

Самую большую водную систему в северной части Фенноскандии образуют оз. Инари и р. Пасвик (рис. 1). Ее водосбор расположен на приграничной территории России, Норвегии и Финляндии. Антропогенное влияние на наземные и водные экосистемы вызвано главным образом выбросами ТМ, сернистого газа, пыли, щелочных и щелочноземельных металлов плавильными цехами комбината "Печенганикель", а также хозяйственно-

бытовыми сточными водами населенных пунктов, расположенных на водосборе этой системы.

Озеро Инари – третье по величине озеро в Финляндии. Оно расположено на высоте 119 м над уровнем моря, севернее полярного круга в северной части Лапландии (рис. 1). Его площадь 1040.28 км<sup>2</sup>, глубина – до 92 м, объем – 15.9 км<sup>3</sup>.

Река Пасвик (длина 167 км) вытекает из оз. Инари и впадает в Баренцево море. Площадь водосбора реки – 20 890 км<sup>2</sup>, из которых 69.8% принадлежит Финляндии, 27.2% – России и 5% – Норвегии [1]. Река является пограничной между Россией и Норвегией практически на всем протяжении российско-норвежской границы, за исключением крайней северной ее части (рис. 1). Влияние приливов сказывается на протяжении 4 км выше устья реки до плотины Борисоглебской ГЭС. Река состоит из речных отрезков и озер, общая протяженность озер – 61.7 км. Наибольшие озера – Ваггатем (35 км<sup>2</sup>), Лангватн (10 км<sup>2</sup>), Сванватн (32.5 км<sup>2</sup>) и Бьерневатн (15 км<sup>2</sup>). На реке расположены семь электростанций – Кайтокоски, Янискоски, Раякоски, Хевоскоски, Борисоглебская, Скогфосс и Мелькефосс. Первые пять принадлежат России, последние две – Норвегии. Все водоемы зарегулированы. Регулирование стока оз. Инари и р. Пасвик началось в 1951 г. с максимальной установленной амплитудой 2.36 м. Уровень воды оз. Инари понижается в течение зимы, а летом – повышается. Следовательно, регулирование стока увеличивает поток воды в течение зимы и уменьшает в течение весны и лета [2].

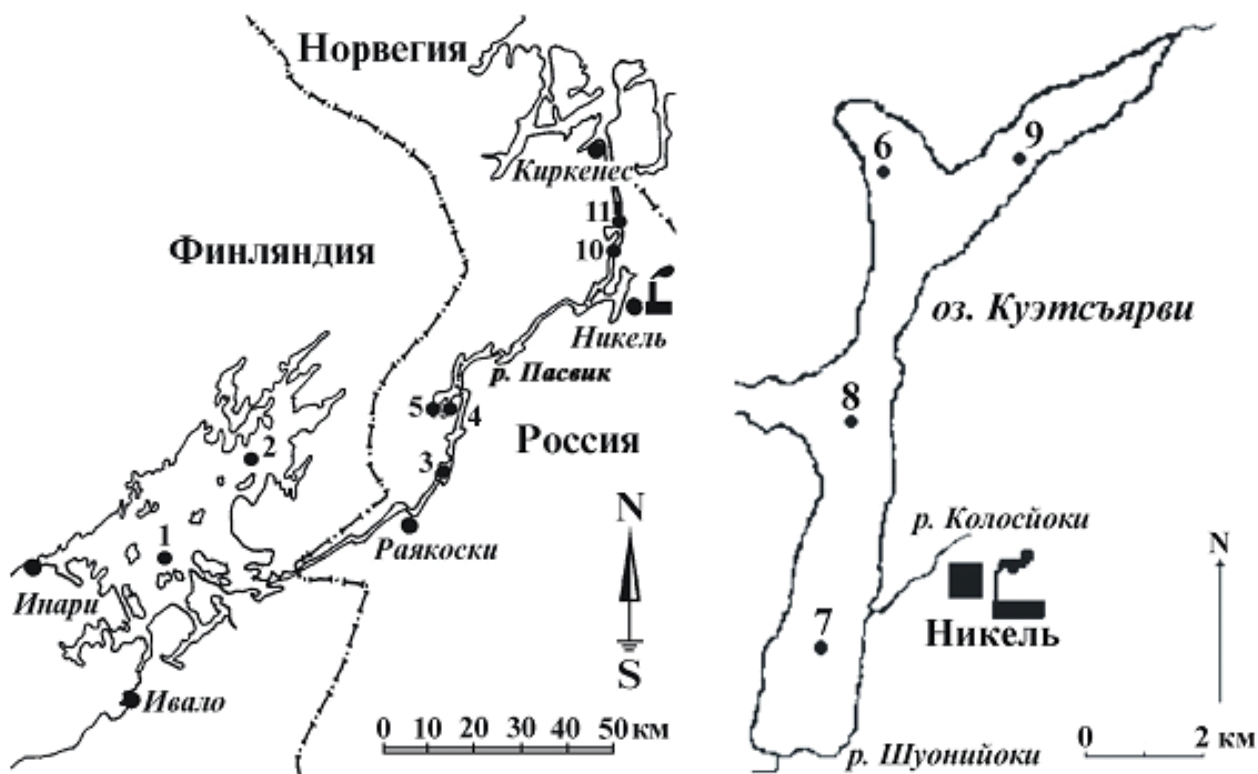


Рис. 1. Схема отбора проб ДО в водной системе р. Пасвик. Номера станций в этом и других рисунках соответствуют порядковым номерам в таблицах 1, 2 и 3.

Озеро Куэтсъярви расположено в 4.5 км ниже выпуска сточных вод комбината "Печенганикель" в р. Колосйоки (рис. 1). Длина озера с юга на север 11.5 км, ширина колеблется от 1 до 2 км, максимальная глубина – 32 м. Площадь водного зеркала 18 км<sup>2</sup>. Самые крупные притоки озера – р. Шуонийоки (50% стока в озеро) и р. Колосйоки (30% стока). Из озера вытекает одна протока, соединяющая его с р. Пасвик. Длина протоки 2.7 км, ширина – до 600 м, расход воды – 7–11 м<sup>3</sup>/сек. Годовой объем стока в оз. Куэтсъярви изменяется от 218 до 350 млн м<sup>3</sup> [3]. На берегу озера расположен довольно крупный промышленный центр – пос. Никель, административный центр Печенгского района Мурманской обл. Вследствие относительно больших размеров оз. Куэтсъярви имеет рекреационное значение. На его берегах размещены базы отдыха предприятий района, летние домики и огороды, лодочные и автомобильные гаражи жителей поселка, которые дополнительно вносят в озеро загрязняющие вещества.

Разработка Печенгских медно-никелевых месторождений начата в 1932 г. канадско-финской компанией (после Октябрьской революции территория нынешнего Печенгского района отошла к Финляндии, а после советско-финской войны 1939–1940 гг. вошла в состав СССР). Комбинат "Печенганикель" функционирует с 1946 г., когда в пос. Никель возобновилась переработка местных сульфидно-никелевых руд. В 1959 г. развернулась добыча руд Ждановского месторождения и их переработка на заводе в г. Заполярный. В состав выбросов комбината входят сернистый газ, Ni, Cu, пыль, а также окислы азота и окись углерода от котельных. Общие закономерности переноса воздуха в пограничном слое атмосферы (до 1500 м) обуславливают преобладающее распространение выбросов медно-никелевых комбинатов на дальние расстояния с запада на восток, т.е. не в направлении сопредельных западных государств [4]. Следовательно, можно предположить, что именно стоки, а не атмосферные выбросы комбината "Печенганикель" оказывают наибольшее влияние на загрязнение акватории р. Пасвик, особенно ниже впадения сточных вод в речную систему.

Для системы р. Пасвик характерны две главные экологические проблемы – загрязнение ТМ и эвтрофирование [1]. Первая проблема связана с выбросами и стоками комбината

«Печенганикель». Вторая вызвана регулированием стока оз. Инари и р. Пасвик, а также поступлением хозяйственно-бытовых стоков населенных пунктов, расположенных на водосборе р. Пасвик.

Металлы поступают в водные объекты с территории водосбора и с атмосферными осадками. Содержание растворенных форм ТМ в воде озер невелико. Они усваиваются гидробионтами и адсорбируются взвешенными частицами, оседающими на дно и образующими ДО озер. Металлы могут также захватываться и непосредственно ДО [5]. Следовательно, ДО, особенно в глубоких частях озер, характеризуют степень загрязнения окружающей среды ТМ.

Цель исследований – оценка степени загрязнения водных объектов системы р. Пасвик с учетом фоновых концентраций ТМ, распределения ТМ в толще и поверхностных слоях ДО.

## Материалы и методы

Содержание и поведение металлов в ДО оз. Инари и р. Пасвик исследовалось в рамках проекта Интеррег ША Коларктик «Развитие и реализация мониторинга окружающей среды и программа оценки в приграничном районе между Финляндией, Норвегией и Россией». Колонки ДО отбирались в период 2002 – 2004 гг. на двух станциях оз. Инари глубиной 15 и 42 м (ст. 1 и 2), на пяти водоемах системы р. Пасвик: Хестефосс (ст. 3, глубина 10.5 м), Рускебукта (ст. 4, 15 м), Ваггатем (ст. 5, 19 м), Бьерневатн (ст. 10, 23 м) Скруккебукта (ст. 11, 37 м) и на четырех станциях оз. Куэтсъярви: ст. 6 – Гольфстрим (23 м), ст. 7 – Колосйоки (12 м), ст. 8 – Салмиярви (10 м), ст. 9 – Белый Камень (32 м) (рис. 1).

Колонки ДО на исследуемых водоемах взяты отборником колонок ДО открытого гравитационного типа (внутренний диаметр – 44 мм) с автоматически закрывающейся диафрагмой. Колонки ДО были разделены на слои по 1 см. Толщина анализируемого слоя ДО – один из важных параметров в силу следующих причин. Достаточно сложно отобрать представительные и подходящие по массе для проведения химических анализов образцы, если используются слои менее 1 см, поскольку поверхностные слои ДО в зонах аккумуляции очень рыхлые и мягкие и характеризуются влажностью более 90%. С другой стороны, концентрации элементов, определенные в более мощных слоях, менее точны и некорректно оценивают состояние загрязнения современных ДО, особенно, если скорость седиментации низкая (для пресноводных систем севера Фенноскандии ~1 мм/год [6]) и существует интенсивное биологическое перемешивание ДО донными организмами.

Пробы ДО помещались в полиэтиленовые контейнеры и отправлялись в лабораторию Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН для анализа, где хранились при температуре 4 °С. Образцы (примерно 5 г) высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 6 ч., далее определялась влажность образца. Затем образцы прокаливались в муфельной печи при температуре 450–500 °С в течение 4 ч. для определения потерь при прокаливании (ППП) как косвенного показателя содержания органического вещества. После этого образцы растирались в яшмовой ступе и сохранялись при температуре 4 °С до химического анализа. Для определения валовых концентраций металлов 0.4-граммовая навеска образца обрабатывалась 4 мл концентрированной азотной кислотой (HNO<sub>3</sub>) класса ОСЧ (особой чистоты) в автоклаве с тефлоновым вкладышем при температуре 140 °С в течение 4 ч, после чего содержимое автоклава охлаждалось до комнатной температуры, и 2 мл аликвота перемещались в пластиковую бутылочку (60 мл) и разбавлялись деионизированной водой до объема 25 мл. Результирующий раствор анализировался атомно-абсорбционным спектрофотометром (AAS-3, Perkin-Elmer). Все концентрации ТМ выражены в микрограммах на грамм (мкг/г) сухого веса. Подробно метод пробоподготовки и химического анализа описан в [7, 8].

Антропогенное влияние на экосистемы озер мы определяли с помощью коэффициента загрязнения ( $C_f$ ) каждого приоритетного загрязняющего ТМ (Ni, Cu, Co, Zn, Pb, Cd, Hg, As). Значения  $C_f$  находили путем деления концентраций ТМ в поверхностном 1-см слое на его фоновое содержание (метод Л. Хокансона [9, 10]). Степень загрязнения ( $C_d$ ) вычисляли суммированием всех значений  $C_f$  восьми ТМ для данного озера. В этом подходе придерживались следующей классификации  $C_f^i$ :  $C_f^i < 1$  – низкий;  $1 \leq C_f^i < 3$  – умеренный;  $3 \leq C_f^i < 6$  –

значительный;  $C_f^i \geq 6$  – высокий коэффициент загрязнения. При характеристике  $C_d$  исходили из расчета суммы значений  $C_f$  по восьми элементам:  $C_d < 8$  – низкая;  $8 \leq C_d < 16$  – умеренная;  $16 \leq C_d < 32$  – значительная;  $C_d \geq 32$  – высокая степень, свидетельствующая о серьезном загрязнении.

### Результаты и их обсуждение

Водоемы (и их ДО как хранилище физических и химических продуктов разрушения широкого круга химических веществ) служат коллекторами всех веществ, поступающих на территорию водосборов. ДО – важные источники информации о климатических, геохимических, экологических условиях на водосборе и в самом водоеме – отражают современное экологическое состояние воздушной и водной сред. Концентрации ТМ в ДО позволяют оценить интенсивность и историю загрязнения исследуемых озер. ДО рассматриваются как источник экологической информации, которую можно использовать для различных обобщений.

#### *Фоновые концентрации тяжелых металлов*

Пробы ДО, отобранные из самых глубоких слоев колонки (обычно между 20 и 30 см), позволяют определить фоновые концентрации ТМ при исследовании загрязнения озер. Возраст этих слоев несколько сотен лет, т.е. они образованы до индустриального развития северной части Фенноскандии. Эти слои отражают природные геохимические особенности водосбора и позволяют оценить степень загрязнения водных объектов, а также выявить аномалии концентраций металлов с целью поисков месторождений полезных ископаемых [11].

Фоновые концентрации элементов и величины ППП в ДО водоемов системы р. Пасвик приведены в табл. 1. Статистические параметры определены без учета данных по ст. 7 оз. Куэтсъярви, так как в этой части озера интенсивно накапливается сильно загрязненный материал, приносимый р. Колосйоки и поступающий с комбината «Печенганикель». О том, что самые нижние слои отобранной колонки ДО на ст. 7 представлены сильно загрязненным минеральным материалом, говорят также очень незначительные величины содержания органического материала (значение ППП в слое 12–13 см менее 1%).

Максимальные фоновые концентрации большей части ТМ (Ni, Zn, Co, Cd, Hg, As) отмечены на ст. 8 оз. Куэтсъярви, что обусловлено геохимическими и морфометрическими особенностями территории водосбора и самого озера, на водосборе которого находятся медно-никелевые сульфидные залежи, представленные такими минералами, как пентландит  $(Fe, Ni)_9S_8$ , халькопирит  $CuFeS_2$ , кобальтит  $(Co, Ni)AsS$ , никелин  $NiAs$  и другими [12]. Установлено, что фоновые концентрации вышеперечисленных элементов в ДО оз. Куэтсъярви в 2–10 раз выше, чем в других исследуемых озерах.

Вместе с тем отмечено, что фоновые концентрации ТМ (за исключением Hg) минимальны (или одни из наименьших) в ДО самой северной и самой глубокой акватории оз. Куэтсъярви – залива Питкялоукко, где была отобрана колонка ДО на ст. 9, что связано с геохимическими особенностями водосбора озера. В этот залив впадает р. Кувернеринйоки, на ее водосборе не выявлено залежей медно-никелевых руд.

В озерах Рускебукта и Скруккебукта отмечены наибольшие концентрации соответственно Cu и Pb в самых глубоких слоях колонок ДО. Фоновые концентрации ТМ в ДО озер Инари, Куэтсъярви и Имандра [7, 8, 13–19] приблизительно равны.

Долговременная антропогенная нагрузка на водосборы озер привела к изменению природных условий формирования химического состава ДО. Следовательно, фоновые концентрации ТМ играют важную роль при определении влияния антропогенной индустриальной деятельности на водные экосистемы.

Таблица 1

Фоновые концентрации элементов (мкг/г) и потери веса при прокаливании (ППП, %) в ДЮ системы р. Паевик

№	Озеро, станция	ППП	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	Cr	Mn	Fe	K	Na	Ca	Mg	Sr	Al	P
1	Инари-1	13.14	46	48	117	22	0.11	4.6	1.77	0.030	85	4337	92193	4067	483	982	7201	30	31582	2138
2	Инари-2	12.14	48	61	91	22	0.15	4.9	1.62	0.042	94	2323	66472	3972	472	1197	7404	30	32267	1548
3	Хестефосс	4.74	36	46	100	21	0.05	6.8	3.95	0.021	84	281	32901	5630	637	1395	10584	41	31205	498
4	Рускебукта	13.96	62	63	112	26	0.09	12.4	4.37	0.038	92	310	40661	6601	711	1014	11661	39	34811	735
5	Ваггаем	8.08	55	58	126	30	0.08	9.2	6.01	0.015	112	396	52226	7005	726	2057	13723	18	44001	572
6	Куэзъярви-6	8.47	47	39	106	21	0.16	8.4	7.95	0.035	83	610	31431	5411	735	1556	10901	44	27825	497
7	Куэзъярви-7	0.93	373	1087	99	43	0.35	4.5	11.1	0.017	1007	647	65383	2303	246	1486	60684	25	29313	447
8	Куэзъярви-8	9.50	52	66	127	31	0.18	9.2	11.9	0.007	86	2112	39822	5611	1055	1719	11593	41	30821	1115
9	Куэзъярви-9	10.67	40	32	80	16	0.10	6.6	2.62	0.049	67	279	25457	5189	1017	2427	9702	31	26121	619
10	Бьерневати	9.47	42	58	100	27	0.11	11.2	3.36	0.003	81	875	52620	6100	783	2067	12247	19	31466	1105
11	Скруккесукта	7.63	58	64	123	25	0.09	14.0	3.95	0.021	114	401	41191	9571	1328	1244	11848	59	41191	608
	Среднее	9.78	49	54	108	24	0.11	8.7	4.75	0.026	90	1192	47497	5916	794	1566	10686	35	33129	944
	Минимальное	4.74	36	32	80	16	0.05	4.6	1.62	0.003	67	279	25457	3972	472	982	7201	18	26121	497
	Максимальное	13.96	62	66	127	31	0.18	14.0	11.92	0.049	114	4337	92193	9571	1328	2427	13723	59	44001	2138
	Стандартное отклонение	2.79	8	12	16	5	0.04	3.1	3.16	0.015	14	1340	19745	1606	267	491	2074	12	5560	542

Примечание. Статистические параметры определены без учета данных по станции Куэзъярви-7.

### Вертикальное распределение элементов в донных отложениях

Эти исследования особенно актуальны для регионов с высокоразвитой горно-металлургической промышленностью, где отмечено аномальное распределение ТМ вследствие геохимических особенностей и влияния загрязнения на среду обитания [20].

Значительное увеличение концентраций халькофильных элементов (Pb, Cd, Hg и As) по отношению к фоновым содержаниям обнаружено в поверхностных слоях ДО в оз. Инари

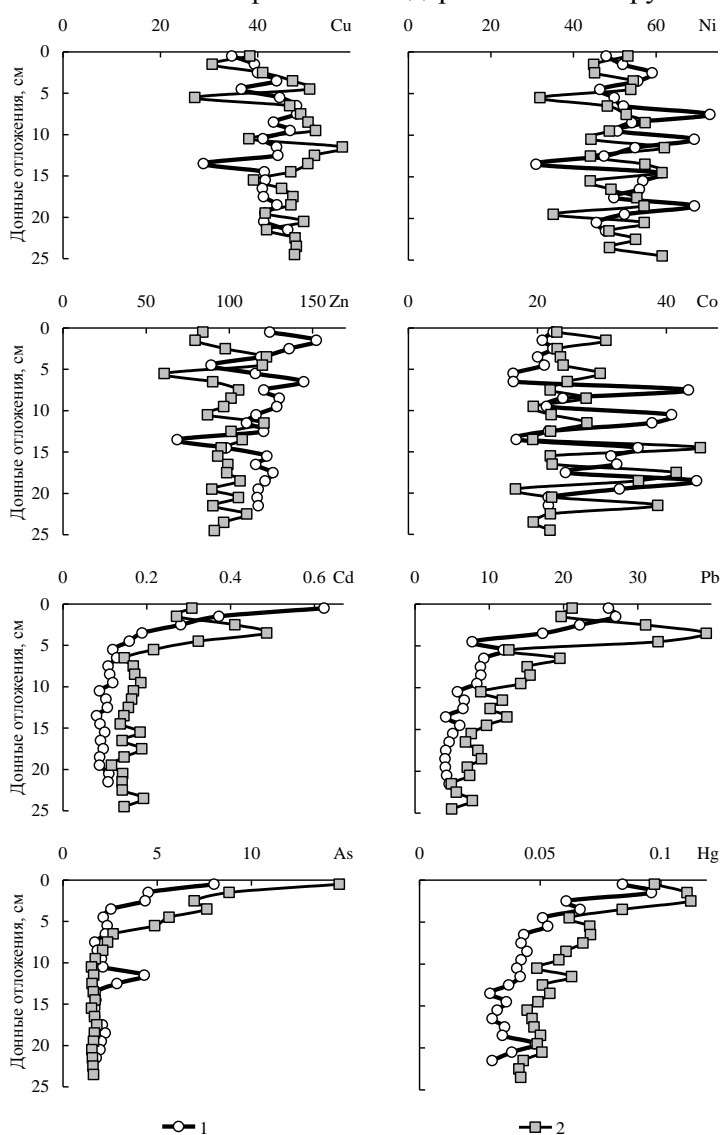


Рис. 2. Вертикальное распределение концентраций ТМ (мкг/г) в колонках ДО оз. Инари

и проявлять процессы закисления вод, приводящие к высвобождению мобильных элементов из ДО [25–27]. Меньшее количество этих элементов поступает в озеро в составе минеральных частиц, идущих на формирование ДО, вследствие уменьшения их содержания в процессе выщелачивания почв водосбора [23].

В вертикальном распределении концентраций Ni, Cu, Co и Zn в ДО водоемов Хестефосс, Рускебукта, Ваггатем, расположенных вверх по течению от места поступления загрязненных вод из оз. Куэтсьярви, не отмечено значительных изменений (рис. 3), что совпадает с результатами исследований ДО оз. Ваггатем в 1988 г. [28] и озер Раякоски и Скогфосс, расположенных также вверх по течению от оз. Куэтсьярви, в 1993 г. [15]. Однако, как и в ДО оз. Инари, обнаружено заметное увеличение концентраций халькофильных элементов (Pb, Cd, Hg и As) в поверхностных слоях озер Хестефосс, Рускебукта и Ваггатем по сравнению с фоновым содержанием. Наибольшее увеличение отмечено для Hg (Хестефосс и Рускебукта) и Cd

(рис. 2), причем заметное увеличение их концентраций отмечено с глубины 5–10 см. Увеличение скорости аккумуляции Pb, вероятно, вызвано глобальным загрязнением атмосферы северного полушария [21]. Поступление Pb во многие озера связывают также с его осаждением из атмосферы и с автомобильными выхлопами [22–24]. Запрещение использования этилированного бензина в последние десятилетия привело к уменьшению его поступления с выхлопными газами и некоторому уменьшению его содержания в самых верхних слоях ДО (рис. 2). В этих слоях также отмечается небольшое снижение концентраций Cd на ст. 2 и Hg на обеих станциях озера. Концентрации Ni, Cu, Co и Zn, в отличие от халькофильных элементов, не увеличиваются в поверхностных слоях ДО обеих станций, а наоборот, уменьшаются по сравнению с фоновыми содержаниями или остаются на уровне фоновых.

Отмечено снижение концентраций Al, Na, K и Mg в поверхностных слоях ДО оз. Инари. Этот факт можно связать с поступлением большого количества кислотных соединений, выбрасываемых в атмосферу как точечными источниками (например, комбинатами "Печенганикель" и "Североникель", котельными), так и автомобильными выхлопами. Эти соединения могут вызывать



(Хестефосс). Это увеличение, возможно, напрямую не связано с деятельностью комбината "Печенганикель", потому что эта часть водосбора р. Пасвик незначительно подвержена влиянию выбросов ТМ комбинатом [29], а подтверждает вывод многих экологов о глобальном загрязнении окружающей среды халькофильными элементами, особенно в арктической и субарктической зонах Северного полушария [30]. В результате исследований химического состава ДО озер водосбора Белого моря в пределах Кольского п-ова установлено увеличение концентраций халькофильных элементов (Hg, Cd, Pb и As) во всех исследуемых водных объектах вне зависимости от того, испытывают ли они аэротехногенную нагрузку или принимают сточные воды промышленных предприятий [31].

В ДО озер Бьерневатн и Скруккебукта, расположенных ниже по течению от места поступления загрязненных вод из оз. Куэтсъярви, максимальные концентрации ТМ (за исключением Pb в оз. Бьерневатн) отмечены

в верхнем 1-см слое ДО (рис. 3). Содержание Pb уменьшается в поверхностных 3-см ДО оз. Бьерневатн, а максимальные концентрации выявлены в слое 3–7 см. Значительное увеличение концентраций ТМ по отношению к фоновому отмечено с глубины 8 и 3 см ДО озер Бьерневатн и Скруккебукта соответственно. Учитывая, что комбинат "Печенганикель" – главный источник загрязнения этого региона уже в течение 70 лет, можно оценить скорость осадконакопления как примерно 1.1 и 0.4 мм/год в озерах Бьерневатн и Скруккебукта соответственно. Рост концентраций органического материала отмечен с глубины 6 и 2 см по направлению к

поверхности ДО в озерах Бьерневатн и Скруккебукта соответственно. Отмечается снижение концентраций K, Ca, Mg и Al по направлению к поверхности ДО озер Бьерневатн и Скруккебукта, это может быть связано с поступлением большого количества сульфатов в составе сточных вод комбината «Печенганикель», вызывающих высвобождение щелочных и щелочноземельных металлов и Al из взвешенных частиц и ДО и переход их в растворимую форму. Содержание сульфатов в воде озер Бьерневатн и Скруккебукта выше в 2–3 раза всех остальных исследуемых озер системы р. Пасвик, за исключением оз. Куэтсъярви.

Повышение концентраций основных загрязняющих элементов, сбрасываемых в оз. Куэтсъярви через р. Колосйоки комбинатом «Печенганикель», отмечается на разной глубине на различных станциях озера (рис. 4). На ст. 7, ближе всех расположенной к устью р. Колосйоки, ТМ так и не достигли фоновых значений, поэтому данные по ст. 7 не учитывались при подсчете средних фоновых содержаний. Это связано с большим поступлением взвешенных минеральных веществ в составе стоков комбината и их отложением в ближайшей акватории озера. Данное предположение подтверждается также небольшим содержанием органического материала в ДО ст. 7 – не более 2% до

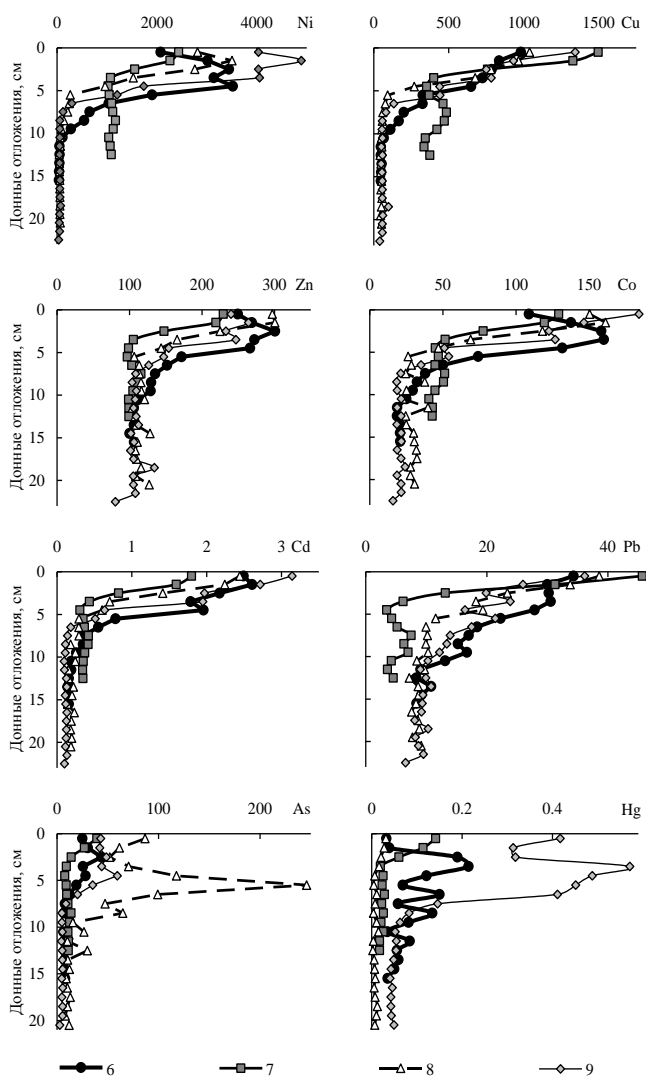


Рис. 4. Вертикальное распределение концентраций ТМ (мкг/г) в колонках ДО оз.

глубины 3 см, затем к поверхности ДО величина ППП увеличивается до 12%. Поэтому на этой акватории довольно высокая скорость осадконакопления.

На станциях 6 (Гольфстрим) и 8 (Салмиярви) повышение содержания Ni, Cu, Co и Zn фиксируется, начиная с глубины 12 см, а на ст. 9 (Белый Камень) – 8 см, следовательно, учитывая 70-летнюю историю загрязнения озера стоками комбината «Печенганикель», можно приближенно подсчитать скорость осадконакопления для вышеназванных станций – 1.7 и 1.1 мм/год соответственно. Скорость седиментации в оз. Куэтсьярви по косвенным расчетам ранее определялась равной 1.5–3 мм/год [8, 13, 15–18], что, учитывая колонку со ст. 7, где не удалось отобрать слои ДО, соответствующие фоновым значениям, совпадает с нашими расчетами.

Такие элементы, как Cu, Cd, Pb, имеют поверхностные максимумы в ДО всех станций оз. Куэтсьярви (рис. 4). Остальные исследуемые ТМ (Ni, Co, Zn, Hg и As) характеризуются максимальными концентрациями на глубине 2–6 см ДО для практически всех станций озера (рис. 4). Исключение составляет ст. 7. Подобное вертикальное распределение было отмечено в ДО оз. Рюсянярви, расположенного в 17 км северо-восточнее плавильных цехов комбината "Печенганикель" [24]. Уменьшение концентраций этих элементов в верхних 1–2 см ДО оз. Куэтсьярви можно объяснить изменениями физико-химических условий в самом озере и на территории его водосбора, а также уменьшениями сбросов ТМ комбинатом "Печенганикель" [32]. Например, сброс Ni с 1990 по 2007 гг. сократился с 12.9 до 4.4 т/год, а выбросы этого ТМ в атмосферу в указанный период остаются примерно одинаковыми и находятся в пределах 300–350 т/год (официальные данные Кольской горно-металлургической компании – <http://www.kolagmk.ru/>). На этой же глубине отмечены и максимальные концентрации Al, Ca и Mg, которые поступают в озеро со сточными водами и атмосферными выбросами.

Ранее [16, 18] было подсчитано, что за период деятельности комбината "Печенганикель" в ДО оз. Куэтсьярви было накоплено 310 т Ni, 120 т Cu, 14 т Co, 19 т Zn, 0.087 т Cd, 0.78 т Pb и 0.053 т Hg.

На рис. 5 представлено вертикальное распределение концентраций Fe и Mn в ДО озер Инари, Бьерневатн, Куэтсьярви (ст. 9 – самая глубокая акватория озера). Увеличение концентраций Fe и Mn в поверхностных слоях ДО характерно как для больших озер (Имандра [19] и Инари [15]), так и для малых (оз. Чуна водосбора оз. Имандра [19], оз. Кутсасьярви, северная Швеция [33]). Максимальные содержания Mn (превышающие кларковые и фоновые в 10–50 раз) в толще ДО исследуемых озер приурочены к поверхностному 1-см слою. Вероятная причина в том, что смена окислительных условий на восстановительные происходит именно в этом верхнем слое, и восстановление плохо растворимых окислов  $Mn^{4+}$  до растворенного иона  $Mn^{2+}$  происходит при более высоком редокс-потенциале (т.е. при более высоких концентрациях растворенного  $O_2$ ), чем восстановление  $Fe^{3+}$  до  $Fe^{2+}$ . Значит, максимальные содержания Fe (превышающие кларковые и фоновые до 10 раз) в ДО могут отмечаться и на большей глубине, т.е. в условиях более низкого значения окислительно-восстановительного потенциала Eh (при низких концентрациях растворенного  $O_2$ ). Чем лучше придонные слои воды и поверхностные слои ДО снабжаются кислородом, тем на большей глубине ДО происходит отложение трудно растворимых окислов  $Fe^{3+}$  [34]. Увеличение концентраций Fe в подповерхностных слоях ДО (рис. 5) связано с процессами молекулярной диффузии растворенных закисных форм Fe из нижележащих ДО, характеризующихся анаэробными условиями и обладающих восстановительным потенциалом, вверх к контакту с окисленной зоной водной толщи, где они, окисляясь, вновь теряют подвижность и обогащают поверхностный окисленный слой. В [34] сделано предположение, что аккумуляция Fe и Mn и образование железомарганцевых конкреций в ДО озер севера Фенноскандии может происходить при наличии следующих трех определяющих условий: 1) значения pH воды нейтрально, и процессы закисления озер не проявляются; 2) высокое содержание растворенного кислорода по всей водной толще до дна в отсутствие процессов эвтрофирования озер; 3) озера достаточно глубокие – около 15 м и глубже. Вероятно, вышеописанные озера и их акватории удовлетворяют этим требованиям.

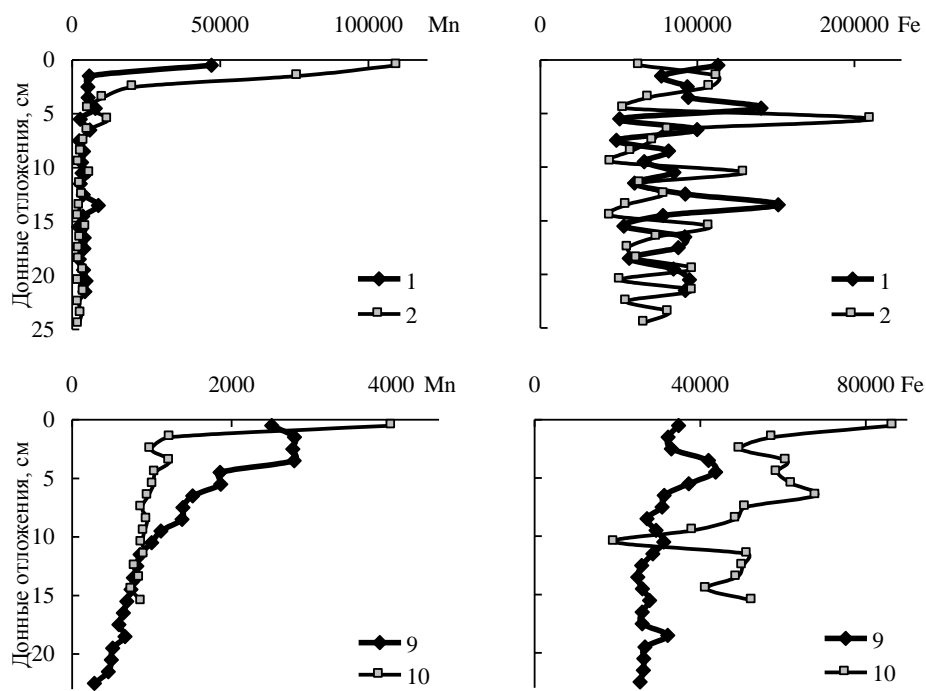


Рис. 5. Вертикальное распределение концентраций Fe и Mn (мкг/г) в колонках ДО водоемов системы р. Пасвик

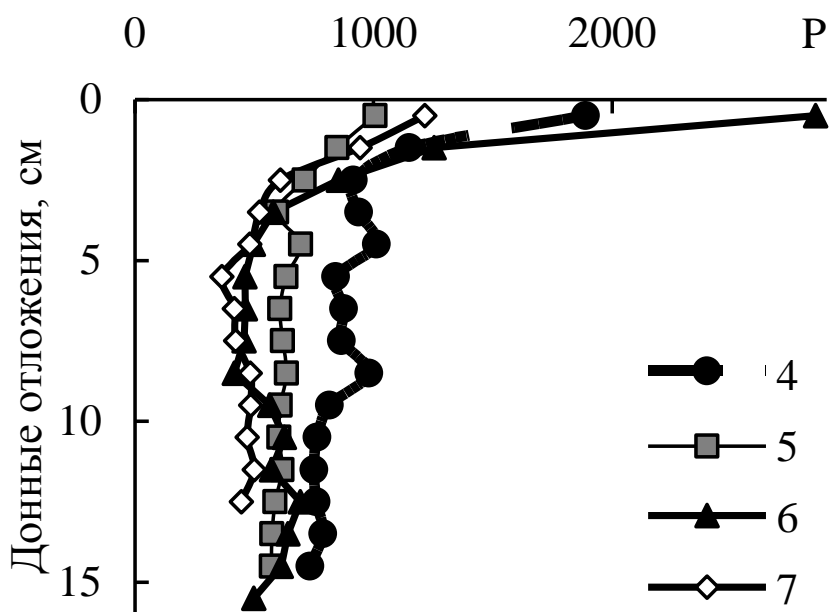


Рис. 6. Вертикальное распределение концентраций P (мкг/г) в колонках ДО водоемов системы р. Пасвик

В других озерах и станциях оз. Куэтсьярви отмечено увеличение содержания Р в поверхностных слоях ДО (рис. 6), что может говорить о проявлении эвтрофирования в этих озерах и аккумуляции биогенных элементов в экосистемах озер, в том числе и в ДО. Согласно нашим гидрохимическим данным, максимальная средневзвешенная по глубине концентрация общего фосфора ( $P_{\text{общ}}$ ) отмечена в воде оз. Рускебукта и составляет 25 мкгР/л во все периоды исследования. Содержание Р в этом относительно мелком плесе (средние глубины не превышают 3–4 м, максимальная глубина – 15 м) в значительной степени определяется уровнем развития продукционных процессов, которые, по наблюдениям авторов, находятся на постоянном уровне. Содержание  $P_{\text{общ}}$  в оз. Куэтсьярви изменяется в пределах 4–31 мкгР/л, составляя в среднем 17 мкгР/л.

За период исследований концентрация  $P_{\text{общ}}$  в придонных и поверхностных слоях различных акваторий речной системы р. Пасвик изменялась в пределах 3–39 мкгР/л, составляя в среднем 11 мкгР/л. Согласно исследованиям химического состава ДО, максимальные содержания фосфора в поверхностных слоях и максимальное их увеличение относительно фоновых содержаний (в 5.7 и 2.6 раз соответственно) отмечено в ДО ст. 4 и 6 (рис. 6, табл. 1 и 2). Следовательно, увеличение содержания биогенного элемента Р в поверхностных слоях ДО в некоторых озерах системы р. Пасвик может свидетельствовать о развитии процессов эвтрофирования, связанного с поступлением сточных хозяйственно-бытовых вод и регулированием стока реки, которые приводят к замедлению скоростей течения, застойным явлениям и, в конечном итоге, аккумуляции биогенных элементов в водных экосистемах. Фосфор, накопленный в ДО, может являться источником поступления этого биогенного элемента в водную толщу [35–37].

Вертикальное распределение металлов в ДО исследуемых озер позволяет изучить исторические тренды поступления ТМ под влиянием различных антропогенных факторов. Активная аккумуляция металлов связана с началом индустриальной деятельности в северной части Фенноскандии. Глобальным перемещением воздушных масс в северном полушарии обусловлено повышенное накопление халькофильных элементов (Pb, Cd, Hg, As) в верхних слоях ДО озер.

#### *Распределение элементов в поверхностных слоях донных отложений*

Выбросы в атмосферу ТМ комбинатом "Печенганикель" и сточные воды плавильных цехов, шламоотвалов, хвостохранилищ и рудников – главные источники повышенных концентраций ТМ в поверхностных слоях ДО водоемов системы р. Пасвик. Особенно интенсивно это проявляется в озерах Куэтсьярви и Бьерневатн. Вода системы р. Пасвик характеризуется нейтральными значениями рН и обладает значительной нейтрализующей способностью по отношению к большому объему поступающих от комбината кислотных соединений. Этот факт способствует захвату и аккумуляции в ДО мобильных ТМ (например, Ni, Cu, Cd) [38]. Преобладающие юго-западные ветры распределяют шлейф загрязнения главным образом в северо-восточном направлении (ДО в озерах на расстоянии > 20 км к югу от Никеля почти не загрязнены) [24]. Выпадения этих элементов в составе атмосферных осадков в северных районах Норвегии и Финляндии малы [39, 40]. Здесь отмечено слабое влияние выбросов комбината на содержание ТМ в поверхностных слоях ДО [7, 8, 13, 41–45]. Наибольшие концентрации Ni и Cu, превышающие фоновые значения в 10–380 раз, отмечены на расстоянии до 10 км от комбината "Печенганикель" [7, 8, 13]. Превышение фоновых концентраций уменьшается до 3–7 раз на расстоянии от 10 до 40 км от источника загрязнения. Концентрации Co были в 4–10 раз больше фоновых на расстоянии до 15 км от источника загрязнения и до 3 раз больше в других озерах, что свидетельствует о влиянии выбросов плавильных цехов.

Основная часть промышленных сточных вод комбината "Печенганикель" поступает в оз. Куэтсьярви, в поверхностных слоях ДО которого получены максимальные концентрации всех исследуемых ТМ (табл. 2). Это отмечалось также ранее проведенными исследованиями [8, 13, 46, 47]. Наибольшие концентрации ТМ выявлены на самой глубоководной ст. 9 (Ni, Co, Cd, Hg), на ст. 7 (Cu, Pb), наиболее близко расположенной к месту поступления сточных вод комбината «Печенганикель», а также на ст. 8 (Zn, As), ближе всего расположенной к протоке, соединяющей оз. Куэтсьярви и русловую часть р. Пасвик.

В нижнем течении р. Пасвик, особенно в озере Бьерневатн, зафиксирована значительная аккумуляция Ni, Cu, Co, Zn, Cd, As, что связано с поступлением загрязненной воды из оз. Куэтсъярви. В ДО оз. Инари, а также верхнего течения р. Пасвик, не отмечено превышения фоновых концентраций Ni, Cu, Co, Zn в поверхностных слоях ДО, за исключением Ni и Cu в оз. Ваггате (табл. 2).

Повышение концентраций халькофильных элементов (Pb, Cd, As, Hg) зафиксировано в верхних слоях ДО оз. Инари и верхнего течения р. Пасвик (табл. 2). Наибольшие концентрации халькофильных элементов отмечены в оз. Инари, за исключением Hg, повышенные концентрации которой выявлены в озерах Рускебукта и Хестефосс, что, возможно, связано с регулированием стока, образованием водохранилищ и формированием в них органических соединений Hg, в первую очередь метилртути. Следовательно, атмосферные выбросы комбината «Печенганикель» не служат основными источниками загрязнения халькофильными элементами, эти источники могут находиться в северных районах Норвегии и Финляндии или в центральных индустриальных районах Европы. На содержание Pb в окружающей среде влияет тетраэтилсвинец – антидетонационная добавка в бензине.

Другое объяснение повышенных концентраций халькофильных элементов связано с их выбросами в атмосферу плавильными цехами, хотя и в относительно небольших (несколько т/год) количествах [29]. Так как халькофильные элементы имеют меньшую, чем Ni, Cu, Co и Zn, температуру плавления, они практически все переходят в состав аэрозолей, выбрасываемых в атмосферу плавильными цехами, и распространяются на большее расстояние (подобно SO<sub>2</sub>) по сравнению с другими ТМ. Значит, повышенные концентрации халькофильных элементов могут не фиксироваться вблизи комбината.

Наибольшие концентрации Fe и Mn в поверхностных слоях ДО среди исследованных озер получены в оз. Инари (табл. 2), это связано с большими размерами (площадью, глубиной, объемом воды озера), его олиготрофностью, хорошим снабжением кислородом водной толщи и верхних слоев ДО, что приводит к аккумуляции этих металлов в окисленной плохо растворимой форме в верхних слоях ДО.

Щелочноземельные металлы (Ca, Mg, Sr) в наибольших концентрациях обнаруживаются в поверхностном слое ДО оз. Куэтсъярви, причина состоит в повышенном поступлении этих металлов в составе сточных вод комбината «Печенганикель», в том числе и во взвешенном состоянии, что и сказалось на аккумуляции этих металлов в ДО (табл. 2).

Сброс хозяйственно-бытовых вод пос. Никель и производственной площадки комбината «Печенганикель», сельскохозяйственная и рекреационная деятельность на берегах оз. Куэтсъярви привели к усилению нагрузки на биогенные элементы и проявлению процессов эвтрофирования в озере, главным образом в южной мелководной части, что вызвало повышенную аккумуляцию P в ДО. В результате в поверхностных слоях ДО оз. Куэтсъярви обнаружены максимальные содержания P (табл. 2). Повышенные содержания P отмечены также и в озерах Бьерневатн и Рускебукта из-за регулирования стока и поступления хозяйственно-бытовых вод населенных пунктов на берегах озер.

Таблица 2

Концентрации элементов (мкг/г) и потеря веса при прокаливании (ППШ, %) в поверхностных ДО (0-1 см) системы р. Пасвик

№	Озеро, станция	ППШ	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	Cr	Mn	Fe	K	Na	Ca	Mg	Sr	Al	P
1	Инари-1	20.12	35	48	124	22	0.62	26.1	8.02	0.084	45	47015	113068	2064	234	1296	3736	49	16896	3181
2	Инари-2	18.18	38	53	84	23	0.31	21.2	14.7	0.097	57	109834	63158	2333	317	1427	4628	49	19308	1590
3	Хестефосс	35.68	32	37	81	19	0.18	8.8	4.45	0.143	61	435	30214	3452	387	1661	7119	50	22249	794
4	Рукебукта	19.00	67	70	95	21	0.15	17.2	8.55	0.161	90	360	54873	5683	675	1135	10161	50	31557	1889
5	Вагатам	12.55	75	87	122	28	0.11	15.6	7.56	0.042	117	400	54307	7357	680	1794	13171	19	43741	1007
6	Куэльсьярви-6	13.68	981	2075	249	109	2.49	34.3	25.0	0.033	162	1452	56363	4000	613	2382	11627	83	21475	2854
7	Куэльсьярви-7	11.83	1496	2435	229	129	1.80	45.7	39.2	0.142	349	541	59955	2383	729	2226	19166	57	20455	1215
8	Куэльсьярви-8	15.16	1039	2814	297	150	2.44	38.6	86.7	0.031	206	10024	78623	3169	550	2056	13904	79	20919	3687
9	Куэльсьярви-9	21.42	1343	4032	240	184	3.14	36.1	43.1	0.417	108	2501	34743	4227	790	2583	10490	38	22150	266
10	Бьерневатн	16.67	234	397	256	54	0.35	10.3	17.3	0.039	70	4013	86633	4440	802	1359	7991	27	23308	2268
11	Скруккебукта	11.95	169	280	127	39	0.27	26.8	6.89	0.017	116	570	45231	6852	834	1334	13643	47	34339	1309
	Среднее	17.84	501	1121	173	71	1.08	25.5	23.8	0.110	126	16104	61561	4178	601	1750	10512	50	25127	1823
	Минимальное	11.83	32	37	81	19	0.11	8.8	4.45	0.017	45	360	30214	2064	234	1135	3736	19	16896	266
	Максимальное	35.68	1496	4032	297	184	3.14	45.7	86.7	0.417	349	109834	113068	7357	834	2583	19166	83	43741	3687
	Стандартное отклонение	6.80	585	1444	81	61	1.15	12.1	24.7	0.114	88	33981	23813	1796	206	494	4506	19	8048	1069

### Коэффициент и степень загрязнения донных отложений озер

Интенсивность загрязнения водных объектов можно оценить сравнением концентраций ТМ в поверхностном слое ДО и их фоновых значений. Методика определения коэффициентов и степени загрязнения водных экосистем ТМ в ДО с помощью  $C_f$  и  $C_d$  описана в [9, 10]. В [48-50] приведена методика определения коэффициента антропогенного обогащения ДО. Расчетные значения  $C_f$  и  $C_d$  показаны в табл. 3.

Максимальные значения  $C_f$  почти для всех исследуемых ТМ отмечены в ДО оз. Куэтсьярви (табл. 3), это вызвано прямым поступлением сточных промышленных вод комбината «Печенганикель». Оз. Куэтсьярви характеризуется высокими, по классификации Хакансона [8], значениями  $C_f$  для всех ТМ, за исключением Zn, для которого выявлено умеренное загрязнение.

Озеро Бьерневатн имеет высокие значения  $C_f$  для Ni и Hg, значительные для Cu, As, Cd и умеренные для остальных металлов. Вниз по течению в оз. Скруккебукта также отмечено влияние поступления сточных вод комбината «Печенганикель», проявляющееся в значительном загрязнении Ni. Значения  $C_f$  для Cu и Cd находятся на границе между умеренными и значительными, для остальных металлов отмечено умеренное загрязнение.

Для озер, расположенных вверх по течению от места поступления сточных вод комбината «Печенганикель», зафиксированы высокое и значительное загрязнение Hg (озера Хестефосс и Рускебукта соответственно), а также значительное загрязнение Cd в оз. Хестефосс. По остальным металлам в этих озерах получены низкие и умеренные значения  $C_f$ . В оз. Ваггатем отмечены умеренные значения  $C_f$  для всех металлов (табл. 3).

Таблица 3

Значения коэффициента загрязнения ( $C_f$ ) и степени загрязнения ( $C_d$ ) водоемов системы р. Пасвик

Озеро, станция	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	$C_d$
Инари-1	0.8	1.0	1.1	1.0	5.8	5.7	4.5	2.8	22.6
Инари-2	0.8	0.9	0.9	1.0	2.1	4.3	9.1	2.3	21.4
Хестефосс	0.9	0.8	0.8	0.9	3.9	1.3	1.1	6.8	16.5
Рускебукта	1.1	1.1	0.8	0.8	1.7	1.4	2.0	4.2	13.1
Ваггатем	1.4	1.5	1.0	1.0	1.5	1.7	1.3	2.9	12.1
Куэтсьярви-6	20.8	52.9	2.3	5.2	15.8	4.1	3.1	0.9	105.3
Куэтсьярви-7	4.0	2.2	2.3	3.0	5.2	10.1	3.5	8.1	38.5
Куэтсьярви-8	20.0	42.8	2.3	4.9	13.2	4.2	7.3	4.7	99.5
Куэтсьярви-9	33.5	125.7	3.0	11.6	32.1	5.5	16.4	8.5	236.2
Бьерневатн	5.6	6.9	2.6	2.0	3.1	0.9	5.2	12.2	38.3
Скруккебукта	2.9	4.3	1.0	1.6	3.0	1.9	1.7	0.8	17.4

Оз. Инари характеризуется высокими значениями  $C_f$  для As, значительными для Pb и Cd, умеренными для Hg. Другие ТМ в ДО оз. Инари имеют значения  $C_f$  на границе между низкими и умеренными (табл. 3).

В целом по всем исследованным загрязняющим элементам максимальное загрязнение выявлено в оз. Куэтсьярви (высокое значение  $C_d$ , табл. 3). Высокое по классификации Хокансона [8] значение  $C_d$  (но меньше, чем в оз. Куэтсьярви) отмечено в оз. Бьерневатн. Значительная величина  $C_d$  обнаружена в оз. Инари благодаря серьезному загрязнению ДО халькофильными элементами. В озерах Скруккебукта и Хестефосс величины  $C_d$  находятся на границе между низкими и умеренными. Низкие значения  $C_d$  зафиксированы в озерах Рускебукта и Ваггатем.

## Заключение

Значительные фоновые концентрации большей части ТМ (Ni, Zn, Co, Cd, Hg, As) в ДО отмечены в южной части оз. Куэтсьярви, что обусловлено геохимическими (наличие медно-никелевых сульфидных залежей в юго-восточной части водосбора озера) и морфометрическими особенностями водосбора и самого озера.

Влияние деятельности комбината "Печенганикель" обуславливает максимальные концентрации всех исследованных ТМ в поверхностных слоях ДО оз. Куэтсьярви. Уменьшение концентраций Ni, Co, Zn, Hg и As в верхних 1–2 см ДО оз. Куэтсьярви объясняется уменьшением сбросов комбинатом "Печенганикель" в последнее 10-летие. Другие элементы (Cu, Cd, Pb) имеют поверхностные максимумы в ДО всех станций оз. Куэтсьярви, это можно связать с постоянством сброса этих элементов (для Cu – 0.1–0.2 т/год за последнее 10-летие).

Вниз по течению р. Пасвик от места поступления сточных вод наблюдается снижение содержания ТМ в поверхностных слоях ДО. Главные загрязняющие элементы в этих озерах – ТМ, сбрасываемые в больших количествах в составе сточных вод комбинатом «Печенганикель»: Ni, Cu, Co, Zn, хотя халькофильные элементы (Hg, As, Cd) также встречались в высоких концентрациях в поверхностных слоях ДО оз. Бьерневатн.

В озерах вверх по течению р. Пасвик от места поступления сточных вод в поверхностных слоях ДО не отмечено увеличения содержания ТМ, выбрасываемых в атмосферу в значительных количествах комбинатом «Печенганикель» (Ni, Cu, Co, Zn). Однако в этих озерах, особенно в самом большом и наиболее удаленном от комбината «Печенганикель» оз. Инари, обнаружено значительное увеличение концентраций халькофильных элементов (Pb, Cd, Hg и As) в поверхностных слоях ДО.

Геохимические особенности озер, таких как Инари, Бьерневатн, северная часть Куэтсьярви, и в первую очередь их олиготрофность, хорошее снабжение придонных слоев воды и верхних слоев ДО растворенным кислородом, большая глубина водоемов привели к аккумуляции в поверхностных частях ДО озер элементов, чутко реагирующих на изменения окислительно-восстановительного потенциала, – Fe и Mn. Содержания этих подвижных элементов в поверхностных слоях ДО озер превышают кларковые и фоновые в 10–50 раз.

В других озерах отмечено увеличение содержания P в поверхностных слоях ДО, что может говорить о развитии процессов эвтрофирования, связанного с поступлением сточных хозяйственно-бытовых вод и регулированием стока водоемов, которые приводят к замедлению скоростей течения, застойным явлениям и, в конечном итоге, аккумуляции биогенных элементов в водных экосистемах. Накопленный в ДО P может быть источником поступления этого биогенного элемента в водную толщу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Pasvik River Watercourse, Barents Region: Pollution Impacts and Ecological Responses / T. Moiseenko, M. Mjelde, T. Brandrud [et al.]. Investigations in 1993. Oslo: NIVA-report OR-3118. 1994. 87 p.
2. The Paatsjoki Barents Interreg II Project: Development of a tool to describe the effects of water level regulation and different discharge regimes on the ecological conditions of river Paatsjoki water system / S. Hellsten, M. Visuri, S. Partanen [et al.]. Oulu, Finland Finnish Environment Institute, Hydrology and water management division. Final report, 2001. 34 p.
3. Характеристика загрязнения некоторых водных объектов Мурманской области стоками рудообогатительных комбинатов / Т.О. Гончарова, А.А. Иванова, В.Т. Каплин [и др.] // Гидрохимические материалы. 1973. Т. 2. С. 129–138.
4. Крючков В.В., Макарова Т.Д. Аэротехногенное воздействие на экосистемы Кольского Севера. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1989. 96 с.
5. Effects of acidification on mobilization of heavy metals and radionuclides from sediments of freshwater lakes / D.W. Schindler, R.H. Hesslein, R. Wagemann [et al.] // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1980. Vol. 37. P. 373–377.
6. Trace metal pollution in eastern Finnmark, Norway, as evidenced by studies of lake sediments / S.A. Norton, A. Henriksen, P.G. Appleby [et al.]. Oslo: SFT-report 487/92, 1992. 42 p.
7. Даувальтер В.А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской Субарктики (природоохранные аспекты проблемы) // Диссерт. на соиск. уч. степ. докт. геогр. наук. Апатиты, 1999. 399 с.
8. Dauvalter V. Heavy metals in lake sediments of the Kola peninsula, Russia // Sci. Total Environ. 1994. Vol. 158. P. 51–61.
9. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Res. 1980. Vol. 14. P. 975–1001.
10. Håkanson L. Sediment sampling in different aquatic environments: Statistical aspects // Water Resour. Resear. 1984. Vol. 20, No 1. P. 41–46.
11. Tenhola M., Lummaa M. Regional distribution of zinc in lake sediments from eastern Finland // Symposium on Economic Geology, Dublin, Ireland, 26–29 August, 1979. P. 67–73.
12. Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia / D. Gregurek, F. Melcher, V.A. Pavlov [et al.] // Miner. Petrol. 1999. Vol. 65. P. 87–111.
13. Даувальтер В.А. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях озер Кольского полуострова как индикатор загрязнения водных экосистем // Проблемы химического и биологического мониторинга



экологического состояния водных объектов Кольского Севера. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1995. С. 24–35. **14. Даувальтер В.А.** Загрязнение донных отложений водосбора реки Пасвик тяжелыми металлами // Геоэкология. 1997. № 6. С. 43–53. **15. Даувальтер В.А.** Тяжелые металлы в донных отложениях озерно-речной системы озера Инари – река Пасвик // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25, № 4. С. 494–500. **16. Даувальтер В.А.** Химический состав донных отложений субарктического озера под влиянием горной металлургии // Известия АН. Серия географическая. 2002. №4. С. 65–73. **17. Dauvalter V., Rognerud S.** Heavy metals pollution in sediment of the Pasvik River drainage // Chemosphere. 2001. Vol. 42, № 1. P. 9–18. **18. Dauvalter V.** Impact of mining and refining on the distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic lake Kuetsjärvi, Murmansk region, Russia // J. Environ. Monitor. 2003. Vol. 5 (2). P. 210–215. **19.** Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / Т.И. Моисеенко, В.А. Даувальтер, А.А. Лукин [и др.]; под ред. Т.И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 487 с. **20. Förstner U.** Lake sediments as indicator of heavy-metal pollution // Naturwissenschaften. 1976. Vol. 63. P. 465–470. **21.** The history of atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb in North America: Evidence from lake and peat bog sediments / Norton S.A., Dillon P.J., Evans R.D. [et al.]; eds. S.E. Lindberg et al. Sources, Deposition and Canopy Interactions. V. III, Acidic Precipitation. New York: Springer-Verlag, 1990. P. 73–101. **22. Lewis T.E., McIntosh A.W.** Covariation of selected trace elements with binding substrates in cores collected from two contaminated sediments // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1989. Vol. 43. P. 518–528. **23.** Stratigraphy of total metals in RIPLA sediment cores / S.A. Norton, R.W.J. Bienert, M.W. Binford [et al.] // Paleolimnol. 1992. Vol. 7. P. 191–214. **24. Rognerud S., Norton S.A., Dauvalter V.** Heavy metal pollution in lake sediments in the border areas between Russia and Norway. Oslo: NIVA-Report 522/ 93. 1993. 18 p. **25. Даувальтер В.А.** Концентрации металлов в донных отложениях закисленных озер // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25, № 3. С. 358–365. **26. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В.** Механизмы круговорота природных и антропогенных металлов в поверхностных водах Субарктики // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25, № 2. С. 231–243. **27. Dauvalter V.** Metal concentrations in sediments in acidifying lakes in Finnish Lapland // Boreal Environ. Res. 1997. Vol. 2. P. 369–379. **28. Rognerud S.** Sedimentundersøkelser i Pasvikela høsten 1989. Oslo: NIVA-Rapport 401/90, 1990. 10 p. **29.** Basisundersøkelse av luftforurensinger i Sor-Varanger 1988-1991 / L.O. Hagen, M.J. Aarnes, J.F. Henriksen et al.. Oslo: NILU-report 67/91, 1991. 89 p. **30. Pacyna J.M., Pacyna E.G.** An assessment of global and regional emissions of trace elements to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide // Environ. Rev. 2001. Vol. 4. P. 269–298. **31. Даувальтер В.А.** Халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях водных объектов водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова // Геохимия. 2006. № 2. С. 237–240. **32. Бакланов А.А., Макарова Т.Д.** Загрязнение сернистым газом в районе советско-норвежской границы // Эколого-географические проблемы Кольского Севера. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1992. С. 114–129. **33.** Фракционирование изотопов Fe в результате окислительно-восстановительных процессов в водоеме / Д.Н. Малиновский, И.В. Родюшкин, Е.П. Щербакова [и др.] // Геохимия. 2005. № 8. С. 878–885. **34. Даувальтер В.А., Ильишук Б.П.** Условия образования железо-марганцевых конкреций в донных отложениях озер в пределах Балтийского кристаллического щита // Геохимия. 2007. № 6. С. 680–684. **35. Lennox L.J.** Sediment-water exchange in Lough Ennel with particular reference to phosphorus // Wat. Res. 1984. Vol. 18, № 12. P. 1483–1485. **36. Sandman O, Eskonen K, Liehu A.** The eutrophication history of Lake Särkinen, Finland and the effects of lake aeration // [Hydrobiologia](#). 1990. Vol. 214. P. 191–199. **37. Shaw J.F.H., Prepas E.E.** Relationships between phosphorus in shallow sediments and in the trophogenic zone of seven Alberta lakes // Wat. Res. 1990. Vol. 24, № 5. P. 551–556. **38. Håkanson L., Jansson M.** Principles of lake sedimentology. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 316 p. **39. Ruhling A., Rasmussen L., Pilegaard K.** Survey of atmospheric heavy metal deposition. Copenhagen: Nordic Council Ministers, 1987. 44 p. **40.** Atmosfarisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsjamfattendt undersøkelse i 1985 / E. Steinnes, F. Franzen, O. Johansen [et al.], Oslo: SFT-rapport 334/88, 1988. 33 p. **41. Johansson K.** Metals in sediments of lakes in Northern Sweden // Water Air Soil Pollut. 1989. Vol. 47. P. 441–457. **42. Rekolainen S., Verta M., Liehu A.** The effect of airborne mercury and peatland drainage on sediment mercury content in some Finnish forest lakes // Helsinki: National Board of Water. 1986. Vol. 65. P. 11–21. **43. Rognerud S., Fjeld E.** National survey of heavy metals in lake sediments and mercury in fish. Oslo: SFT-report 426/90, 1990. 77 p. **44. Rognerud S., Fjeld E.** Regional survey of heavy metals in lake sediments in Norway // AMBIÖ. 1993. Vol. 22, № 4. P. 206–212. **45. Verta M., Tolonen K., Simola H.** History of heavy metal pollution in Finland as recorded by lake sediments // Sci. Tot. Environ. 1989. Vol. 87/88. P. 1–18. **46. Dauvalter V.** Concentrations of heavy metals in superficial lake sediments of Pechenga district, Murmansk region, Russia // Vatten. 1992. Vol. 48, No 2. P. 141–145. **47.** Airborne contamination by heavy metals and aluminium in the freshwater ecosystems of the Kola subarctic region (Russia) / T.I. Moiseenko, L.P. Kudryavtseva, I.V. Rodyushkin [et al.] // Sci. Tot. Environ. 1995. Vol. 160/161. P. 715–727. **48. Alhonen P.** Heavy metal load of Lake lidesjarvi as reflected in its sediments // Aqua Fennica. 1986. Vol. 16, № 1. P. 11–16. **49. Ouellert M., Jones H.G.** Paleolimnological evidence for the long-range atmospheric transport of acidic pollution and heavy metals into Quebec, Canada // Can. J. Earth Sci. 1983. Vol. 20. P. 23–26. **50. Tolonen K., Jaakkola T.** History of lake acidification and air pollution studied on sediments in South Finland // Ann. Bot. Fennici. 1983. Vol. 20. P. 57–78.

### Сведения об авторе

Даувальтер Владимир Андреевич – д.г.н., профессор, главный научный сотрудник;  
e-mail: vladimir@inep.ksc.ru

Кашулин Николай Александрович – д.б.н., зав. лабораторией водных экосистем, зам. директора по научной работе, ИППЭС КНЦ РАН; e-mail: nikolay@inep.ksc.ru

## ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ОЗЕРА ИМАНДРА В УСЛОВИЯХ РАЗНОУРОВНЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОКАМИ ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О.И. Вандыш, Н.А. Кашулин, А.А. Черепанов

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

### Аннотация

Проанализированы долговременные (1996-2012 гг.) ответные реакции зоопланктонных сообществ различных районов субарктического оз. Имандра (губа Белая, принимающая сточные воды ОАО «Апатит», плес Бабинская Имандра – условно-фоновый район). Выявлена тенденция упрощения структуры и снижение устойчивости зоопланктона в условиях техногенной нагрузки. Выполнена оценка современного экологического состояния указанных акваторий озера. Полученные результаты дополняют сведения об ответной реакции гидробионтов на воздействие стоков предприятий горнорудного производства. Показана возможность использования зоопланктона как биоиндикатора данного типа антропогенного воздействия.

### Ключевые слова:

*оз. Имандра, зоопланктон, мониторинг, информативные показатели сообщества, биогенные элементы, взвеси, эвтрофирование, биоиндикатор.*



### Введение

Поверхностные воды занимают важнейшее место среди природных ресурсов Арктики, их потенциал определяется не только количественными показателями, но и качественными, включающими показатели качества вод и структурно-функциональные показатели сообществ

гидробионтов.

В целом Мурманская обл. хорошо обеспечена водными ресурсами. На ее территории находится 107 146 озер (площадь зеркала 8 195 км<sup>2</sup>). При этом на территории их водосборов расположены крупнейшие промышленные предприятия и населенные пункты, использующие водоемы не только как источник водоснабжения, но и как объекты размещения отходов, что приводит к ухудшению качества вод и деградации водных экосистем в целом [1].

В отличие от гидрохимических показателей, гидробиологические исследования позволяют оценить токсичную нагрузку и изменение состояния водоемов за продолжительный период, так как ответные реакции различных групп гидробионтов на техногенное загрязнение интегрируют эффекты смешанных воздействий на экосистему как во времени, так и в пространстве.

На Кольском п-ове примером многолетнего комплексного загрязнения является субарктическое оз. Имандра, на берегах которого сосредоточены предприятия горно-металлургической, обогатительной, химической промышленности и атомной энергетики, построены города и поселки, где проживает более 300 тыс. человек, что составляет приблизительно 35% от общего числа жителей Мурманской обл. [2].

Зоопланктон – неотъемлемый компонент водных экосистем. При этом субарктические озера имеют систему планктонного типа, т.е. основные потоки органического вещества и энергии от продуцентов к высшим трофическим звеньям идут через сообщества простейших, коловраток и ракообразных. Занимая промежуточное положение между бактерио-, фитопланктоном, бентосом и рыбами, зоопланктон играет важную роль в определении ресурсного потенциала озер. Для северных водоемов характерно преобладание стенобиотных видов, требовательных к качеству вод, что определяет повышенную чувствительность к техногенным воздействиям зоопланктонных сообществ в целом. В то же время комплексный

многофакторный характер антропогенной нагрузки на оз. Имандра существенно затрудняет выявление специфических показателей зоопланктона как биоиндикатора влияния на водоем отдельных факторов (изменения климата, техногенное загрязнение, эвтрофирование и др.), это обуславливает актуальность поиска наиболее информативных из числа типологических показателей [3].

Цель работы – выявить специфические особенности структурно-функциональной трансформации зоопланктонного сообщества губы Белой оз. Имандра при долговременном разноуровневом воздействии сточных вод апатит-нефелинового производства.

### **Район исследований**

Оз. Имандра – самый крупный водоем Мурманской обл.: длина озера 109 км, средняя ширина 3.2 км, площадь с островами 880.5 км<sup>2</sup>, средняя глубина 13 м, объем воды 10.9 км<sup>3</sup>. Площадь водосбора – 12 300 км<sup>2</sup>, представлена 1 379 водотоками [4]. Озеро состоит из трех обособленных плесов: Большая, Йокостровская и Бабинская Имандры, соединяющихся между собой узкими проливами – салмами.

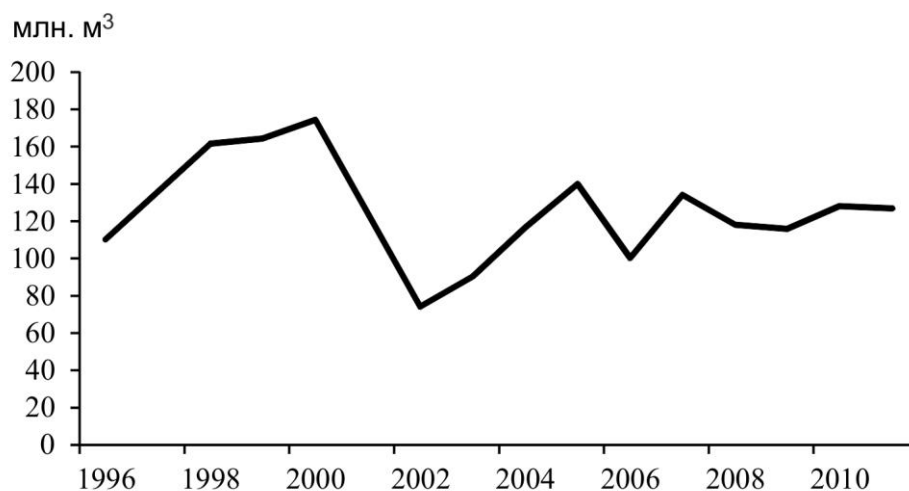
Губа Белая оз. Имандра, расположенная в юго-восточной части плеса Большая Имандра, после отсечения части ее акватории дамбой с целью складирования там отходов апатит-нефелиновых обогатительных фабрик (АНОФ) ОАО «Апатит» (хвостохранилище) представляет собой довольно узкий залив, в который впадают реки Большая и Малая Белая. С 1930 г. по р. Большой Белой в данную акваторию озера поступают сточные воды ОАО «Апатит», содержащие тысячи тонн загрязняющих веществ, и коммунально-бытовые стоки Кировска и Апатитов.

В качестве условно-фоновых районов озера выбраны наиболее удаленные восточный и западный участки плеса Бабинская Имандра, не испытывающего прямого техногенного воздействия.

Согласно данным предыдущих исследований [5], в 1960-е гг. оз. Имандра – субарктический водоем с олиготрофным типом вод и низкой минерализацией (20–30 мг/л), относится к гидрокарбонатно-натриевому типу. Однако в настоящее время состав вод значительно трансформирован. Продолжительное интенсивное загрязнение водоема, наиболее ярко проявляющееся в местах сброса сточных вод, определило изменение его гидрохимического режима. Губа Белая – один из наиболее загрязняемых участков акватории озера. В период интенсивного антропогенного воздействия стоки ОАО «Апатит» приводили к увеличению в воде губы Белой содержания Sr (превышение фонового уровня в 5 раз), Al (в 3 раза), Mn (в 2 раза) и Zn (в 3.5 раза) [6]. Также высокими были и концентрации Na, K, P, Al, содержащихся в апатит-нефелиновых рудах и вскрышных породах, прежде всего, в апатите и нефелине. То же относится и к сопутствующим им редкоземельным элементам: Sr, Mg и др.

Максимальное загрязнение озера отмечалось в конце 1970-х гг., когда в водоем ежегодно сбрасывалось до 240 млн м<sup>3</sup> сточных вод, содержащих тысячи тонн взвешенных веществ (сульфатов, хлоридов, фосфора, нефтепродуктов) и других загрязняющих веществ, в составе которых присутствовали остаточные концентрации токсичных органических веществ, применяемых в процессе флотации апатит-нефелиновых руд (таловые масла и др.). Прозрачность вод в губе Белой в этот период составляла 0.5–1.0 м. В сентябре 1978 г. ввод первой очереди комплекса с использованием в технологическом процессе частичного оборотного водоснабжения позволил снизить объем сброса сточных вод, а к концу 1980 г. обогатители перешли на 80-процентный водооборот. В дальнейшие годы наметилась тенденция снижения сброса сточных вод, вызванная сокращением производства вследствие экономического кризиса, а с 1997 г. объем сточных вод опять стал резко увеличиваться [7].

В 1999–2000 гг. объем стоков составлял 164–174 млн м<sup>3</sup>, в 2002–2003 гг. он снизился примерно вдвое, затем в 2005 г. снова возрос до 140 млн м<sup>3</sup>, но не достиг уровня загрязнения конца 1990-х гг. Начиная с 2005 г., появилась тенденция к снижению техногенной нагрузки на водоем, которая сохраняется по настоящее время (рис. 1) [8–18].



*Рис. 1. Динамика объема стоков ОАО «Апатит»*

В современный период прозрачность воды в губе Белой составляет 2.8 м, но содержание взвешенных веществ больше 2.0 мг/л (при нормативе 0.25 мг/л для водоемов высшей рыбохозяйственной категории), это превышает фоновые показатели [19]. Концентрации  $N_{\text{общ}}$  (334–433.5 мкг/л) и  $P_{\text{общ}}$  (30–58 мкг/л) также значительно выше, чем в условно-фоновом районе (94–142 мкг/л и 1–8 мкг/л соответственно). Высокая концентрация фосфора связана с поступлением коммунальных стоков из городов Кировск и Апатиты, а также распространением тонкодисперсных фосфоросодержащих взвесей, содержащихся в сточных водах ОАО «Апатит». Здесь же отмечается и максимальное содержание нитратов, которые составляют более 50% общего содержания азота. Высокая концентрация  $N_{\text{общ}}$  в воде может объясняться попаданием в водоемы нитратов и нитритов, образующихся при использовании азотсодержащих взрывчатых веществ в процессе добычи апатитовой руды.

## Материалы и методы

Отбор проб зоопланктона проводился в период гидробиологического лета с 1996 г. по 2012 г. Всего отобрано и обработано 50 проб (рис. 2).

Количественные пробы брали батометром (объем 2 л) от поверхности до дна через 1 м с выделением слоев: поверхность – 2 м, 2–5 м, 5–10 м, 10 м – дно. Интегральные пробы с каждого слоя процеживали через качественную сеть Апштейна (сито № 70) в бутылки с плотными резиновыми пробками. Для установления видового состава зоопланктонного сообщества производили тотальный лов той же сетью. Полученный материал фиксировали 4-процентным формалином и раствором Люголя.

Обработка проб и необходимые расчеты проводились согласно общепринятым методикам гидробиологического мониторинга [20]. Расчет индивидуальной массы организмов выполнен на основе уравнения зависимости между длиной и массой тела планктонных коловраток и ракообразных [21, 22]. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ STATISTICA 6.0.

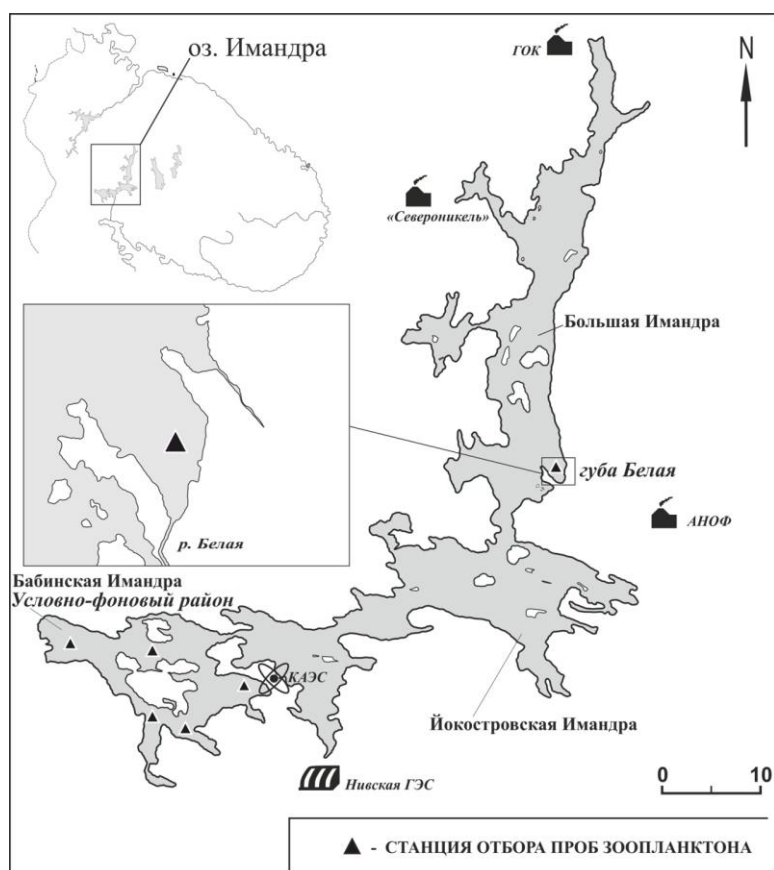


Рис. 2. Карта-схема района исследований и станции отбора гидробиологических проб

## Результаты и обсуждение

Зоопланктон условно-фонового района в настоящее время представлен 27 видами: *Rotifera* – 9, *Cladocera* – 10, *Copepoda* – 8. Подробный таксономический состав приведен в работе [23]. За многолетний период исследований видовой состав зоопланктонного сообщества не претерпел существенных изменений. Доминировали мирные коловратки *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Kellicottia longispina*, *Notholca caudata* и ветвистоусый «тонкий» рачок-фильтратор *Bosmina obtusirostris* (см. таблицу).

В целом в зоопланктоне условно-фонового участка по численности преобладали коловратки, по биомассе – наиболее ценные в кормовом отношении ветвистоусые (*Bosmina obtusirostris*, *Daphnia cristata*, *Holopedium gibberum*) и веслоногие (*Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*) ракообразные. В 1996 и 1998 гг. отмечалось обильное развитие чувствительных к загрязнению активных «грубых» мирных фильтраторов-каланоид (*Eudiaptomus gracilis* и *Holopedium appendiculata*), играющих значительную роль в процессе самоочищения воды. В остальные годы исследований хищники преобладали над мирными.

Показатели общей численности и биомассы составляли в среднем  $68.7 \pm 44.1$  тыс. экз/м<sup>3</sup> и  $0.4 \pm 0.2$  г/м<sup>3</sup> соответственно. Индекс видового разнообразия Шеннона варьировал от 1.7 до 2.9 бит/экз. Диапазон колебаний средней индивидуальной массы зоопланктера (0.006–0.021 мг) согласуется с данными для других водоемов Кольского п-ова [24, 6]. По «шкале трофности» воды условно-фонового района относились к низкому типу трофности, трофический статус – олиготрофный (см. таблицу).

Современное сообщество зоопланктона губы Белой – результат длительного воздействия комплекса факторов, как многолетних изменений абиотических условий среды, так и соотношений между самими организмами в сообществе.

Для зоопланктонного сообщества губы Белой характерны резкие колебания численности и биомассы, изменение видового состава. Ретроспективный анализ данных показал, что многолетняя динамика зоопланктона до начала 1980-х гг. характеризовалась сокращением

видового богатства, численности и биомассы, а к 1990 г. – увеличением данных показателей. В период исследований с 1978 по 1991 гг. отмечалось массовое развитие коловраток (численность выше 70%, биомасса – 55%) [25]. Вблизи дамбы отстойника АНОФ видовой состав зоопланктона был крайне обедненным, количественные показатели низкими, а к выходу в открытое озеро видовое богатство, численность и биомасса зоопланктона закономерно возрастали (в основном за счет коловраток). На специфическую структуру сообщества зоопланктона могло оказать влияние и обильное развитие в воде сапрофитных, денитрифицирующих бактерий, актиномицетов и «фосфорных» бактерий, способных разлагать некоторые нерастворимые минеральные формы  $P_{\text{общ}}$  [25, 26]. Среди доминирующих таксонов отмечались *Asplanchna priodonta*, *Notholca* sp., *Acanthocyclops* sp. Фильтраторы и седиментаторы обнаружены только в пелагиали плеса, где концентрация минеральных тонкодисперсных частиц в воде была сравнительно низкой. Здесь наряду с *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и *Synchaeta pectinata* в пробах присутствовал рачок *Bosmina obtusirostris* [4, 27, 28].

В ходе исследований авторов в составе зоопланктона губы Белой выявлено 30 видов: *Rotifera* – 17, *Cladocera* – 6, *Copepoda* – 7 [23]. В составе руководящего комплекса организмов в разные периоды исследований преобладали коловратки: хищная *Asplanchna priodonta*; мирные *Brachionus calyciflorus*, *Bipalpus hudsoni*, *Keratella cochlearis*, *K. hiemalis*, *K. quadrata*, *Notholca caudata*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp.; мирный ветвистусый рачок-фильтратор *Bosmina obtusirostris* и хищный веслоногий рачок *Mesocyclops leuckarti* (см. таблицу).

Следует отметить, что видовой состав зоопланктона в различные годы был непостоянен, число видов в отдельные сезоны колебалось от 8 до 16. Присутствовали зоопланктеры, которые не встречались в условно-фоновом районе: из коловраток – *Euchlanis dilatata*, *Filinia longiseta*, *Ploesoma* sp., *Synchaeta* sp., *Trichocerca* sp., *Trichotria* sp.; из кладоцер – *Alonopsis elongata*, *Chydorus globosus*, *Daphnia* sp.; из копепод – *Acanthocyclops vernalis*.

Подобная структура зоопланктона характерна и для других северных озер, загрязняемых стоками горнорудных производств. Так, В.И. Кухарев с соавторами [29] тоже отмечает доминирование коловраток и практически полное исчезновение рачков группы *Calanoida* в водах наиболее экологически нарушенного водоема – хвостохранилища Костомукшского ГОКа.

Обильное развитие коловраток можно объяснить их повышенной устойчивостью к токсикантам благодаря смешанному характеру питания, слабым выеданием хищниками, а также меньшей, по сравнению с ракообразными, чувствительностью к условиям высоких концентраций неорганической взвеси в воде [30–33].

К многочисленным факторам среды, воздействующим на гидробионтов, относится и повышение мутности водных масс в результате влияния естественных и антропогенных факторов. По данным Л.М. Сушени [34] и Б.Л. Гутельмахера [35], избыток взвеси оказывает механическое воздействие на низших ракообразных. Минеральные частицы забивают фильтрационный аппарат многих фильтраторов (кладоцеры и каланоиды), препятствуя тем самым их питанию, способствуя погружению организмов ко дну и их отмиранию [36]. Опыты, проведенные на популяции *Daphnia magna* Straus, показали, что после пребывания рачков в воде с высоким содержанием минеральных частиц грунта отмечается снижение устойчивости дафний к воздействию токсических веществ за счет изменения состояния адаптационных возможностей организма [37]. Отрицательное влияние механических примесей на гидробионтов выражается в основном в гибели взрослых особей и молоди, а также в нарушении процессов размножения и развития, в резорбции и выбрасывании яиц и мертвых зародышей, образовании эфиппиев. Коагуляционные частицы засоряют фильтрационные аппараты рачков, лишая их возможности нормально плавать и питаться.

Количественные показатели зоопланктонного сообщества условно-фонового района и губы Белой оз. Имандра в многолетнем ряду наблюдений

Периоды	N, тыс. экз/м³	B, г/м³	H (N), бит/экз.	Доминирующие виды зоопланктона в исслед. период	Трофический статус
<i>Условно-фоновый район</i>					
июль 1996 г.	96.5	1.0	2.5	<i>Bosmina obtusirostris</i> Sars	олиготрофный
июль 1998 г.	20.1	0.4	2.6	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellcott)	олиготрофный
август 2003 г.	7.8	0.2	2.9	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	олиготрофный
август 2006 г.	43.4	0.4	1.7	<i>Keratella quadrata</i> (Müller)	олиготрофный
июль-август 2011 г.	230.1 76.0-331.6	0.5 0.4-0.6	1.7 1.6-1.9	<i>Notholca caudata</i> Carlin	олиготрофный
<i>Губа Белая</i>					
июль 1996 г.	491.1	3.4	2.9	<i>Notholca caudata</i> Carlin <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse) <i>Keratella hiemalis</i> Carlin	β-мезотрофный
июль 1998 г.	326.5	2.8	1.9	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse <i>Keratella quadrata</i> (Müller) <i>Notholca caudata</i> Carlin	β-мезотрофный
август 2001 г.	14.5	0.2	1.6	<i>Viparipus hudsoni</i> (Imhof) <i>Synchaeta</i> sp. <i>Bosmina obtusirostris</i> Sars <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	олиготрофный
август 2003 г.	35.8	0.6	2.9	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse <i>Synchaeta</i> sp.	олиготрофный
август 2006 г.	232.9	0.3	2.2	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse <i>Synchaeta</i> sp.	олиготрофный
июль-август 2011 г.	1064.5 206.6-1927.7	7.1 0.2-12.7	1.1 0.5-1.6	<i>Synchaeta</i> sp. <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse) <i>Polyarthra</i> sp.	α-эвтрофный
июль-август 2012 г.	645.5 611.2-680.0	1.3 1.2-1.3	2.1 2.1-2.4	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse) <i>Polyarthra</i> sp. <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	α-мезотрофный

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей. В частности, Н.М. Калинкина и Т.П. Куликова в своих работах [38, 39] отмечают меньшую устойчивость данных рачков к действию минеральных загрязняющих веществ. Эврибионтные виды кладоцер и коловраток (родов *Bosmina*, *Asplanchna*, *Keratella*) более толерантны к минеральному загрязнению, что обусловило их выживание в водах с повышенными концентрациями неорганических веществ. Основным фактор, с которым связаны перестройки в сообществе, по мнению указанных авторов, – не ухудшение трофических условий, а различная толерантность планктонных беспозвоночных к отходам горнорудного производства. По степени толерантности к нарушению ионного состава воды среди массовых видов были выделены три группы организмов: с весьма низкой толерантностью – *Holopedium gibberum*, *Leptodora kindtii*, *Polyphemus pediculus*, *Bosmina longimanus*, *Eudiaptomus gracilis*, *Heterocope appendiculata*, со средней – *Thermocyclops oithonoides*, *Mesocyclops leuckarti*, *Daphnia cristata*, *Bosmina obtusirostris*, *Kellicottia longispina*, с высокой – *Daphnia longispina*, *Bipalpus hudsoni* и др.

В целом за период многолетних исследований отмечено преобладание типичных индикаторов загрязнения – коловраток (*Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp.). Следует сказать, что чувствительные к загрязнению активные «грубые» фильтраторы-каланоиды (*Eudiaptomus graciloides* и *Heterocope appendiculata*), изымающие из толщи воды крупные частицы взвешенных органических веществ, в пробах отсутствовали или были отмечены единично, что свидетельствует о снижении биофильтрационной активности зоопланктона в этом районе озера. Мирные формы зоопланктона преобладали над хищными.

Анализ количественных показателей зоопланктона выявил, что значения общей численности и биомассы в губе Белой примерно в 5.5 раз превышали таковые в условно-фоновом районе и составляли  $401.7 \pm 140.1$  тыс. экз/м<sup>3</sup> и  $2.2 \pm 0.9$  г/м<sup>3</sup> соответственно. При этом для них типичны резкие колебания при непостоянстве видового состава [23]. Индекс видового разнообразия Шеннона варьировал от 1.3 до 2.9 бит/экз. Величина средней индивидуальной массы зоопланктона (0.001–0.018 мг) отражает преобладание форм, имеющих мелкие размеры – коловраток.

Совершенно очевидно, что система находится в нестабильном состоянии и подвержена значительным флуктуациям. Выделить ключевые факторы, контролирующие численность зоопланктона губы Белой в условиях многофакторного разноуровневого загрязнения, достаточно сложно.

Несмотря на снижение в последнее 10-летие уровня антропогенной нагрузки, качество воды оз. Имандра по-прежнему остается неблагоприятным. Яркие выраженные процессы эвтрофикации представляют потенциальную опасность для дальнейшего развития экосистемы. Изменение объемов притока биогенов, интенсификация токсической нагрузки, а также локальные флуктуации региональной климатической системы могут дестабилизировать существующее хрупкое равновесие, что повлечет за собой катастрофические последствия для самой губы Белой и для оз. Имандра в целом.

Раскрытие закономерностей и понимание механизмов формирования структуры зоопланктона в губе Белой оз. Имандра требует продолжения систематических гидробиологических и гидрохимических исследований.

## Выводы

1. Установлено, что в условиях современных изменений окружающей среды структурные перестройки пресноводных экосистем Евро-Арктического региона в целом проявляются в снижении видового разнообразия гидробионтов, смене доминирующих комплексов, замещении реликтовых и олигосапробных видов эврибионтными с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения и формировании сообществ из устойчивых к загрязнению форм. Тенденции антропогенной трансформации гидробиоценозов включают также бореализацию и космополитизацию сообществ.

2. Зоопланктонное сообщество удаленного от источников загрязнения условно-фоновом районе оз. Имандра характеризуется высокой долей фильтраторов за счет присутствия наиболее ценных в кормовом отношении крупных ветвистоусых (*Bosmina obtusirostris*, *Daphnia cristata*,



*Holopedium gibberum*) и веслоногих (*Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*) ракообразных, а также обильным развитием чувствительных к загрязнению активных «грубых» фильтраторов-каланоид (*Eudiaptomus gracilis* и *Heterocope appendiculata*), играющих значительную роль в процессе самоочищения воды.

3. В зоопланктоне губы Белой, испытывающей влияние сточных вод апатит-нефелинового производства, отмечается снижение обилия типичных представителей фауны олиготрофных озер (*Leptodora kindtii*, *Holopedium gibberum*, *Eudiaptomus graciloides*, *Heterocope appendiculata*). Состав руководящего комплекса формируют *r*-стратеги – эврибионтные виды с широкой экологической валентностью, простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения (коловратки *Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra* sp., *Synchaeta* sp.), значительная доля которых относится к космополитам. Это свидетельствует о снижении биофильтрационной активности зоопланктона в данном районе озера.

4. Количественные показатели сообщества также проявляют определенную специфику в зависимости от степени техногенного загрязнения водоема. Величины общей численности и биомассы зоопланктона в губе Белой примерно в 5.5 раз превышали таковые в условно-фоновом районе. Это вызвано одним из основных лимнических процессов – эвтрофированием, обусловленным достаточно высокими концентрациями в воде биогенных (N и P) и органических веществ при сопутствующем техногенном загрязнении неорганической взвесью, которое выступает здесь «ведущим» фактором.

5. Согласно шкале трофности С.П. Китаева [40] в современный период исследований трофический статус губы Белой оз. Имандра характеризуется как переходный от повышенного  $\alpha$ -эвтрофного к умеренному  $\alpha$ -мезотрофному типу, условно-фоновому району (Бабинская Имандра) – олиготрофный.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области / Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер, Д.Б. Денисов, С.А. Валькова и др. // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 1. С. 98–107.
2. Антропогенная трансформация Арктической экосистемы озера Имандра: тенденции к восстановлению после длительного периода загрязнения / Т.И. Моисеенко, Н.А. Гашкина, А.Н. Шаров, О.И. Вандыш и др. // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 3. С. 312–325.
3. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб., 1996. С. 189.
4. Моисеенко Т.И., Яковлев В.А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л., 1990. С. 221.
5. Баранов И.В. Лимнологические типы озер СССР. Л., 1961. С. 276.
6. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область) / Н.А. Кашулин, Д.Б. Денисов, С.С. Сандимиров [и др.]. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2008. Т. 2. 282 с.
7. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / Т.И. Моисеенко, В.А. Даувальтер, Л.П. Кудрявцева, Б.П. Ильшук и др.; под ред. Т.И. Моисеенко. М.: Наука. 2002. 487 с.
8. Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском полуострове: Докл. Гос. ком. по охране окружающей среды Мурман. области. Мурманск, 1999. 217 с.
9. Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском полуострове: Докл. Гос. ком. по охране окружающей среды Мурман. области. Мурманск, 2000. 203 с.
10. Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском полуострове: Докл. Гос. ком. по охране окружающей среды Мурман. области. Мурманск, 2002. 128 с.
11. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2003 году. Мурманск, 2004. 138 с.
12. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2004 году. Мурманск, 2005. 128 с.
13. Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2005 году. Мурманск, 2006. 120 с.
14. Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2006 году. Мурманск, 2007. 160 с.
15. Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2007 году. Мурманск, 2008. 147 с.
16. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области окружающей среды Мурманской области в 2008 году. Мурманск: Кн. изд-во, 2009. 152 с.
17. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области окружающей среды Мурманской области в 2010 году. Мурманск: ООО «Рекламное агентство» XXI век», 2011. 152 с.
18. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области окружающей среды Мурманской области в 2011 году. Мурманск: ООО «Ростсервис», 2012. 152 с.
19. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20.
20. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Наука, 1992. С. 318.
21. Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers // Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. 1977. Bd. 8. P. 71-78.
22. Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л., 1979. С. 58–72.
23. Особенности планктонных сообществ губы Белой озера Имандра при долговременном воздействии сточных вод горнорудного производства / О.И. Вандыш., Д.Б. Денисов, А.А. Черепанов, Т.А. Горбачева и др. // Труды Кольского НЦ РАН 3/2013 (16). Прикладная экология Севера. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. Вып. 3. С. 35–67.

24. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Ч. 1: Ковдорский район / *Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер, Т.Г. Кашулина* и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. 234 с. 25. *Яковлев В.А.* Реакция зоопланктона и зообентоса на изменение качества воды субарктического водоема (на примере озера Имандра) // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 6. С. 715. 26. *Евдокимова Г. А.* Изменение интенсивности микробиологических процессов в озере Имандра в связи с его загрязнением // Природа и хозяйство Севера. 1988. Вып. 16. С. 59. 27. *Деньгина Р.С.* Экосистема озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения. Апатиты. Кольск. фил. АН СССР. 1980. С. 78. 28. *Яковлев В.А.* Оценка многолетних изменений в развитии и структуре зоопланктона и зообентоса крупного субарктического водоема (на примере оз. Имандра). Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского Севера. Апатиты, КНЦ РАН, 1995. С. 89. 29. Комплексная оценка эколого-техногенной нагрузки (Костомукшский ГОК) на водные системы (р. Кенти) / *В.И. Кухарев, Н.М. Калинин, Л.В. Дубровина, А.В. Рябинкин* и др. // Инженерная экология. М.: «Инженерная экология», 1998. № 6. С. 33–41. 30. *Телеш И.В.* Роль планктонных ракообразных в водных экосистемах разного типа (на примере Ладожского озера, р. Невы и Невской губы) // Материалы VII съезда гидробиол. общ. РАН. Казань, 1996. Т. 2. С. 90–92. 31. *Gliwicz Z.M.* Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes with varying trophy // *Ekol. pol.* 1969. Vol. 17, № 36. P. 663-708. 32. *Malley D.F., Findlay D.L., Chang P.S.* Ecological effects of acid precipitation on zooplankton // *Acid precipitation: effects on ecological systems.* Ann Arbor Publishers, Ann Arbor., 1982. P. 297–327. 33. *Brezonik P.L., Crisman T.L. and Schultz R.L.* Planktonic communities in Florida softwater lakes of varying pH // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1984. Vol. 41. P. 46–56. 34. *Сушеня Л.М.* Количественные закономерности питания ракообразных. Минск, 1975. С. 208. 35. *Гутельмахер Б.Л.* Метаболизм планктона как единого целого. Трофометаболические взаимодействия зоо- и фитопланктона. Л., 1986. С. 155. 36. *Ривьер И.К.* Влияние стоков г. Череповца на зоопланктон Шекснинского плеса // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. Рыбинск, 1990. С. 42–58. 37. *Горбунова А.В.* Влияние повышенной мутности воды на токсикорезистентность дафний // Тез. докл. II Всесоюз. конф. по рыбохоз. токсикологии. СПб., 1991. Т. 1. С. 121–122. 38. *Калинкина Н.М., Куликова Т.П.* Экологические особенности различных видов пресноводного зоопланктона и их толерантность к антропогенному воздействию // Структурно-функциональные особенности биосистем Севера (особи, популяции, сообщества): матер. конф. (Петрозаводск, 26-30 сент. 2005 г.). Ч. 1. Петрозаводск, 2005. С. 159–162. 39. *Калинкина Н.М., Куликова Т.П.* Эволюционная обусловленность реакции гидробионтов на изменение ионного состава воды (на примере пресноводного зоопланктона) // Известия РАН. Серия биологическая. 2009. № 2. С. 243–248. 40. *Китаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. 207 с.

#### Сведения об авторах

*Вандыш Оксана Ивановна* – к.б.н., ученый секретарь ИППЭС КНЦ РАН;  
e-mail: vandysh@inep.ksc.ru

*Кашулин Николай Александрович* – д.б.н., проф., заместитель директора по научной работе ИППЭС КНЦ РАН; e-mail: nikolay@inep.ksc.ru

*Черепанов Александр Александрович* – вед. инженер ИППЭС КНЦ РАН;  
e-mail: cherepanov@inep.ksc.ru

## ОПЫТ РЕГИСТРАЦИИ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Бурцев А.В.<sup>1</sup>, Невретдинов Ю.М.<sup>1</sup>, Сытина А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН

<sup>2</sup> Кольский филиал Петрозаводского государственного университета

### Аннотация

Показана целесообразность проведения региональной регистрации грозовых разрядов, приведены данные о территориальном распределении разрядов молнии за 2013 г., полученные с помощью системы регистрации StormTracker (Boltek, Канада). Показаны возможности визуализации результатов обработки регистраций и их совмещения с данными эксплуатации о грозовых нарушениях в сети.

### Ключевые слова:

*Boltek StormTracker, молния, распределение разрядов молнии, плотность разрядов.*



Проблемы решения задач молниезащиты элементов электрической сети Кольского региона определяются специфическими особенностями региона, к которым относятся низкая интенсивность грозовой деятельности и сложность реализации требований к исполнению грозозащитных мероприятий: заземляющих устройств и тросовой защиты воздушных линий

электропередач (ВЛ). При этом нормативными документами [1] предусматривается упрощение защиты – возможность отсутствия тросовой защиты ВЛ по всей длине и некоторое снижение требований к грозозащитным заземлениям. Однако грунтовые условия в значительной степени затрудняют или исключают возможность выполнения этих требований. Результаты обследований заземлений опор тросовых подходов ВЛ 35, 110, 150 и 330 кВ к подстанциям продемонстрированы в табл. 1.

Таблица 1

Заземления опор тросовых подходов ВЛ 35, 110, 150 и 330 кВ к подстанциям

	Класс напряжения	Число опор с сопротивлением заземления ( $R_z$ )		
		всего	$30 < R_z \leq 60$ Ом	Более 60 Ом
Заземление опор ВЛ на подходах	35 кВ	46 / 100%	10 / 21.7%	12 / 26.1%
	110–150 кВ	242 / 100%	30 / 12.4%	124 / 51.2%
	330 кВ	112 / 100%	15 / 13.4%	71 / 63.4%
	Всех ВЛ	400 / 100%	55 / 13.8%	207 / 51.7%

Из числа обследованных опор с тросом более 56% не соответствуют требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ). Схожие проблемы имеются при реализации контуров заземления подстанций и электростанций [2], характеристика которых приведена в табл. 2.

Достаточность характеристик реализованных грозозащитных заземлений (в совокупности с другими мерами) или необходимость их улучшения можно обосновать по критериям

надежности с учетом характеристик грозовой деятельности в месте расположения обследуемых ВЛ или подстанций. Однако в этой части имеются значительные расхождения исходной информации и данных эксплуатации. Для иллюстрации на рис. 1 приведены границы деления территории Кольского п-ова по грозовой активности в соответствии с ПУЭ и Руководящими указаниями (РД) по грозозащите сети 35–1 150 кВ [3].

Таблица 2

Характеристика контуров заземления подстанций и электростанций

Заземление элементов сети		Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Число подстанций	
			Всего	Несоответствие ПУЭ
Контур заземления подстанций	Всего	100–5000	38	24 / 66.7%
	в том числе	100–1000	19	16 / 84.2%
		1000–2000	6	4 / 66.7%
		2000–5000	13	4 / 30.8%



Рис. 1. Сопоставление карт среднегодовой продолжительности гроз на Кольском п-ове по ПУЭ [1] и РД [3]

Указанное несоответствие может быть объяснено использованием в ПУЭ и РД метеоданных за разные периоды времени. Однако и они плохо согласуются с данными эксплуатации Кольской электроэнергетической системы, которые систематизированы и представлены на рис. 2, а также приведены в отчетах о прохождении грозового сезона.

Используемый в нормативных документах показатель грозовой активности – число грозовых часов на Кольском п-ове, в течение года оно меняется от 10 до 45. Среднее число грозовых часов по указанным наблюдениям составляет около 30.

Исследования грозозащиты ВЛ 35 кВ и выше для северной части Кольской энергосистемы [4] показали значительную неравномерность удельного числа грозовых отключений линий, возможно, объясняющуюся территориальной неравномерностью распределения гроз в нашем регионе. Эти противоречивые описания непосредственно влияют на выбор и оценку эффективности грозозащитных мероприятий.

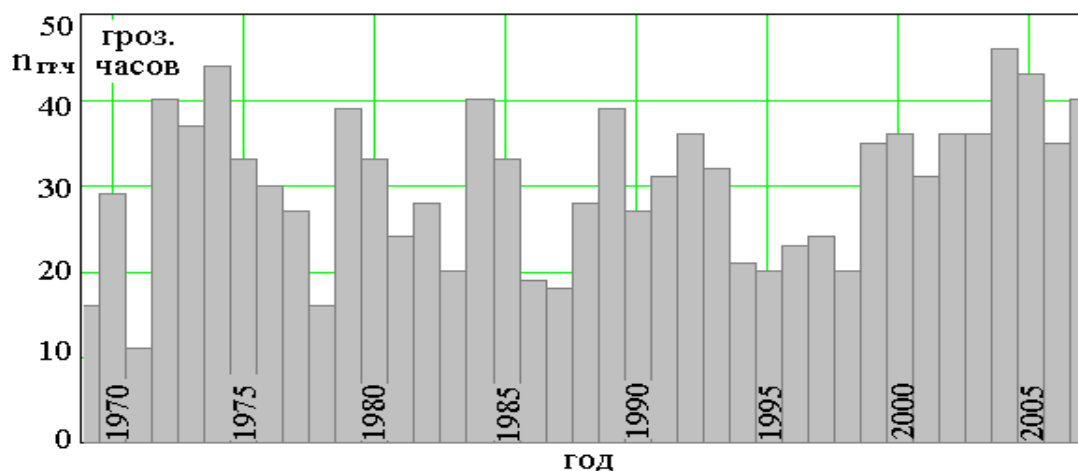


Рис. 2. Грозовая активность на Кольском п-ове с 1969 по 2007 гг. (по данным эксплуатации Кольской энергосистемы)

Данные глобальной регистрации грозовой активности на земле по наблюдениям из космоса [5] нельзя использовать вследствие их недостаточной детализации на территории Кольского п-ова. Таким образом обосновывается актуальность региональной регистрации грозовой активности, которая позволит получить необходимые знания о природных особенностях региона.

### Система регистрации грозовых разрядов

Для опытной регистрации грозовой деятельности на территории Кольского п-ова выбрана система StormTracker (Voltek, Канада). Она предназначена для обнаружения атмосферных электрических разрядов (молний) на расстоянии 450 км от места расположения базовой станции. Система установлена в лаборатории Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН и состоит из компьютерной платы формата PCI, полярной антенны и программного обеспечения Nexstorm Lite фирмы Astrogenic (рис. 3). Похожие системы длительное время функционируют в некоторых регионах России [6, 7], а также во многих странах мира [8].



Рис. 3. Система StormTracker

Регистрация событий происходит круглосуточно в автоматическом режиме. Зарегистрированные события подразделяются на помехи (noises) и разряды (strikes). В свою очередь, разряды могут иметь положительную и отрицательную полярность, и различный тип: междуоблачные (intracloud, IC) и в землю (cloud-ground, CG). События, соответствующие разрядам, отображаются на карте в полярной системе координат, центром которой является г.

Апатиты (рис. 4). Зарегистрированные данные сохраняются в файлы в двоичном (бинарном) формате. События, произошедшие за одни сутки, записываются в один файл. Посредством программы NexStorm можно просмотреть все зарегистрированные события на карте в реальном и в ускоренном до 1 024 раз масштабе времени.

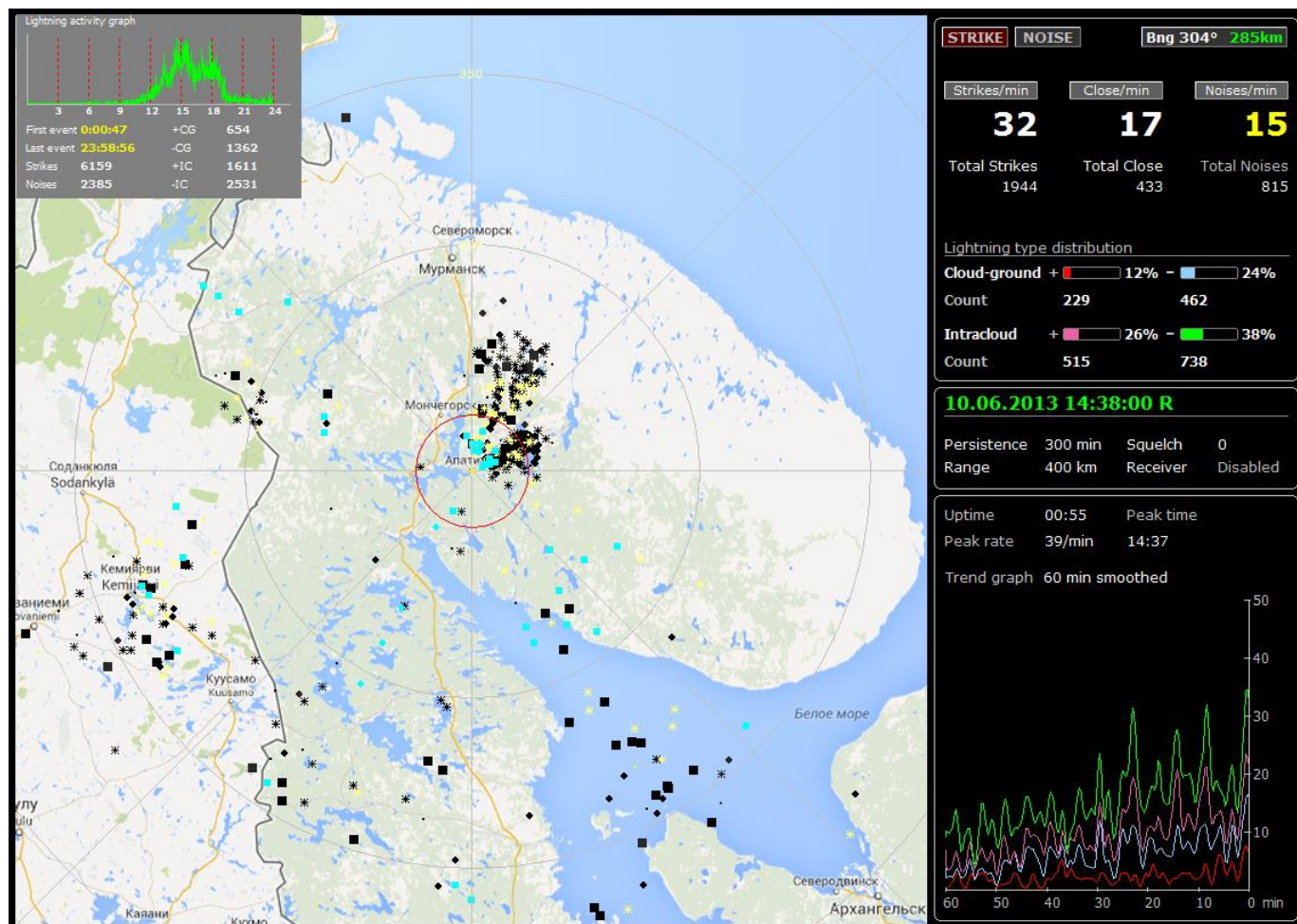


Рис. 4. Общий вид окна программы NexStorm Lite

### Обработка данных регистрации

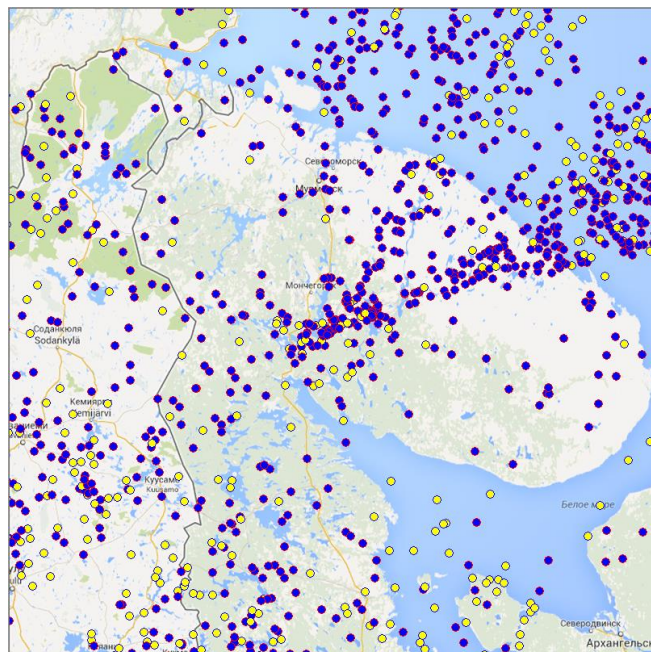
Основной недостаток программы NexStorm Lite – отсутствие экспорта зарегистрированных данных в удобный для анализа вид и представление их только в визуальной форме. Для экспорта данных в текстовый формат потребовалась разработка собственного программного обеспечения, которая состоит из аналитического (изучение структуры файла) и технического (написание программного обеспечения) этапов.

Используя математический и логический аппарат [9], были решены задачи аналитического этапа, то есть получена структура файла, на основе которой разработано программное обеспечение, позволяющее перевести исходный файл в таблицу с необходимыми данными. Данное программное обеспечение также способно игнорировать междуоблачные разряды, разделять положительные и отрицательные разряды, считать помеху событием, сохранять события из всех файлов в один, сохранять данные по распределению разрядов во времени, а также строить карту грозových часов и карту плотности разрядов в землю на территории Кольского п-ова, близлежащих территорий и акватории.

### Результаты опытной регистрации в грозовой сезон 2013 г.

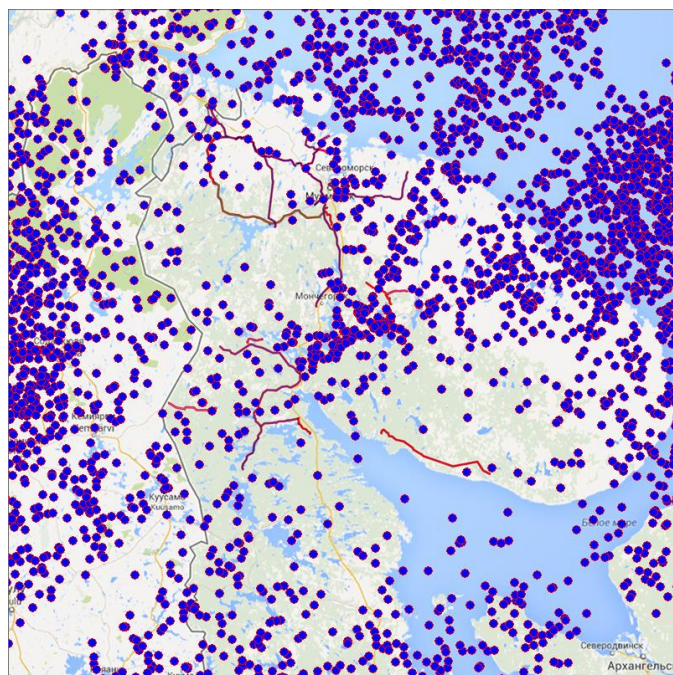
Анализ регистраций проведен на участке площадью 640 тыс. км<sup>2</sup>, в центре которого расположена Мурманская обл. Грозовой сезон в 2013 г. наблюдался с 4 июня по 12 сентября.

За указанный период зарегистрировано 38 286 разрядов. Междуоблачных разрядов зафиксировано 30 230 ударов (15 105 – отрицательных, 15 125 – положительных), в землю зафиксировано 8 056 (4 879 отрицательных, 3 177 положительных). Пример визуализации данных за одни сутки приведен на рис. 5.



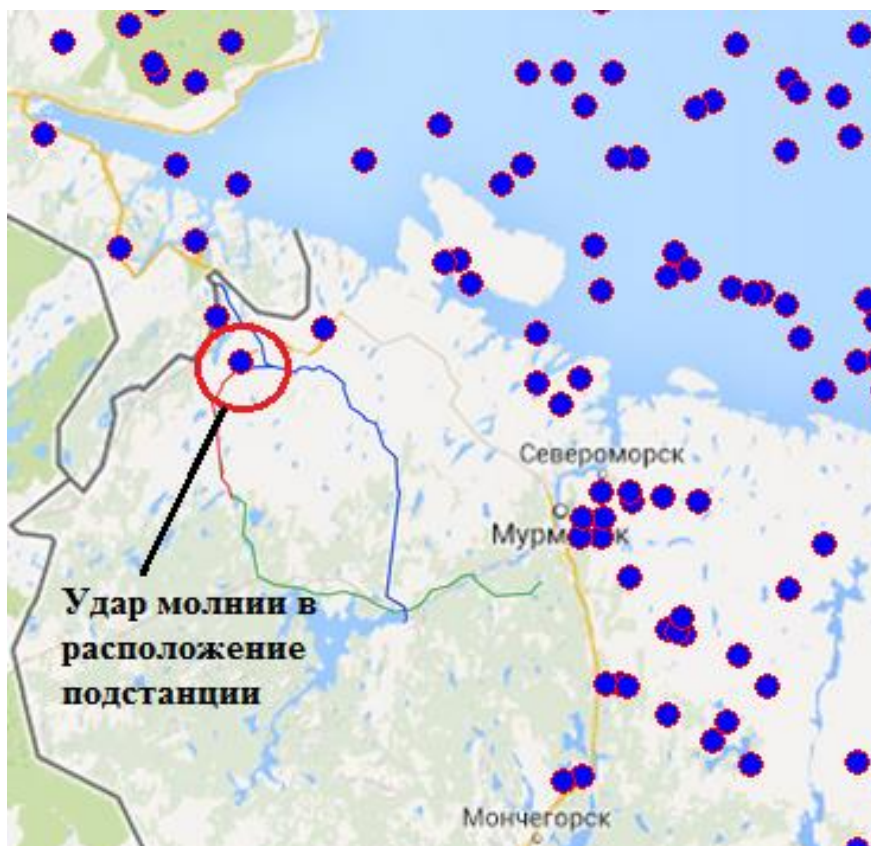
*Рис. 5. Распределение положительных (светлые) и отрицательных (темные) разрядов в землю за сутки 10.06.2013 г.*

Результаты регистрации сопоставлены с автоматическими отключениями ЛЭП в Кольской энергосистеме при прохождении гроз. Показаны все удары молний в землю за грозовую сезон 2013 г., а также линии электропередач, на которых были инициированы отключения и перебои в работе (рис. 6).



*Рис. 6. Разряды в землю и автоматически отключенные линии за грозовую сезон 2013 г.*

Пример удара молнии, вызвавший перебои в работе подстанции, а также отключение примыкающих линий электропередачи показан на рис. 7.



*Рис. 7. Удар молнии в расположение подстанции 1.07.2013*

Для построения карт территориального распределения грозовых разрядов в землю с заранее определенной точностью разработан специальный программный модуль. Точность устанавливается в соответствии с поставленными задачами. Карта, изображенная на рис.8, построена с учетом наибольшей информативности с точки зрения визуализации. Данная карта разбита на 900 квадратов площадью около 711 кв. км каждый. Для каждого квадрата рассчитано число ударов в землю. Таким образом, получена карта плотности разрядов с заданной точностью за грозовой сезон 2013 г. Распределение зарядов в землю имеет сильную неравномерность (рис. 8). Можно предположить, что в районах с высокой плотностью разрядов линии электропередач и другие объекты электроснабжения нуждаются в повышенной грозозащите.

Полученные результаты носят предварительный характер, необходимо продолжение и развитие регистраций, что должно позволить выявить специфические тенденции, характерные для конкретного региона.

Контроль эффективности системы регистрации, установленной в лаборатории, дополнительно выполнен с помощью сверки данных грозопеленгации и метеослужб. Выполненная сверка показала хорошее совпадение результатов регистрации прохождения гроз. Однако для повышения точности локализации разрядов требуется развивать системы регистрации с увеличением числа пунктов расположения регистраторов на значительном удалении их друг от друга.



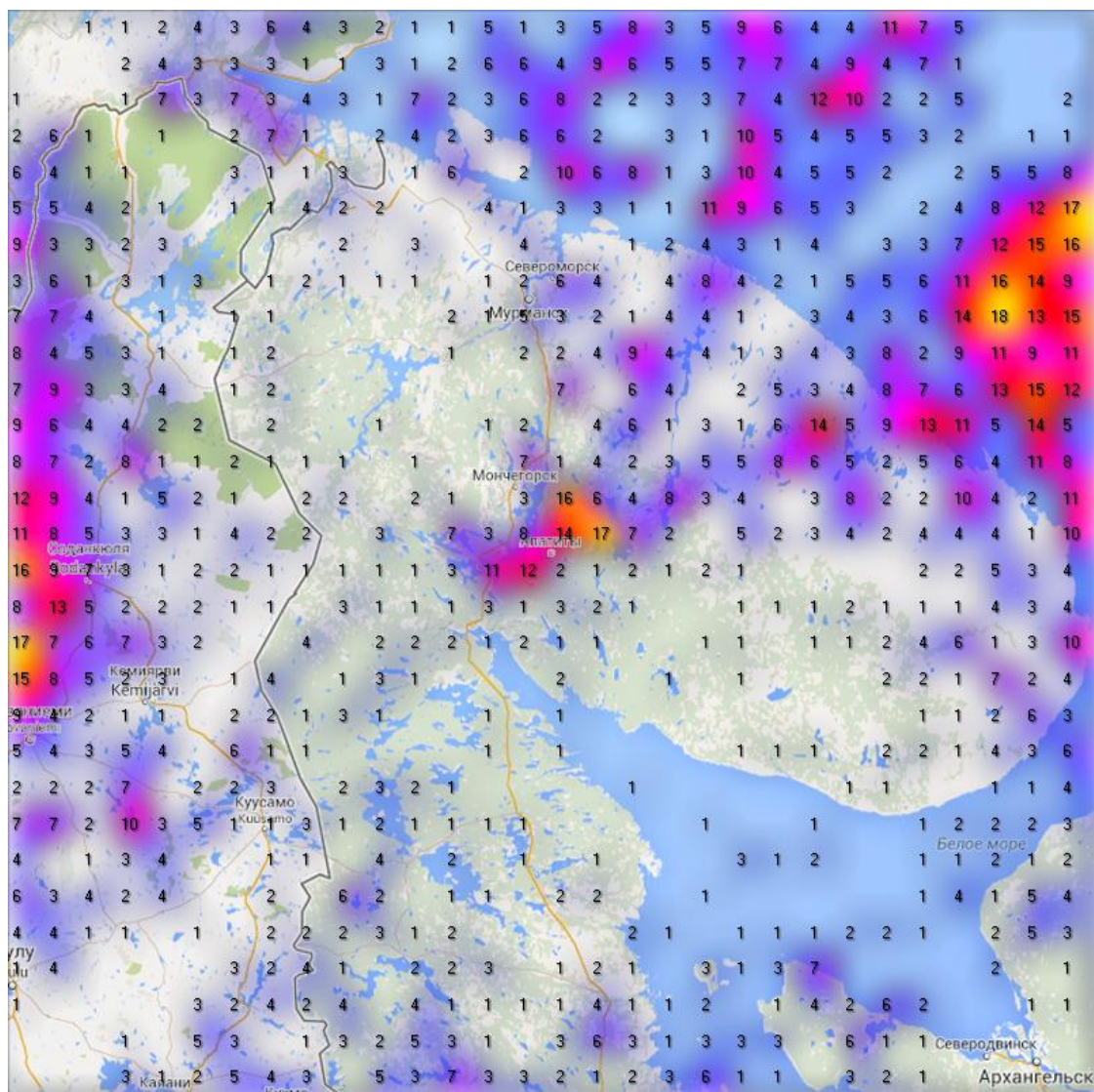


Рис. 8. Карта плотности ударов молнии в землю с заданной точностью за грозовой сезон 2013 г.

## Выводы

1. Показана целесообразность проведения региональной регистрации грозовой активности на Кольском п-ове, которая позволит дифференцированно определять набор и исполнение грозозащитных мероприятий.
2. Опытная регистрация в 2013 г. подтвердила возможность применения системы StormTracker. Разработан пакет программ для обработки и визуализации регистраций.
3. Получены данные о существенной неоднородности территориального распределения разрядов молнии. Предварительно выявлены районы со значительной интенсивностью наземных разрядов молнии.
4. Для повышения достоверности характеристик грозовой деятельности необходимо продолжение регистраций и накопление статистических данных за многолетний период. Развитие системы регистраций даст возможность повысить точность регистраций и расширить набор регистрируемых параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. РФ. 2. Костенко М.В., Ю.М. Невретдинов, Ф.Х. Халилов. Грозозащита электрических сетей в районах с высоким удельным сопротивлением грунта. Ленинград: «Наука», 1984. 112 с. 3. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. РД 153-34.3-35.129-99. СПб.: Изд-во ПЭИПК, 1999. 4. Опыт эксплуатации ВЛ 110 и 150 кВ Северных электросетей ОАО «Колэнерго»: вопросы грозозащиты / А.Н. Новикова О.В. Шмараго,

*Б.В. Ефимов, А.Н. Данилин, Ю.М. Невретдинов* // Известия НИИ постоянного тока. Научный сборник № 65. СПб., 2011. 5. Where Lightning Strikes. Режим доступа: [http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec\\_1/](http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast05dec_1/)  
6. *Горбатенко В.П., Ершова Т.В., Константинова Д.А.* Пространственное распределение плотности разрядов молнии в землю над Западной Сибирью // Вестник ТГУ. 2009. № 329. С. 215–221. 7. Мониторинг опасных метеорологических явлений в Верхневолжском регионе / *Ю.В. Шлюгаев, В.В. Клименко, Е.А. Мареев [и др.]* // Сборник трудов VII Всероссийской конференции по атмосферному электричеству, г. Санкт-Петербург, 24–28 сентября 2012. СПбГУ, 2012. С. 133–135. 8. *C.J. Davis and Kin-Hing Lo.* An enhancement of the ionospheric sporadic-E layer in response to negative polarity cloud-to-ground lightning // Geophysical research letters. 2008. Vol. 35. L05815, doi:10.1029/2007GL031909. 9. *Бурцев А.В.* Использование математического и логического аппарата для преобразования данных программы Astrogenic Nexstorm Lite для регистрации атмосферных электрических разрядов. Математические исследования в естественных науках // Труды IX Всероссийской научной школы. Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН, Кольское отделение РМО, 10–11 октября 2013 г. / ред. Ю.Л. Войтеховский. Апатиты: Изд-во К & М, 2013. С. 113–118.

### **Сведения об авторах**

*Бурцев Антон Владимирович* – старший инженер Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН; e-mail: [tonyburt@rambler.ru](mailto:tonyburt@rambler.ru)

*Невретдинов Юрий Масумович* – к.т.н., ведущий научный сотрудник Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН; e-mail: [ymnevr@mail.ru](mailto:ymnevr@mail.ru)

*Сытина Александра Николаевна* – студент Кольского филиала Петрозаводского государственного университета; e-mail: [syтина\\_a@mail.ru](mailto:sytina_a@mail.ru)

### **Научный семинар «Молекулярные методы исследования (ДНК-анализ) почвенных микробных сообществ»**

***ИППЭС КНЦ РАН, 22 мая 2014 г.***

Большинство участников – молодые ученые и аспиранты Института. На семинаре сделан доклад по итогам работы В.В. Редькиной (лаборатория экологии микроорганизмов) в Норвежском арктическом университете (г. Тромсё), осуществленной в рамках международного проекта «Экология Побережья, Технологии и Инновации в Арктике (СЕТИА)». Планом проекта СЕТИА предусматривался визит российских участников в Университет Тромсё с целью совместной работы по развитию и использованию молекулярных технологий для исследования разнообразия микроорганизмов, участвующих в биодеградации нефтепродуктов в загрязненных почвах. В прозвучавшем докладе описана процедура выделения общей ДНК из образцов почвы с первоначальной высокой концентрацией дизельного топлива, перечислены сложности, возникшие при проведении полимеразной цепной реакции (ПЦР) ввиду наличия в выделенной ДНК ингибиторов ПЦР, а также охарактеризованы различные методы секвенирования (определения последовательности нуклеотидов ДНК) и приборы, используемые на каждом этапе работы. В ходе обсуждения сделан вывод о необходимости дополнения традиционных микробиологических методов исследования, таких как прямой счет под микроскопом и посев на питательные среды, т.к. некультивируемые формы микроорганизмов могут вносить существенный вклад в процессы восстановления природных сред при различных типах загрязнения.

### **XI Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия**

***ГИ КНЦ РАН, 7–8 апреля 2014 г.***

Ферсмановская научная сессия – ежегодное мероприятие, проводимое Геологическим институтом КНЦ РАН и объединяющее геологов, работающих на Кольском п-ове и сопредельных территориях, в том числе в Финляндии, Швеции и Норвегии. Как и в предыдущие годы, в конференции приняли участие геологи академических и отраслевых институтов, университетов и производственных организаций, научная и студенческая молодежь. Сессия проводится под эгидой Российского минералогического общества (РМО) и его Кольского отделения, а также Комиссии по истории РМО. В рамках сессии прошло заседание Международной научно-технической конференции «Наука и образование–2014» под эгидой Апатитского филиала Мурманского государственного технического университета.

7 апреля заседание было открыто вступительным словом директора ГИ КНЦ РАН д.г.-м.н. профессора Ю.Л. Войтеховского. На утреннем заседании заслушаны доклады доктора Л. Лаури из геологической службы Финляндии (L.S. Lauri. Critical metals and minerals in Fennoscandia) и доктора П. Йохансона (Johansson P. Geopark in Finnish Lapland. Is it worth it?), затронувшие вопросы природопользования и геотуризма в Арктике.

Работа конференции проходила в рамках трех тематических секций:

- История науки;
- Региональная геология, геохимия и минералогия;
- Технологическая минералогия. Всего заслушано 30 докладов, более 10 представлены в виде стендовых.

Для участников сессии проведена экскурсия в Центр гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН, где Т.М. Писарева познакомила их с тематической экспозицией «Эволюция добычи и использования природного сырья от ранних производств до наноматериалов» в свете выставки «Рациональное использование природных ресурсов Кольского полуострова» Музея-архива истории изучения и освоения Европейского севера КНЦ РАН.

Предусмотрено издание трудов Ферсмановской научной сессии в виде сборника полнотекстовых статей.

**2-я школа-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет»  
ПГИ КНЦ РАН, 31 марта – 4 апреля 2014 г.**

Организаторы семинара – Полярный геофизический институт КНЦ РАН, два московских института: Институт космических исследований (ИКИ), Физико-технический институт (МФТИ). Ведущими специалистами в области физики планет Солнечной системы и экзопланет были прочитаны 5 лекций, кроме этого, в основном молодыми учеными вышеперечисленных институтов сделаны 15 устных докладов. Наибольший интерес вызвала лекция «Пылевой цикл на Марсе», прочитанная сотрудницей ИКИ А.А. Фёдоровой, а также доклады А.В. Родина «Лазерная спектроскопия в исследованиях атмосферы Марса» (МФТИ), М.С. Лугинина «Исследование размеров частиц верхней дымки атмосферы Венеры по данным КА Венера-Экспресс» (ИКИ) и К.Г. Орлова «Негидростатическая модель общей циркуляции атмосферы Титана с учетом рельефа поверхности» (ПГИ КНЦ РАН). Доклады и лекции чередовались с оживленными научными дискуссиями и обсуждением будущих совместных работ.

Высказано пожелание проводить школу-семинар «Полярные процессы в атмосферах планет» ежегодно.

**Взаимодействие электромагнитных полей контролируемых источников СНЧ диапазона с ионосферой и земной корой: материалы всероссийского (с международным участием) научно-практического семинара. В 2 т. / Рос. акад. наук, Отд. наук о Земле, Кольский научный центр РАН, Геологический институт КНЦ РАН; гл. ред. академик РАН Е.П. Велихов, зам. гл. редактора д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховский.** Апатиты, 2014. Т. 1. 206 с.

В книге представлены репринты опубликованных научных статей, тезисов докладов и сообщений в широкой печати, посвященных опыту научно-исследовательских и прикладных работ с антенной сверхнизкочастотного (СНЧ) диапазона «Зевс». Книга состоит из пяти глав и фотогалереи.

В первой главе описаны расчетно-теоретические работы, во второй – приводятся результаты экспериментальных исследований с СНЧ антенной «Зевс» в России и за рубежом. Третья глава посвящена актуальной и до конца не решенной проблеме мониторинга землетрясений и лунно-солнечных приливных явлений с использованием СНЧ поля источника «Зевс». Вопросы разработки методики и техники возбуждения и регистрации электромагнитного поля рассмотрены в четвертой главе. Особое место в книге занимает пятая глава. В ней собраны публицистические статьи, доклады и воспоминания участников работ с СНЧ источником «Зевс».

Книга имеет междисциплинарный характер и представляет интерес для широкого круга специалистов, занимающихся как вопросами глубинных электромагнитных зондирований с мощными контролируруемыми источниками, так и вопросами дальней радиосвязи на море в СНЧ диапазоне.

**Материалы II Конференции научных обществ Мурманской области и V Научной сессии Геологического института КНЦ РАН, посвященных Дню российской науки / под ред. Ю.Л. Войтеховского.** г. Апатиты, 10–11 февраля 2014 г. Апатиты: Изд-во К & М, 2014. 136 с.

В сборнике представлены доклады двух конференций, состоявшихся ко Дню российской науки в стенах Геологического института КНЦ РАН 10 и 11 февраля 2014 г. Разнообразные по тематике, они показывают огромный диапазон проблем, изучаемых сотрудниками КНЦ РАН и членами научных обществ Мурманской обл. Представляет интерес для научных работников и студентов самых разных специальностей.

**Север и рынок: формирование экономического порядка. Научно-информационный журнал. 2014. № 1(38). 146 с.; № 2(39). 105 с.**

В сборниках представлены научные статьи, подготовленные по материалам выступлений на всероссийской научно-практической конференции «Развитие Севера и Арктики: проблемы и перспективы», г. Апатиты, 6–8 ноября 2013 г.

**Север и рынок: формирование экономического порядка. Научно-информационный журнал. 2014. № 2 (39). 105 с.; № 3 (40). 190 с.; № 4 (41). 133 с.; № 5 (42). 182 с.**

В сборниках представлены научные статьи, подготовленные по материалам выступлений

на VII Международной научно-практической конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения–2014», Апатиты, 10–12 апреля 2014 г.

**Турчанинова Т.В. Структурные изменения промышленного предприятия как элемента производственной системы региональной экономики.** Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2014. 95 с.

В монографии исследованы структурные изменения промышленного предприятия как элемента производственной системы региональной экономики. В основе исследования лежат судоремонтные предприятия Кольского п-ова, являющиеся одним из элементов производственной системы и обеспечивающих морехозяйственную деятельность приморского региона.

В работе раскрыты объективные предпосылки перехода к рыночной экономике, рассмотрен проектный подход к совершенствованию системы управления судоремонтным предприятием, представлены результаты исследования процесса формирования предпринимательской среды региональной экономики Кольского п-ова, оценено современное состояние рынка судоремонтных услуг и сформулирован подход к структурным изменениям на судоремонтном предприятии как элементе производственной системы региональной экономики. Предложен сценарий интегрального развития судоремонтных предприятий в рамках кластерной системы обслуживания флотов в форме плана развития производственной системы в целом, формирующей «точку роста» региональной экономики.

**Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием: в 3 ч. / Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН: в 3 ч.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. Ч. 1. 232 с.; Ч. 2. 264 с.; Ч. 3. 223 с.

В издании опубликованы материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения», посвященной вопросам рационального природопользования, изучения путей развития биосферы и техносферы, ответных реакций организмов на изменение качества среды их обитания, сохранения биологического разнообразия живых организмов, разработки приемов, методов и способов реабилитации загрязненных природных сред. В докладах уделено внимание антропогенной и природной динамике тундровых и лесных экосистем, сохранению биоразнообразия, анализируются современные тенденции изменения водных экосистем Севера, геохимии природных сред, моделированию природных процессов и технологических аспектов охраны окружающей среды, влиянию природных и социально-экономических условий на здоровье человека в районах Крайнего Севера, а также рассматривается развитие современных подходов и ресурсосберегающих технологий в природоохранной деятельности.

Сборник содержит 189 тезисов докладов, обобщающих знания о состоянии северных экосистем с позиций междисциплинарных оценок для возможного их использования при разработке региональных комплексных программ рационального природопользования и ресурсо-воспроизводящих технологий, теоретических основ изучения и сохранения биоразнообразия, для моделирования и прогноза комплексного влияния природных и антропогенных факторов на водные, наземные экосистемы и здоровье населения Арктической зоны.



*Юбилей*

75



#### **КРАШЕНИННИКОВ Олег Николаевич**

д.т.н., заведующий лабораторией бетонов ИХТРЭМС КНЦ РАН, член-корреспондент Российской инженерной академии. В Институте химии

и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН с 1974 г.

Свой творческий путь Олег Николаевич начал инженером в одной из мостостроительных организаций Ленинграда после окончания в 1961 г. Ленинградского инженерно-строительного института, затем в течение десяти лет набирался исследовательского и преподавательского опыта на кафедрах строительных материалов и технологии строительных изделий и конструкций в родном институте. В 1974 г. был приглашен заведовать лабораторией стеновых и облицовочных материалов отдела технологии строительных материалов ИХТРЭМС КФАН СССР. Впоследствии лаборатория была преобразована в лабораторию бетонов ИХТРЭМС КНЦ РАН. Под руководством О.Н. Крашенинникова сформировалось научное направление, связанное с изучением природного и техногенного сырья Кольского п-ова, разработкой технологий эффективных видов строительных материалов на их основе, преимущественно бетонов: легких, тяжелых, теплоизоляционных, декоративных, огне- и жаростойких. Многие разработки лаборатории доведены до практической реализации: изготовление однослойных панелей, поризованных композиционным синтетическим пенообразователем; утилизация шунгизитовых и карбонатитовых пылей уноса для легкобетонных и автоклавных силикатных материалов; вскрышных пород апатитонефелиновых месторождений в дорожном строительстве; применение вермикулитсодержащих смесей для изоляции нагревательного оборудования.

Руководимые О.Н. Крашенинниковым разработки отмечены серебряной медалью ВДНХ (1982), 2 золотыми и 3 серебряными медалями на выставках-конгрессах по высоким технологиям, инновациям и инвестициям в 2001 г. (Москва, Санкт-Петербург), медалью «За выдающиеся технологии и качество продукции» на международном строительном форуме «Интерстройэкспо-2005» (Санкт-Петербург).

Опубликовано 320 научных трудов, в т.ч. 5 монографий Олега Николаевича. Он – член ученого и диссертационного советов ИХТРЭМС КНЦ РАН.

Благодаря своей научной эрудиции, энергии, страстному, неравнодушному отношению к делу, Олег Николаевич снискал заслуженное уважение и авторитет среди строителей Мурманской обл. Созданный в 1997 г. по его инициативе и руководимый им Кольский испытательный центр строительных

материалов и изделий оказывает существенную помощь строительным и промышленным организациям Мурманской обл. в оценке качества исходных сырьевых и строительных материалов, а также в обследовании технического состояния конструкций, зданий и сооружений. О.Н. Крашенинников – профессор кафедры промышленного и гражданского строительства Мурманского государственного технического университета, которая создана по его инициативе и готовит инженеров-строителей прежде всего для строительной отрасли Мурманской обл.

Заслуги О.Н. Крашенинникова перед страной и Мурманской областью по достоинству оценены: он награжден Знаком Госстроя РФ «Почетный строитель России», почетными грамотами Российской академии наук, губернатора Мурманской области, Мурманской областной Думы.



*Юбилеи*



#### **ЕФИМОВ Борис Васильевич**

д.т.н., директор Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, заместитель председателя Кольского научного центра РАН (с 2003 г.). В Кольском научном центре РАН – с 1982 года.

Б.В. Ефимов – один из инициаторов и организаторов становления физико-технического направления электроэнергетических исследований, а затем руководитель и непосредственный исполнитель работ в области анализа надежности работы, комплексной оценки текущего состояния и тенденций изменения электрофизических характеристик высоковольтного оборудования, создания программных средств для обобщения опыта эксплуатации и разработки систем поддержки принятия решений по сохранению технического уровня и модернизации элементов электрических сетей. Борис Васильевич – один из ведущих специалистов страны в области техники высоких напряжений, грозозащиты линий и подстанций, исследования перенапряжений в элементах электрических сетей, цепях управления и линиях связи. В этих направлениях им и под его руководством выполнен ряд госбюджетных и хоздоговорных НИР, созданы новые методы и алгоритмы для расчетов импульсных и квазистационарных процессов в сложных схемах замещения широкого класса высоковольтных электроэнергетических и мощных электрофизических установок с параметрами, зависящими от напряжения, тока, заряда, частоты и времени. Эти вопросы имеют большое прикладное значение, и не случайно, что рекомендации, сделанные по результатам





## Юбилеи

выполненных исследований, востребованы, внедрены в практику проектирования и эксплуатации ЛЭП, а также нашли широкое практическое применение на многочисленных объектах энергосистем Северо-Запада России.

Под научно-методическим руководством Б.В. Ефимова в 1980–1990-х гг. на Кольском п-ове были созданы высоковольтные полевые стенды и выполнен ряд уникальных экспериментов по исследованию в микро- и наносекундном диапазоне времен влияния грунтов с низкой проводимостью на развитие перенапряжений в линиях электропередачи.

Опубликовано более 160 печатных работ Бориса Васильевича, в том числе ряд монографий и статей в центральных отечественных и зарубежных журналах, а также сборниках научных работ. В 1999 г. он единогласно избран членом-корреспондентом Академии электротехнических наук РФ по научно-отраслевому отделению «Высоковольтная электротехническая и электронная аппаратура. Электромагнитные излучения, совместимость и экология». Постоянный член докторского совета в ГОУ ВПО «СПбГПУ» и научно-технического совета ФСК – РАН. Научный руководитель четырех кандидатских диссертаций, соавтор двух патентов.

Кроме основной работы в КНЦ РАН, Б.В. Ефимов занимается образовательной деятельностью в вузах Мурманской обл. Принимал активное участие в организации кафедры технической физики и подготовке студентов по специальности "высоковольтные электроэнергетика и электротехника" в Кольском филиале Петрозаводского государственного университета (КФ ПетрГУ). В 2004 г. организовал базовую кафедру высоковольтной электроэнергетики и электротехники в Центре физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, которой руководит до настоящего времени. В рамках деятельности кафедры создана высоковольтная научно-учебная лаборатория, в которой выполняются циклы лабораторных работ и научные исследования электроэнергетического профиля. Борис Васильевич – руководитель научной школы «Энергетические системы и комплексы» при КФ ПетрГУ. С 2008 г. он – заведующий кафедрой электроэнергетики в Мурманском государственном техническом университете.

В апреле 2010 г. указом Президента РФ Б.В. Ефимову за заслуги в области совершенствования энергетического комплекса и многолетнюю плодотворную работу присвоено почетное звание "Заслуженный энергетик РФ"

65



**МАСЛОБОВЕВ Владимир Алексеевич**

д.т.н., зам. председателя Кольского научного центра РАН (с 2000 г.), директор Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (с 2001 г.). В Кольском научном центре РАН – с 1972 г. Крупный ученый в области комплексного использования минерального сырья Кольского п-ова и технологических аспектов

охраны окружающей среды, химии и технологии редкоземельных элементов, физико-химического анализа сложных поликомпонентных систем.

Основа его научной деятельности – разработка научных основ комплексной переработки нетрадиционного редкоземельного сырья (лопарит, эвдиалит, перовскит, иттробитолит и иттрофлюорит, апатиты различных генераций). Обоснованы и нашли экспериментальное подтверждение его новые комбинированные гидрометаллургические методы, основанные на совмещении операций разложения минералов, выщелачивания, конверсии и жидкостной экстракции в одном процессе, позволяющие усовершенствовать методы выделения редкоземельных элементов (РЗЭ) из редкоземельных концентратов и полупродуктов и повысить экологическую безопасность производства; внесен большой вклад в физикохимию и направленный неорганический синтез соединений редких и редкоземельных элементов; разработаны методы получения комплексных редкоземельных модификаторов чугуна и стали, полирующих материалов, силикатов, германатов и конденсированных фосфатов РЗЭ, расширяющих области применения РЗЭ. Под его научным руководством защищены четыре кандидатских диссертации в области химии и технологии РЗЭ.

Владимир Алексеевич внес большой вклад в развитие в ИППЭС КНЦ РАН комплексных исследований в области промышленной экологии и геоэкологии, включая синтез и разработку технологии технических сорбентов на основе минерального сырья Кольского п-ова (вермикулита, нефелина, эвдиалита, шлаков медно-никелевого производства и т.д.) для сорбции тяжелых металлов, радионуклидов, биодегазаторов нефтезагрязненных почв; в изучение гипергенных процессов в хвостохранилищах с целью минимизации экологического ущерба, создания геохимических барьеров, обоснования кондиций техногенных месторождений.

Возглавляет работы Института по моделированию техногенного воздействия хвостохранилищ горно-металлургических предприятий на водоемы и обоснованию



*Юбилеи*



*Юбилей*

экологически безопасного хранения горно-промышленных отходов Кольского п-ова, а также работы по созданию научных основ радио-геоэкологии подземных объектов долговременного хранения и захоронения ядерных и радиационно-опасных материалов в геологических формациях Европейского Севера России и созданию технологии композиционных сорбентов радионуклидов.

Работы В.А. Маслобоева получили международное признание. Он неоднократно выступал с пленарными докладами на международных конференциях, читал лекции в США, Швеции, Финляндии, Норвегии, им разработан и читается курс лекций по рациональному природопользованию в Краковской горно-металлургической академии (Польша).

Владимир Алексеевич в 1993 г. избран членом-корреспондентом Академии естественных наук РФ (РАЕН), с 2007 г. – действительный член РАЕН.

В 1994 г. ему присуждена государственная стипендия для выдающихся ученых России сроком на 3 года, в 2001 г. – сроком на 2 года. С 1995 по 1999 гг. – первый секретарь Посольства РФ в Норвегии, курировал широкий круг областей двустороннего российско-норвежского сотрудничества, включая вопросы экологии, ядерной безопасности, энергетики, науки и технологий в Баренц-регионе.

Им опубликовано свыше 400 научных работ, в том числе около 40 изобретений и 5 монографий.

Координатор международного научно-технического сотрудничества КНЦ РАН со скандинавскими странами; член ученых советов Института проблем промышленной экологии Севера, Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья, Института информатики и математического моделирования, Кольского филиала ПетрГУ, АФ МГТУ; член диссертационного совета Д 200.65.01; член бюро секции «Материалы на основе f-элементов для электронной техники» научного совета по полупроводниковому материаловедению; член правления совместной российско-вьетнамской лаборатории редких металлов и материалов (г. Ханой); член Правления Северной торгово-промышленной палаты. Советник вице-губернатора Мурманской обл. А.М. Тюкавина.

Владимир Алексеевич ведет большую научно-педагогическую работу по подготовке профессиональных кадров для экономики Мурманской обл., работая по совместительству зам. директора по науке Кольского филиала Петрозаводского государственного университета (КФ ПетрГУ), профессором кафедры теплофизики КФ ПетрГУ и профессором кафедры геоэкологии Апатитского филиала Мурманского государственного технического университета.

За высокие достижения в научной и научно-организационной деятельности награжден медалью «За трудовую доблесть» (1986 г.); почетной грамотой Мурманской областной Думы (2004 г.); Почетной грамотой губернатора Мурманской области (2009 г.); Почетной грамотой РАН (2009 г.); «Орденом Дружбы» (2010 г.).

60



### **СНЕГОВ Виктор Владимирович**

Заместитель председателя КНЦ РАН по общим вопросам. В Кольском научном центре РАН с 1971 г.

Виктор Владимирович сделал блестящую карьеру, пройдя трудовой путь от лаборанта лаборатории контрольно-измерительных приборов до заместителя

председателя Центра.

Специалист в области хозяйственного управления и транспортного обеспечения. Он внес весомый вклад в сохранение и обеспечение деятельности служб Кольского научного центра РАН, в полной мере проявив свои организаторские способности в условиях ограниченных финансовых и материальных средств. Своей деятельностью эффективно способствовал развитию и поддержанию социальной инфраструктуры КНЦ РАН, инициатор внедрения информационных технологий, налаживания комплексного учета и контроля технологических операций и материальных ценностей, снижения себестоимости перевозок.

Отмечен многочисленными грамотами и благодарностями, в 2006 г. ему присвоено звание «Заслуженный работник транспорта Российской Федерации».

За многолетнюю активную творческую деятельность, значительный вклад в укрепление материально-технической базы Кольского научного центра РАН, улучшение обслуживания научных учреждений и общих служб автотранспортными средствами и в связи с 60-летием Виктору Владимировичу объявлена благодарность.



### **КУЗНЕЦОВ Сергей Александрович**

д.х.н., заведующий лабораторией высокотемпературной химии и электрохимии. В Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН работает с 1977 г.

Сергей Александрович – известный ученый, специалист в области электрохимии и

электрометаллургии редких металлов и создания на их основе композиционных материалов различного функционального назначения. Результаты его исследований по физико-химическому обоснованию и разработке новых технологических процессов получения редких металлов и новых материалов с использованием солевых расплавов отличаются по-настоящему высоким уровнем и получили заслуженное признание мировой и отечественной научной



*Юбилеи*



## Юбилеи

общественности благодаря первостепенным достижениям как фундаментального, так и прикладного характера и внедрением в производство.

Полученные им результаты служат научной основой для разработки принципиально новых технологий и усовершенствования существующих промышленных процессов, связанных с авиационной и космической техникой, атомной и водородной энергетикой, порошковой металлургией, электронной и химической промышленностью. Большинство разработанных С.А. Кузнецовым технологических процессов нашло практическое применение. Токпроводящие жилы из сплава меди с ниобиевыми покрытиями, предотвращающие испарение меди при высоких температурах и глубоком вакууме, и высокотемпературные припои системы медь – гафний применены при создании агрегатов новой техники в Российской космической корпорации «Энергия». Электролитический порошок ниобия, полученный в ходе промышленных испытаний в открытом акционерном обществе «Чепецкий механический завод» в г. Глазов, успешно использован для получения ниобий–циркониевого сплава – материала для тепловыделяющих элементов. Технология получения бездефектных изделий из титановых сплавов методом горячего изостатического прессования с применением стеклокерамических оболочек с барьерными покрытиями успешно освоена в научно-производственном объединении «Композит». Синтезированы стабильные, высокоактивные катализаторы нового поколения, с их использованием создан микроструктурированный реактор для водородной энергетике. Изделия промышленной химической аппаратуры с покрытиями из ниобия эксплуатируются в течение длительного времени ОАО «Титан» и ОАО «Апатит», а узлы насосов с защитными покрытиями – ООО «Новые технологии». Эти разработки позволяют превратить получаемые полупродукты при химико-технологической переработке редкометалльного сырья Кольского п-ова в высокотехнологичные материалы и являются инновационными.

С.А. Кузнецов представляет Кольскую научную школу электрохимиков и металлургов за рубежом. Он работал по международным программам в университетах и институтах Венгрии, Норвегии, Германии, Японии, Франции, читал лекции в университетах многих стран мира, является руководителем с российской стороны совместных исследований с Университетом Прованса во Франции, Технологическим университетом г. Эйнховена в Нидерландах. Имеет совместные публикации с учеными из 12 стран, рецензирует статьи во многих международных журналах, неоднократно был членом оргкомитета российских и международных конференций.

Сергей Александрович – профессор Апатитского филиала Мурманского государственного технического университета, где читает курс «Физико-химические основы металлургических процессов», руководит подготовкой выпускных квалификационных работ студентов, научный руководитель аспирантов (защитены 3 кандидатские диссертации). Он автор более 500 печатных научных работ, в том числе 2 монографий, глав в 4 книгах, изданных за рубежом, 3 обзоров, свыше 250 статей, 7 авторских свидетельств. Результаты его научных работ неоднократно включались в число важнейших достижений Российской академии наук. Удостоен государственной стипендии для выдающихся ученых России в 1994–1996 гг. Член ученого и диссертационного советов Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН.

Удостоен почетного звания «Заслуженный металлург Российской Федерации» (2014).



**академик МИТРОФАНОВ ФЕЛИКС ПЕТРОВИЧ**

22.06.1935 – 8.05.2014

8 мая ушел из жизни академик Феликс Петрович Митрофанов, настоящий Рыцарь Науки, Неукротимый Воин и Великий Учитель.

Феликс Петрович окончил в 1957 г. геологический факультет Ленинградского государственного университета. По окончании ЛГУ работал в Институте геологии и геохронологии докембрия в Ленинграде, где его учителем был Кауко Оттович Кратц, огромное уважение к которому Феликс Петрович пронес через всю свою жизнь. Научная деятельность была посвящена изучению древнейших геологических образований докембрийских щитов. В Институте геологии и геохронологии докембрия Феликс Петрович защитил кандидатскую, а затем докторскую диссертации, стал выдающимся специалистом в области петрологии и геологии докембрийских структур, крупным организатором науки. Главные объекты его исследований в тот период находились в Южной Сибири (Восточный Саян, Тува), в Монголии, на Украине и в Карелии.

Новый период в жизни и деятельности Феликса Петровича Митрофанова наступил в 1986 г., когда он пришел на должность директора в Геологический институт Кольского научного центра РАН. В 1990 г. избран членом-корреспондентом РАН, а в 2000 г. – академиком РАН, с 1986 г. – член Президиума КНЦ РАН. В 1996 г. Феликсу Петровичу присвоено звание профессора. Ф.П. Митрофанов был директором Геологического института по 2008 гг., в эти годы, во многом благодаря его деятельности, институт превратился в современное научное учреждение, направленное на решение актуальных задач. Область научных интересов Феликса Петровича Митрофанова в период работы в ГИ КНЦ РАН – региональная и глубинная геология Кольской части Балтийского щита, геохронология, длительность и геодинамика докембрийских процессов, металлогения и рудный прогноз, в особенности – платино-палладиевое оруденение в расслоенных интрузиях и др. В эти годы большое внимание Феликс Петрович уделял развитию минерально-сырьевой базы Кольского региона. В научных исследованиях находился на позициях разработки новейших взглядов на тектонику плит, плюмовый магматизм, наноминералогию и развития других новых научных направлений. Под руководством Ф.П. Митрофанова в ГИ КНЦ РАН основан Кольский центр коллективного пользования геохронологических и изотопно-геохимических исследований.

Феликс Петрович являлся руководителем крупных научных проектов, в том числе международных. Как главный редактор и один из составителей «Геологической карты Кольского региона масштаба 1:5000000», Ф.П. Митрофанов в 1996 г. удостоен Премии им. А.Д. Архангельского. В 2009 г. за серию работ под общим названием «Научное обоснование, открытие и изучение ряда платино-палладиевых месторождений нового типа Кольской платинометальной провинции» он был удостоен премии им. В.В. Смирнова. В 2007 г. на съезде научных исследователей и горнопромышленников Фенноскандии (FEM) награжден золотым геологическим молотком и дипломом «За выдающийся вклад в исследование геологии Балтийского щита». Феликс Петрович Митрофанов награжден орденом Дружбы (1995), медалью РАЕН им. П.Л. Капицы, а также медалями «За трудовое отличие» (1981), «250-летие г. Ленинграда», удостоен звания «Заслуженный геолог России» (2011). В 2011 г. ему присуждена Государственная премия Российской Федерации в области науки и технологий за научное обоснование и открытие крупных месторождений платино-палладиевых руд на Кольском п-ове.

Феликс Петрович Митрофанов выполнял большую преподавательскую работу в ранге заведующего кафедрой геологии и полезных ископаемых Апатитского филиала Мурманского государственного технического университета, со дня ее основания. Он вел ряд профильных курсов по программам бакалавриата и магистратуры, всегда глубоко вникая в дела кафедры. Подготовил 12 кандидатов и 5 докторов наук, всегда охотно делился знаниями и опытом со студентами. Основанная Феликсом Петровичем научная школа продолжит жить в его учениках.

Ф.П. Митрофанов – автор более 400 научных публикаций, в том числе 30 книг на русском и английском языках.

В связи с кончиной Феликса Петровича Геологический институт КНЦ РАН, Кольский научный центр и вся Российская наука понесли невосполнимую потерю. Сотрудники Геологического института и Кольского научного центра РАН выражают искренние соболезнования родным и близким Феликса Петровича Митрофанова и будут помнить его как выдающегося геолога, настоящего ученого, интересного и яркого человека. Светлая память о Феликсе Петровиче Митрофанове навсегда останется в сердцах его коллег.



### **БЕЛОГЛАЗОВ МИХАИЛ ИВАНОВИЧ**

10.11.1943 – 27.05.2014

27-го мая 2014 года на 71-м году жизни скорпостижно скончался один из ведущих сотрудников Полярного геофизического института КНЦ РАН – Михаил Иванович Белоглазов.

Михаил Иванович начал свою трудовую деятельность в ПГИ КНЦ РАН в 1968 г. с должности инженера. В 1996 г. возглавил созданную по его инициативе лабораторию «Атмосфера Арктики» и оставался ее бессменным руководителем до 2014 г.

М.И. Белоглазов – признанный научный лидер института, пользовавшийся большим авторитетом и уважением в научной среде. Специалист в области радиофизики, экологии, физики и химии атмосферы с большим кругом научных интересов: динамические и физико-химические процессы в атмосфере, радиофизические методы исследования ионосферы, атмосферные электромагнитные поля в высоких широтах.

Автор и соавтор порядка 300 научных публикаций, в т.ч. 3 монографий и более 100 статей.

Михаил Иванович известен своей активной гражданской позицией. Всегда болел за интересы страны, института, был неравнодушен ко всем происходящим событиям и переменам. Он ценил друзей и коллег, откликался на их просьбы и пожелания. Прекрасный семьянин, очень любил трех дочерей и внуков. Был своим человеком в кругу художников, шахматистов, туристов города Апатиты.

Сотрудники ПГИ КНЦ РАН будут помнить Михаила Ивановича как чуткого, отзывчивого, веселого человека.



<b>NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES</b>	
O.V. Shabalina	History of Arctic Expeditions in Personal Funds of the Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS..... 3
N.K. Belisheva, A.A. Martynova, S.A. Pryanichnikov, Yu.L. Voytekhovskiy, T.A. Miroshnichenko	Organism' Functional State of Different age Population Groups in Krasnoshelye Village as an Integrated Health Indicator for Assessment of Life Quality..... 19
T.V. Rundkvist	International Projects «ABCG HERITAGE – ARCTIC BIOLOGICAL, CULTURAL AND GEOLOGICAL HERITAGE» and «FODD – FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE» – Case Studies of International Cooperation in the Arctic Zone..... 34
T.V. Rundkvist	Expeditionary Activity of GI KSC RAS, Aimed at Development of Mineral Resources Base in the Arctic Zone, Geological Fundamental Problems Solution and International Cooperation..... 39
V.Ya. Evzerov, A.N. Vinogradov, S.B. Nikolaeva P.V. Amosov, N.V. Novozhilova	Geodynamics of the Belomorskaya Basin in the Holocene..... 51
A.S. Opalev, M.S. Khokhulya, V.V. Biryukov	Influence of Permafrost Porosity on Thawing Depth..... 59
V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin, A.S. Stepannikova	Energy-Resource-Saving Technology to Produce Magnetite-Hematite Concentrate of Iron Quartzites From the Deposits Group in Zaimandra region..... 67
V.T. Kalinnikov, I.P. Kremetskaya, L.A. Ivanova	Improvement of Technology Extracting Nepheline Concentrate..... 75
A.I. Nikolaev, L.G. Gerasimova, M.V. Maslova	adaptive technologies for creation of artificial phytocenoses in technogenically disturbed subarctic areas contaminated with heavy metals..... 80
V.I. Demin, P.N. Sviashchennikov, B.V. Ivanov	New Sorbents from the Waste of JSC "Apatit" for Radionuclides and Toxicants Decontamination..... 91
V.A. Dauvalter, N.A. Kashulin	Long-Term Variations of Large-Scale Atmosphere Circulation and the Modern Climate Warming at the Kola Peninsula..... 101
O.I. Vandysh, N.A. Kashulin, A.A. Cherepanov	Chemistry of Bottom Sediments From the System Inari Lake – Pasvik River Under Global and Local Pollution..... 106
A.V. Burtsev, Y.M. Nevretdinov, A.N. Sytina	Long-Term Changes of Zooplankton Communities in Imandra Lake Under Multilevel Pollution by Mining Production Runoffs..... 121
	Experience of Storm Activity Registration in the Kola Peninsula's Territory..... 130
	<b>CONFERENCES, WORKSHOPS</b> ..... 138
	<b>NEW BOOKS</b> ..... 140
	<b>ANNIVERSARIES</b> ..... 142
	<b>AD MEMORIAM</b> ..... 149
	<b>CONTENTS</b> ..... 151

**O.V. Shabalina**

**HISTORY OF ARCTIC EXPEDITIONS IN PERSONAL FUNDS  
OF THE MUSEUM-ARCHIVE OF THE EUROPEAN NORTH INVESTIGATION  
AND EXPLORATION HISTORY OF THE BCH OF THE KSC RAS**

The paper presents personal funds of Arctic expeditions' participants late XIX – early XX centuries. The data belong to the Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS; they reflect history and conducting of the expeditions.

*Keywords: Arctic expeditions late XIX – early XX centuries, Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS.*

**N.K. Belisheva, A.A. Martynova, S.A. Pryanichnikov, N.L. Solovieva, T.S. Zavadskaja, R.E. Mikhailov,  
D.A. Petrashova, V.V. Pozharskaya, Zh.E. Kasparyan<sup>1</sup>, S.V. Muraviev**  
**ORGANISM' FUNCTIONAL STATE OF DIFFERENT AGE POPULATION GROUPS IN KRASNOSHELYE  
VILLAGE AS AN INTEGRATED HEALTH INDICATOR FOR ASSESSMENT OF LIFE QUALITY**

Some results of life quality' evaluation are described for Krasnoshchelye residents, Murmansk region. Data are based on assessment of objective and subjective components of life quality. Objective components of life quality were health indicators derived from temporal and frequency indices of heart rate variability (HRV). Subjective components were obtained by usage testing methods for health, activity, mood, personal and situational anxiety, as well as the "life quality" questionnaire SF-36. The health of all male and female age groups for Krasnoshchelye residents has been shown to be significantly lower than in the central regions of Russia, and lower than in similar age groups of Murmansk region' residents. Subjective indicators testify to fairly high self-estimation of life quality by Krasnoshchelye residents. This "Krasnoshchelye phenomenon" manifested in objectively low health and high subjective assessment of life quality requires for further study.

*Keywords: life quality, health, heart rate variability, the SF-36 test.*

**Yu.L. Voytekhovsky, T.A. Miroshnichenko**

**INTERNATIONAL PROJECTS «ABCG HERITAGE – ARCTIC BIOLOGICAL, CULTURAL  
AND GEOLOGICAL HERITAGE» AND «FODD – FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE» –  
CASE STUDIES OF INTERNATIONAL COOPERATION IN THE ARCTIC ZONE**

The article briefly outlines the history of the Geological Institute KSC RAS partaking in international projects on geotourism (ABCG Heritage) and databases on the Fennoscandian ore deposits (FODD). The first project resulted in a geotourist map of the Khibiny and the Barents Tour along Russia, Finland and Norway with guidebooks in three languages. As a result of the latter project, a map and a database on Fennoscandian minerals have been made. Both projects were implemented in frames of the Strategy of Developing the Arctic zone of the Russian Federation and Providing the National Security up to 2020.

*Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, Kola Peninsula, Khibiny, international cooperation, ore deposits, database, geological tourism.*

**T.V. Rundkvist**

**EXPEDITIONARY ACTIVITY OF GI KSC RAS, AIMED AT DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES  
BASE IN THE ARCTIC ZONE, GEOLOGICAL FUNDAMENTAL PROBLEMS SOLUTION  
AND INTERNATIONAL COOPERATION**

GI KSC RAS expeditions are aimed at implementing large-scale and complex research projects in the Kola region. These works are carried out according to several main topics: works related to prognosis and study of ore deposits of strategic minerals namely platinum, palladium, gold, chromium, copper, nickel, rare earth elements; industrial minerals: apatite, building materials and other minerals; studies on migrations of the glaciation, climate changes and the dynamics of catastrophic events that took place on the territory of the western part of the Arctic zone of Russia over the past 10–15 thousand years; fundamental research in geology; experimental expeditions to study geoelectric properties of the crust and upper mantle; International scientific tourism, organizing and conducting informational geological excursions for foreign geologists to the unique objects in the Kola region.

*Keywords: expedition activity, geology, environmental management, international cooperation.*

**V.Ya. Evzerov, A.N. Vinogradov, S.B. Nikolaeva**

**GEODYNAMICS OF THE BELOMORSKAYA BASIN IN THE HOLOCENE**

Analysis of materials on the geological structure and tectonics of the Belomorskaya basin area suggests that this depression existed in the Middle Pleistocene and was connected to the World Ocean. It is still impossible to determine the exact formation time for this depression due to insufficient knowledge regarding the basin loose cover. However, it is most likely that the basin was formed in the Late Miocene and Early Pliocene, when the shelf subsidence began after the regressive development of the continental margin. Probably, in the Holocene the divergent regime was replaced by the transform regime. This period saw the

subsidence of the Kandalaksha graben to about 150 m and the formation of the Kolvitsa graben. The crystalline rocks surrounding Kandalaksha bay were involved in the subsidence that is reflected in the isobase curve of the glacioisostatic uplift of the area. The combined impact of the tectonic component and the glacioisostatic uplift led to a rise in tensions whose discharge caused a high seismic activity of the Kandalaksha graben and its environs.

*Keywords: Belomorskaya basin, Kandalaksha graben, Kolvitsa graben, earthquake, paleoseismic dislocation, Holocene.*

**P.V. Amosov, N.V. Novozhilova**

#### **INFLUENCE OF PERMAFROST POROSITY ON THAWING DEPTH**

The analysis results of numerical modelling are presented on influence of permafrost porosity on thawing depth for underground locations of small reactor unit module. Monotone quadratic decrease has been shown for thawing depth with increasing rock porosity.

*Keywords: permafrost, porosity, thawing.*

**A.S. Opalev, M.S. Khokhulya, V.V. Biryukov**

#### **ENERGY-RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY TO PRODUCE MAGNETITE-HEMATITE CONCENTRATE OF IRON QUARTZITES FROM THE DEPOSITS GROUP IN ZAIMANDRA REGION**

A combined technology was developed to produce magnetite-hematite concentrate of iron quartzites processed by JSC "Olcon". The technology includes magnetic-gravity separation with the use of fine screening and gravity separation of middlings of the main magnetic separation. This technology considers material features of the processed ores, distinctions in their physical-mechanical properties, liberation of ore minerals and provides reduction in energy consumption for 20%, end-to-end growth of iron recovery for 13%, increase in output of hematite concentrate for more than 15% together with simultaneous reduction in stored tailings capacity. The development is patentable. Patent decision for the invention was awarded.

*Keywords: ferrous quartzite, magnetic-gravity separation, gravity separation, magnetite, hematite, quartz, concentrate, tailings, concentration, recovery.*

**V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin, A.S. Stepannikova**

#### **IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY TO EXTRACT NEPHELINE CONCENTRATE**

The paper briefly presents some results of researches aimed at developing flotation techniques in activated water dispersions of air (AWDA) and ensuring of maximal area for gas-liquid interface in the flotation compressed gas machine.

*Keywords: AWDA, pulp aeration, nepheline concentrate, flotation.*

**V.T. Kalinnikov, I.P. Kremenetskaya, L.A. Ivanova, M.V. Slukovskaya, T.T. Gorbacheva, S.A. Alekseeva, V.V. Laschuk, S.V. Drogobuzhskaya**

#### **ADAPTIVE TECHNOLOGIES FOR CREATION OF ARTIFICIAL PHYTOCENOSSES IN TECHNOGENICALLY DISTURBED SUBARCTIC AREAS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS**

The results of a long-term study of the performance of ameliorants made of mining wastes containing acid-neutralizing minerals are presented. The ameliorants were applied to improve the vegetative cover on the area affected by a copper-nickel smelter located on the Kola Peninsula. It is shown that spreading of a screening layer of ameliorants over contaminated soil can speed up remediation. The layer creates a favorable environment for growth of continuously stable plant communities by improving the soil pH, diminishing the heavy metals mobility, and increasing the macroelements pool available to plants. The characteristics of artificial phytocenoses created by innovative express biotechnologies, exclusively based on ameliorants, without recourse to scarce peat-soil mixes, suggest the onset of secondary succession.

*Keywords: biological remediation, secondary succession, grass, ameliorants, contaminated soil, heavy metals, phytocenose.*

**A.I. Nikolaev, L.G. Gerasimova, M.V. Maslova**

#### **NEW SORBENTS FROM THE WASTE OF JSC "APATIT" FOR RADIONUCLIDES AND TOXICANTS DECONTAMINATION**

Chemical technology and mining enterprises, as well as civil and military organizations, which use radioactive materials, are sources of the environmental pollution. Storage of the generated wastes in dumps and special burial places produces serious environmental problems for normal life, in Arctic regions especially. The authors have developed an innovative technology to process industrial wastes of JSC "Apatite" with producing new effective sorption materials. The technology can make a significant contribution

to solving matters related to the wastewater purification from toxic and radioactive substances, not in the Arctic Russia only, but also in other regions of the country.

*Keywords: ecological problems, radionuclides and toxicants decontamination, wastewater, sorption, titanium sorbents, flow sheet.*

**V.I. Demin, P.N. Sviashchennikov, B.V. Ivanov**

#### **LONG-TERM VARIATIONS OF LARGE-SCALE ATMOSPHERE CIRCULATION AND THE MODERN CLIMATE WARMING AT THE KOLA PENINSULA**

In this research, we analyze long-term changes of air temperatures at the Kola Peninsula separately in different homogeneous groups of the circulation processes (W, E and C). It is shown that the increase of air temperatures is observed for all circulation forms. Thus, the modern warming in the region is very difficult to interpret as a result of changes in atmosphere circulation.

*Keywords: atmosphere circulation, Arctic climate, climate changes, Murmansk region.*

**V.A. Dauvalter, N.A. Kashulin**

#### **CHEMISTRY OF BOTTOM SEDIMENTS FROM THE SYSTEM INARI LAKE – PASVIK RIVER UNDER GLOBAL AND LOCAL POLLUTION**

Bottom sediments (BS) cores from the lake-river system Inari Lake – Pasvik River were collected in the seven lakes to assess the impact of mining and metallurgical plant on aquatic systems. Maximal concentrations of the studied heavy metals (HM) (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, Hg, As) in the surface BS layers were marked in the Kuetsjarvi Lake receiving effluents of "Pechenganickel" Company. A decrease in the content

of HM in the surface sediment layers was noticed downstream the Pasvik River from the place of sewage receipt though pollution remains high. In the lakes, polluted by air and municipal wastewater only, the increase in the concentrations of HM in the surface sediment layers was not recorded. HM (Ni, Cu, Co, Zn) are emitted into the atmosphere in large amounts by "Pechenganickel" Company. Conversely, a significant increase (up to 5-10 times compared to the background content) of concentrations of chalcophile elements (Pb, Cd, Hg and As) was detected. The average sedimentation rate in the studied lakes was slightly larger (1-3 mm per year) than the average rate for the lakes of the Northern Fennoscandia (less than 1 mm per year). An increase of phosphorus content towards the BS surface was noted in some lakes. This can notify the development of eutrophication processes.

*Keywords: bottom sediments, River Pasvik, heavy metals, pollution.*

**O.I. Vandysh, N.A. Kashulin, A.A. Cherepanov**

#### **LONG-TERM CHANGES OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN IMANDRA LAKE UNDER MULTILEVEL POLLUTION BY MINING PRODUCTION RUNOFFS**

Long-term (1996-2012) responses of zooplankton communities in different areas of a subarctic Imandra lake, namely Belaya Bay (the area polluted with wastewaters from apatite-nepheline works of the JSC «Apatite») and Babinskaya Imandra that is a conditionally clean (control) area distant from pollution sources have been analyzed. The tendency of simplification and reduction of zooplankton' stability under technogenic influence is revealed. An assessment of present-day ecological state of the water areas is given. The obtained results complement our knowledge regarding response of hydrobionts to mining production runoffs. The possibility is shown to use zooplankton community as a reliable bioindicator for the given type of anthropogenic pressure.

*Keywords: Imandra lake, zooplankton, monitoring, informative community parameters, biogenic elements, mineral suspension, eutrophication, waste water, bioindicator.*

**A.V. Burtsev, Y.M. Nevretdinov, A.N. Sytina**

#### **EXPERIENCE OF STORM ACTIVITY REGISTRATION IN THE KOLA PENINSULA'S TERRITORY**

Expediency of carrying out regional registration of lightning discharges is shown. Territorial distribution of data regarding lightning discharges for 2013 obtained by Boltek StormTracker Lightning Detector are provided. Possibilities to visualize the results of registrations processing and to combine them with the data about storm violations in the power network operation are shown.

*Keywords: Boltek StormTracker, lightning, lightings distribution, lightning strike density.*

## NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES

O.V. Shabalina	History of Arctic Expeditions in Personal Funds of the Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS.....	3
N.K. Belisheva, A.A. Martynova, S.A. Pryanichnikov,	Organism' Functional State of Different age Population Groups in Krasnoshelye Village as an Integrated Health Indicator for Assessment of Life Quality.....	19
Yu.L. Voytekhovskiy, T.A. Miroshnichenko	International Projects «ABCG HERITAGE – ARCTIC BIOLOGICAL, CULTURAL AND GEOLOGICAL HERITAGE» and «FODD – FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE» – Case Studies of International Cooperation in the Arctic Zone.....	34
T.V. Rundkvist	Expeditionary Activity of GI KSC RAS, Aimed at Development of Mineral Resources Base in the Arctic Zone, Geological Fundamental Problems Solution and International Cooperation.....	39
V.Ya. Evzerov, A.N. Vinogradov, S.B. Nikolaeva	Geodynamics of the Belomorskaya Basin in the Holocene.....	51
P.V. Amosov, N.V. Novozhilova	Influence of Permafrost Porosity on Thawing Depth.....	59
A.S. Opalev, M.S. Khokhulya, V.V. Biryukov	Energy-Resource-Saving Technology to Produce Magnetite-Hematite Concentrate of Iron Quartzites from the Deposits Group in Zaimandra region.....	67
V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin, A.S. Stepannikova	Improvement of Technology to Extract Nepheline Concentrate.....	75
V.T. Kalinnikov, I.P. Kremenetskaya, L.A. Ivanova	Adaptive Technologies for Creation of Artificial Phytocenoses in Technogenically Disturbed Subarctic Areas Contaminated with Heavy Metals.....	80
A.I. Nikolaev, L.G. Gerasimova, M.V. Maslova	New Sorbents from the Waste of JSC “Apatit” for Radionuclides and Toxicants Decontamination.....	91
V.I. Demin, P.N. Sviashchennikov, B.V. Ivanov	Long-Term Variations of Large-Scale Atmosphere Circulation and the Modern Climate Warming at the Kola Peninsula.....	101
V.A. Dauvalter, N.A. Kashulin	Chemistry of Bottom Sediments From the System Inari Lake – Pasvik River Under Global and Local Pollution.....	106
O.I. Vandysh, N.A. Kashulin, A.A. Cherepanov	Long-Term Changes of Zooplankton Communities in Imandra Lake Under Multilevel Pollution by Mining Production Runoffs.....	121
A.V. Burtsev, Y.M. Nevretdinov, A.N. Sytina	Experience of Storm Activity Registration in the Kola Peninsula's Territory.....	130
	<b>CONFERENCES, WORKSHOPS</b> .....	138
	<b>NEW BOOKS</b> .....	140
	<b>ANNIVERSARIES</b> .....	142
	<b>AD MEMORIAM</b> .....	149
	<b>CONTENTS</b> .....	151

**O.V. Shabalina**

**HISTORY OF ARCTIC EXPEDITIONS IN PERSONAL FUNDS  
OF THE MUSEUM-ARCHIVE OF THE EUROPEAN NORTH INVESTIGATION  
AND EXPLORATION HISTORY OF THE BCH OF THE KSC RAS**

The paper presents personal funds of Arctic expeditions' participants late XIX – early XX centuries. The data belong to the Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS; they reflect history and conducting of the expeditions.

*Keywords: Arctic expeditions late XIX – early XX centuries, Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS.*

**N.K. Belisheva, A.A. Martynova, S.A. Pryanichnikov, N.L. Solovieva, T.S. Zavadskaja, R.E. Mikhailov,  
D.A. Petrashova, V.V. Pozharskaya, Zh.E. Kasparyan<sup>1</sup>, S.V. Muraviev**  
**ORGANISM' FUNCTIONAL STATE OF DIFFERENT AGE POPULATION GROUPS IN KRASNOSHELYE  
VILLAGE AS AN INTEGRATED HEALTH INDICATOR FOR ASSESSMENT OF LIFE QUALITY**

Some results of life quality' evaluation are described for Krasnoshchelye residents, Murmansk region. Data are based on assessment of objective and subjective components of life quality. Objective components of life quality were health indicators derived from temporal and frequency indices of heart rate variability (HRV). Subjective components were obtained by usage testing methods for health, activity, mood, personal and situational anxiety, as well as the "life quality" questionnaire SF-36. The health of all male and female age groups for Krasnoshchelye residents has been shown to be significantly lower than in the central regions of Russia, and lower than in similar age groups of Murmansk region' residents. Subjective indicators testify to fairly high self-estimation of life quality by Krasnoshchelye residents. This "Krasnoshchelye phenomenon" manifested in objectively low health and high subjective assessment of life quality requires for further study.

*Keywords: life quality, health, heart rate variability, the SF-36 test.*

**Yu.L. Voytekhovsky, T.A. Miroshnichenko**

**INTERNATIONAL PROJECTS «ABCG HERITAGE – ARCTIC BIOLOGICAL, CULTURAL  
AND GEOLOGICAL HERITAGE» AND «FODD – FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE» –  
CASE STUDIES OF INTERNATIONAL COOPERATION IN THE ARCTIC ZONE**

The article briefly outlines the history of the Geological Institute KSC RAS partaking in international projects on geotourism (ABCG Heritage) and databases on the Fennoscandian ore deposits (FODD). The first project resulted in a geotourist map of the Khibiny and the Barents Tour along Russia, Finland and Norway with guidebooks in three languages. As a result of the latter project, a map and a database on Fennoscandian minerals have been made. Both projects were implemented in frames of the Strategy of Developing the Arctic zone of the Russian Federation and Providing the National Security up to 2020.

*Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, Kola Peninsula, Khibiny, international cooperation, ore deposits, database, geological tourism.*

**T.V. Rundkvist**

**EXPEDITIONARY ACTIVITY OF GI KSC RAS, AIMED AT DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES  
BASE IN THE ARCTIC ZONE, GEOLOGICAL FUNDAMENTAL PROBLEMS SOLUTION  
AND INTERNATIONAL COOPERATION**

GI KSC RAS expeditions are aimed at implementing large-scale and complex research projects in the Kola region. These works are carried out according to several main topics: works related to prognosis and study of ore deposits of strategic minerals namely platinum, palladium, gold, chromium, copper, nickel, rare earth elements; industrial minerals: apatite, building materials and other minerals; studies on migrations of the glaciation, climate changes and the dynamics of catastrophic events that took place on the territory of the western part of the Arctic zone of Russia over the past 10–15 thousand years; fundamental research in geology; experimental expeditions to study geoelectric properties of the crust and upper mantle; International scientific tourism, organizing and conducting informational geological excursions for foreign geologists to the unique objects in the Kola region.

*Keywords: expedition activity, geology, environmental management, international cooperation.*

**O.V. Shabalina**

**HISTORY OF ARCTIC EXPEDITIONS IN PERSONAL FUNDS  
OF THE MUSEUM-ARCHIVE OF THE EUROPEAN NORTH INVESTIGATION  
AND EXPLORATION HISTORY OF THE BCH OF THE KSC RAS**

The paper presents personal funds of Arctic expeditions' participants late XIX – early XX centuries. The data belong to the Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS; they reflect history and conducting of the expeditions.

*Keywords: Arctic expeditions late XIX – early XX centuries, Museum-Archive of the European North Investigation and Exploration History of the BCH of the KSC RAS.*

**N.K. Belisheva, A.A. Martynova, S.A. Pryanichnikov, N.L. Solovieva, T.S. Zavadskaja, R.E. Mikhailov,  
D.A. Petrashova, V.V. Pozharskaya, Zh.E. Kasparyan<sup>1</sup>, S.V. Muraviev**  
**ORGANISM' FUNCTIONAL STATE OF DIFFERENT AGE POPULATION GROUPS IN KRASNOSHELYE  
VILLAGE AS AN INTEGRATED HEALTH INDICATOR FOR ASSESSMENT OF LIFE QUALITY**

Some results of life quality' evaluation are described for Krasnoshchelye residents, Murmansk region. Data are based on assessment of objective and subjective components of life quality. Objective components of life quality were health indicators derived from temporal and frequency indices of heart rate variability (HRV). Subjective components were obtained by usage testing methods for health, activity, mood, personal and situational anxiety, as well as the "life quality" questionnaire SF-36. The health of all male and female age groups for Krasnoshchelye residents has been shown to be significantly lower than in the central regions of Russia, and lower than in similar age groups of Murmansk region' residents. Subjective indicators testify to fairly high self-estimation of life quality by Krasnoshchelye residents. This "Krasnoshchelye phenomenon" manifested in objectively low health and high subjective assessment of life quality requires for further study.

*Keywords: life quality, health, heart rate variability, the SF-36 test.*

**Yu.L. Voytekhovsky, T.A. Miroshnichenko**

**INTERNATIONAL PROJECTS «ABCG HERITAGE – ARCTIC BIOLOGICAL, CULTURAL  
AND GEOLOGICAL HERITAGE» AND «FODD – FENNOSCANDIAN ORE DEPOSIT DATABASE» –  
CASE STUDIES OF INTERNATIONAL COOPERATION IN THE ARCTIC ZONE**

The article briefly outlines the history of the Geological Institute KSC RAS partaking in international projects on geotourism (ABCG Heritage) and databases on the Fennoscandian ore deposits (FODD). The first project resulted in a geotourist map of the Khibiny and the Barents Tour along Russia, Finland and Norway with guidebooks in three languages. As a result of the latter project, a map and a database on Fennoscandian minerals have been made. Both projects were implemented in frames of the Strategy of Developing the Arctic zone of the Russian Federation and Providing the National Security up to 2020.

*Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, Kola Peninsula, Khibiny, international cooperation, ore deposits, database, geological tourism.*

**T.V. Rundkvist**

**EXPEDITIONARY ACTIVITY OF GI KSC RAS, AIMED AT DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES  
BASE IN THE ARCTIC ZONE, GEOLOGICAL FUNDAMENTAL PROBLEMS SOLUTION  
AND INTERNATIONAL COOPERATION**

GI KSC RAS expeditions are aimed at implementing large-scale and complex research projects in the Kola region. These works are carried out according to several main topics: works related to prognosis and study of ore deposits of strategic minerals namely platinum, palladium, gold, chromium, copper, nickel, rare earth elements; industrial minerals: apatite, building materials and other minerals; studies on migrations of the glaciation, climate changes and the dynamics of catastrophic events that took place on the territory of the western part of the Arctic zone of Russia over the past 10–15 thousand years; fundamental research in geology; experimental expeditions to study geoelectric properties of the crust and upper mantle; International scientific tourism, organizing and conducting informational geological excursions for foreign geologists to the unique objects in the Kola region.

*Keywords: expedition activity, geology, environmental management, international cooperation.*

**V.Ya. Evzerov, A.N. Vinogradov, S.B. Nikolaeva**

**GEODYNAMICS OF THE BELOMORSKAYA BASIN IN THE HOLOCENE**

Analysis of materials on the geological structure and tectonics of the Belomorskaya basin area suggests that this depression existed in the Middle Pleistocene and was connected to the World Ocean. It is still impossible to determine the exact formation time for this depression due to insufficient knowledge regarding the basin loose cover. However, it is most likely that the basin was formed in the Late Miocene and Early Pliocene, when the shelf subsidence began after the regressive development of the continental margin. Probably, in the Holocene the divergent regime was replaced by the transform regime. This period saw the

subsidence of the Kandalaksha graben to about 150 m and the formation of the Kolvitsa graben. The crystalline rocks surrounding Kandalaksha bay were involved in the subsidence that is reflected in the isobase curve of the glacioisostatic uplift of the area. The combined impact of the tectonic component and the glacioisostatic uplift led to a rise in tensions whose discharge caused a high seismic activity of the Kandalaksha graben and its environs.

*Keywords: Belomorskaya basin, Kandalaksha graben, Kolvitsa graben, earthquake, paleoseismic dislocation, Holocene.*

**P.V. Amosov, N.V. Novozhilova**

#### **INFLUENCE OF PERMAFROST POROSITY ON THAWING DEPTH**

The analysis results of numerical modelling are presented on influence of permafrost porosity on thawing depth for underground locations of small reactor unit module. Monotone quadratic decrease has been shown for thawing depth with increasing rock porosity.

*Keywords: permafrost, porosity, thawing.*

**A.S. Opalev, M.S. Khokhulya, V.V. Biryukov**

#### **ENERGY-RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY TO PRODUCE MAGNETITE-HEMATITE CONCENTRATE OF IRON QUARTZITES FROM THE DEPOSITS GROUP IN ZAIMANDRA REGION**

A combined technology was developed to produce magnetite-hematite concentrate of iron quartzites processed by JSC "Olcon". The technology includes magnetic-gravity separation with the use of fine screening and gravity separation of middlings of the main magnetic separation. This technology considers material features of the processed ores, distinctions in their physical-mechanical properties, liberation of ore minerals and provides reduction in energy consumption for 20%, end-to-end growth of iron recovery for 13%, increase in output of hematite concentrate for more than 15% together with simultaneous reduction in stored tailings capacity. The development is patentable. Patent decision for the invention was awarded.

*Keywords: ferrous quartzite, magnetic-gravity separation, gravity separation, magnetite, hematite, quartz, concentrate, tailings, concentration, recovery.*

**V.F. Skorokhodov, R.M. Nikitin, A.S. Stepannikova**

#### **IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY TO EXTRACT NEPHELINE CONCENTRATE**

The paper briefly presents some results of researches aimed at developing flotation techniques in activated water dispersions of air (AWDA) and ensuring of maximal area for gas-liquid interface in the flotation compressed gas machine.

*Keywords: AWDA, pulp aeration, nepheline concentrate, flotation.*

**V.T. Kalinnikov, I.P. Kremenetskaya, L.A. Ivanova, M.V. Slukovskaya, T.T. Gorbacheva, S.A. Alekseeva, V.V. Laschuk, S.V. Drogobuzhskaya**

#### **ADAPTIVE TECHNOLOGIES FOR CREATION OF ARTIFICIAL PHYTOCENOSES IN TECHNOGENICALLY DISTURBED SUBARCTIC AREAS CONTAMINATED WITH HEAVY METALS**

The results of a long-term study of the performance of ameliorants made of mining wastes containing acid-neutralizing minerals are presented. The ameliorants were applied to improve the vegetative cover on the area affected by a copper-nickel smelter located on the Kola Peninsula. It is shown that spreading of a screening layer of ameliorants over contaminated soil can speed up remediation. The layer creates a favorable environment for growth of continuously stable plant communities by improving the soil pH, diminishing the heavy metals mobility, and increasing the macroelements pool available to plants. The characteristics of artificial phytocenoses created by innovative express biotechnologies, exclusively based on ameliorants, without recourse to scarce peat-soil mixes, suggest the onset of secondary succession.

*Keywords: biological remediation, secondary succession, grass, ameliorants, contaminated soil, heavy metals, phytocenose.*

**A.I. Nikolaev, L.G. Gerasimova, M.V. Maslova**

#### **NEW SORBENTS FROM THE WASTE OF JSC "APATIT" FOR RADIONUCLIDES AND TOXICANTS DECONTAMINATION**

Chemical technology and mining enterprises, as well as civil and military organizations, which use radioactive materials, are sources of the environmental pollution. Storage of the generated wastes in dumps and special burial places produces serious environmental problems for normal life, in Arctic regions especially. The authors have developed an innovative technology to process industrial wastes of JSC "Apatite" with producing new effective sorption materials. The technology can make a significant contribution



to solving matters related to the wastewater purification from toxic and radioactive substances, not in the Arctic Russia only, but also in other regions of the country.

*Keywords: ecological problems, radionuclides and toxicants decontamination, wastewater, sorption, titanium sorbents, flow sheet.*

**V.I. Demin, P.N. Sviashchennikov, B.V. Ivanov**

#### **LONG-TERM VARIATIONS OF LARGE-SCALE ATMOSPHERE CIRCULATION AND THE MODERN CLIMATE WARMING AT THE KOLA PENINSULA**

In this research, we analyze long-term changes of air temperatures at the Kola Peninsula separately in different homogeneous groups of the circulation processes (W, E and C). It is shown that the increase of air temperatures is observed for all circulation forms. Thus, the modern warming in the region is very difficult to interpret as a result of changes in atmosphere circulation.

*Keywords: atmosphere circulation, Arctic climate, climate changes, Murmansk region.*

**V.A. Dauvalter, N.A. Kashulin**

#### **CHEMISTRY OF BOTTOM SEDIMENTS FROM THE SYSTEM INARI LAKE – PASVIK RIVER UNDER GLOBAL AND LOCAL POLLUTION**

Bottom sediments (BS) cores from the lake-river system Inari Lake – Pasvik River were collected in the seven lakes to assess the impact of mining and metallurgical plant on aquatic systems. Maximal concentrations of the studied heavy metals (HM) (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, Hg, As) in the surface BS layers were marked in the Kuetsjarvi Lake receiving effluents of "Pechenganickel" Company. A decrease in the content

of HM in the surface sediment layers was noticed downstream the Pasvik River from the place of sewage receipt though pollution remains high. In the lakes, polluted by air and municipal wastewater only, the increase in the concentrations of HM in the surface sediment layers was not recorded. HM (Ni, Cu, Co, Zn) are emitted into the atmosphere in large amounts by "Pechenganickel" Company. Conversely, a significant increase (up to 5-10 times compared to the background content) of concentrations of chalcophile elements (Pb, Cd, Hg and As) was detected. The average sedimentation rate in the studied lakes was slightly larger (1-3 mm per year) than the average rate for the lakes of the Northern Fennoscandia (less than 1 mm per year). An increase of phosphorus content towards the BS surface was noted in some lakes. This can notify the development of eutrophication processes.

*Keywords: bottom sediments, River Pasvik, heavy metals, pollution.*

**O.I. Vandysh, N.A. Kashulin, A.A. Cherepanov**

#### **LONG-TERM CHANGES OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN IMANDRA LAKE UNDER MULTILEVEL POLLUTION BY MINING PRODUCTION RUNOFFS**

Long-term (1996-2012) responses of zooplankton communities in different areas of a subarctic Imandra lake, namely Belaya Bay (the area polluted with wastewaters from apatite-nepheline works of the JSC «Apatite») and Babinskaya Imandra that is a conditionally clean (control) area distant from pollution sources have been analyzed. The tendency of simplification and reduction of zooplankton' stability under technogenic influence is revealed. An assessment of present-day ecological state of the water areas is given. The obtained results complement our knowledge regarding response of hydrobionts to mining production runoffs. The possibility is shown to use zooplankton community as a reliable bioindicator for the given type of anthropogenic pressure.

*Keywords: Imandra lake, zooplankton, monitoring, informative community parameters, biogenic elements, mineral suspension, eutrophication, waste water, bioindicator.*

**A.V. Burtsev, Y.M. Nevretdinov, A.N. Sytina**

#### **EXPERIENCE OF STORM ACTIVITY REGISTRATION IN THE KOLA PENINSULA'S TERRITORY**

Expediency of carrying out regional registration of lightning discharges is shown. Territorial distribution of data regarding lightning discharges for 2013 obtained by Boltek StormTracker Lightning Detector are provided. Possibilities to visualize the results of registrations processing and to combine them with the data about storm violations in the power network operation are shown.

*Keywords: Boltek StormTracker, lightning, lightings distribution, lightning strike density.*