

*Российская Академия Наук*

# ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

3/2013



- естественные и технические науки
- хроника
- научные результаты институтов КНЦ РАН, включенные в научные достижения Российской академии наук в 2011 г.
- конференции, семинары
- новые книги
- юбилеи
- contents

**3/2013 (14)**

издается с декабря 2009 года

ISSN 2307-5228

ISBN 978-5-91137-259-0

*Российская Академия Наук*

# ВЕСТНИК

## Кольского научного центра РАН

Учредитель - Учреждение Российской академии наук Кольский научный центр РАН

---

Главный редактор - академик В.Т.Калинников

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

Редакционный совет:

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

**Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2009 года.  
Реферируется в РЖ и базе данных ВИНТИ**

**Требования к оформлению статей см.:**

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

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

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

Тел.(81555)79226. Факс (81555)76425

E-mail: [usov@admksk.apatity.ru](mailto:usov@admksk.apatity.ru)

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

А.А. Предовский, И.В. Чикирёв, Д.А. Некипелов	Существенные черты авлакогенов, синклинорных прогибов и впадин в связи с проблемой типизации коровых структур.....	3
Н.Н. Мельников, В.П. Конухин, В.А. Наумов, С.А. Гусак, А.В. Наумов, Е.В. Караваева	Исследование накопления долгоживущих радионуклидов в активных зонах реакторных установок атомных ледоколов.....	9
С.И. Печенюк	Исследование сорбционных свойств аморфных оксигидроксидов металлов по отношению к анионам.....	20
Е.Д. Терещенко, В.Ф. Григорьев, П.Е. Терещенко, Р.Ю. Юрик	Влияние разломной тектоники на структуру естественного электромагнитного поля в Кольском заливе.....	34
И.А.Корнилов, Т.А. Корнилова	Три события диполизации магнитного поля по данным спутников THEMIS.....	40
В.А. Маслобоев, А.А. Бакланов, С.И. Мазухина, П.В. Амосов	Компьютерное моделирование процессов пыления хвостохранилища.....	44
И.А. Разумова	Гендерная стереотипия в контексте этнокультурной ситуации: женщины-саами в русской этнографии.....	50
О.А. Бодрова	Особенности репрезентации визуальных аспектов культуры кольских саамов (на материале этнографических источников XVIII – начала XX вв.).....	56
В.А. Минин, О.Е. Коновалова, Е.А. Иванова	Перспективы использования микроГЭС в удаленных районах Севера .....	62
О.В. Фридман, А.Я. Фридман	Ситуационное моделирование сложных природно-технических объектов с учетом аспектов безопасности.....	69
	<b>ХРОНИКА</b> .....	78
	<b>НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТИТУТОВ КНЦ РАН, ВКЛЮЧЕННЫЕ В НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ РАН В 2011 г.</b> .....	79
	<b>КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ</b> .....	85
	<b>НОВЫЕ КНИГИ</b> .....	91
	<b>ЮБИЛЯРЫ</b> .....	94
	<b>CONTENTS</b> .....	103

**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: Я.А. Стогова, Л.А. Тимофеева, З.А. Уланова.

Зав. издательством, художественный редактор: М.С. Строков.

Верстка, фото: В.Ю. Жиганов

## СУЩЕСТВЕННЫЕ ЧЕРТЫ АВЛАКОГЕНОВ, СИНКЛИНОРНЫХ ПРОГИБОВ И ВПАДИН В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ТИПИЗАЦИИ КОРОВЫХ СТРУКТУР

А.А. Предовский<sup>1,2</sup>, И.В. Чикирёв<sup>1,2</sup>, Д.А. Некипелов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета

### Аннотация

На основе модели мантийно-корового взаимодействия и морфоструктурного подхода характеризуются особенности образования синформовых коровых структур (авлакогенов, линейных синклинорных прогибов и впадин). Показано, что управляющий фактор процесса – активизированные долгоживущие глубинные линеаментные зоны (ДЛЗ).

### Ключевые слова:

*мантийно-коровое взаимодействие, авлакогены, прогибы, впадины, типизация коровых структур.*



В предыдущих публикациях авторов по рассматриваемой проблеме [1–4] были сформулированы принципы предлагаемого подхода и показана обобщенная модель мантийно-корового взаимодействия в качестве возможной его теоретической основы.

В настоящем сообщении на базе полученных авторами ранее результатов и анализа литературных данных характеризуются черты синформовых (прогибовых) коровых структур регионального масштаба, важные для их типизации.

Как правило, линейные прогибы, имеющие протяженность в сотни километров и более и ширину от первых десятков километров, в ходе развития претерпевают процессы наполнения материалом супракрустальных толщ. В прогибах умеренно активного режима накапливаются продукты седиментогенеза. Присутствие в слоистых толщах вулканитов и вулканогенно-осадочных пород – прямое свидетельство повышенной активности прогибов и управляющих ими долгоживущих разломных зон (ДЛЗ).

Прогибы бесконечно многообразны, что определяется их взаимосвязями с разными типами платформ, метаплатформ, подвижных поясов, разными этапами эволюции геологических процессов, начиная от самых ранних. Но есть и общие черты их заложения и развития, что приводит к необходимости выяснения причин и механизмов, несомненно, эволюционирующих во времени, но сохраняющих некие принципиальные особенности. Здесь к месту напоминание о том, что автором термина и понятия «авлакоген» (греч. «авлакос» – борозда, т.е. бороздой рожденный) является акад. Н.С. Шатский, один из крупнейших геологов России XX века – времени успешного развития геологической науки в мире.

Главная принципиальная особенность и управляющий фактор рождения и развития рассматриваемой группы морфоструктур – это наличие в их основании простых или сложных, прежде всего продольных ДЛЗ, представляющих собой каналы транспорта глубинных теплоносителей и сопровождающих веществ. Эти каналы входят в иерархию единой глобальной системы [1, 2]. Для обсуждаемых морфоструктур, как уже отмечалось, они – первопричина, выявляемая при анализе геолого-геофизических карт, профилей и крупных элементов рельефа регионального масштаба.

Впервые для авторов возможности понимания главных факторов зарождения и развития линейных прогибов наметились при изучении комплексных данных по островодужным структурам так называемых «активных зон перехода континент–океан», когда было показано, что среди островных дуг присутствуют 2 самостоятельных типа образований – собственно островодужных, наиболее

распространенных, и петлевых, в том числе в виде гигантских структурных петель [2–4]. Происхождение последних связывалось нами со сложным поведением мантийных диапиров в областях пересечения ДПЗ, где вещество диапиров неравномерно проникало в кору, вызывая процессы горизонтального пластического движения не только вещества самих диапиров, но и, как следствие, корового материала [4], оттесняемого расползающимися диапирами.

При изучении особенностей размещения петлевых структур было установлено их присутствие в крупных складчатых поясах, в особенности позднего фанерозоя, и выявлены закономерности развития, важные для расшифровки механизма формирования прогибов в общем плане [3, 4].

Для весомых выводов полезно хотя бы кратко рассмотреть некоторые конкретные примеры. Целесообразно обратиться при этом к шельфовым областям, так как они, с одной стороны, имеют черты неполно развитых континентальных образований, а с другой стороны, отражают некоторые особенности океанских площадей.

Необходимы пояснения, касающиеся соотношения континентов, океанов и шельфов в геологической истории Земли, что было в предположительной форме затронуто в одной из наших предыдущих работ [5].

Суть дела в том, что собственно геологической истории Земли предшествовала ее аккреция, причем, как постепенно выясняется в последние десятилетия, аккреция прошла по схеме гетерогенно-полихронного процесса, и Земля поэтому была изначально весьма неоднородной [2, 6–9]. Кроме того, в конце этапа аккреции наша планета пережила глобальный процесс плавления верхов мантии и рождения сиалической протокры диоритового состава с мощностью около первого десятка километров. Причина этого плавления и рождения сиалической протокры пока не ясна. Время завершения аккреции и формирования протокры названо Престоном Клаудом хадеем (Hadean). Оно завершилось около 4.0 млрд лет назад, когда началась геологическая история планеты. В объеме этой истории происходили зарождение и рост континентов, затем, как следствие, – заложение и развитие океанов и шельфов, причем континенты по мере роста, вероятно, испытывали нарастающую тенденцию к воздыманию. Океаны в эпоху «океанизации Земли» [5], очевидно, испытали погружение, а шельфы как незавершенные континентальные массы пережили активную перестройку и обнаруживают тенденцию умеренного, но несомненного погружения, что отражено в развитии систем глубоких прогибов разного типа и размера.

Кроме прочего, сказанное выше означает: при анализе и синтезе геоисторических данных необходимо помнить, что кроме мощных масс зрелой континентальной коры древних платформ существуют породы более ранней сиалической протокры. Ее (протокры) реликты могут быть встречены не только в пределах континентов, где их присутствие бесспорно, но и на океанских площадях – близко к поверхности под слоем океанических базальтов и их подложки, и в глубинах океанической коры.

На площадях современных континентов рост их коры, вероятнее всего, начинался на основе протокорового материала. В свое время Б. Брокком [10] на примере Африканского континента было показано, что формирование континентов начиналось с протократонов, рост и слияние которых постепенно привели к образованию континентальных масс. Их консолидация в фанерозое, вероятно, и привела к усилению процессов воздымания и могла служить стартовой причиной глубинного пластического перетекания мантийного вещества под краевые области континентов и, как следствие, к началу опускания дна будущих океанических бассейнов.

Один из выдающихся исследователей арктической шельфовой области России – акад. И.С. Грамберг в свое время сформулировал как благоприятный для нефтегазоносности признак наличия в этой области участков и районов сокращения мощности гранитно-метаморфического слоя коры, вплоть до появления «безграничных окон». И сейчас этот признак широко обсуждается в литературе, притом часто без убедительных объяснений. Но объяснением могут быть причины, вызывающие само появление троговых или синклиновых прогибов шельфов.

Пример шельфового прогиба (трога) показан на рис. 1 из книги о сейсмической модели Баренц-региона 1998 г. [11]. Это практически поперечный разрез нефтегазоносной Южно-Баренцевской впадины как части крупного прогиба (трога) северо-восточного простирания. Рисунок весьма схематизирован, но имеет важную особенность: зеркальное соотношение

воздымания базальтового слоя и поверхности М относительно прогиба глубокой части впадины. Эта особенность сопровождается еще двумя другими: сокращением мощности складчатого фундамента (гранитно-метаморфического слоя) по направлению к внутренней части впадины вплоть до полного исчезновения («безграничное окно») и наличием крупных продольных разломов в зоне резкого сокращения мощности корового слоя.

Помимо отмеченных особенностей, важными для интерпретации разреза на рис. 1 являются и другие, в том числе геофизические признаки «аномальности» базальтового слоя и верхов мантии под наиболее глубокими частями Южно-Баренцевской впадины и проявление базальтового магматизма в ее нарушенных бортах и основании всего Восточно-Баренцевского прогиба [11, 12].

С учетом имеющегося опыта интерпретации сейсмических моделей литосферы, например, основных геоструктур территории СССР [13] и отмеченных выше особенностей впадины, рис. 1 может быть истолкован как результат «расталкивания» собственно корового материала (обозначение 2 на рис. 1) активизированным мантийным веществом и «аномальным» материалом базальтового слоя, воздымающимися по ДЛЗ осевой части прогиба (трога). Возникающие неясности и вопросы обусловлены, прежде всего, схематичностью подхода авторов работы 1998 г. [11] к исходным геофизическим данным.

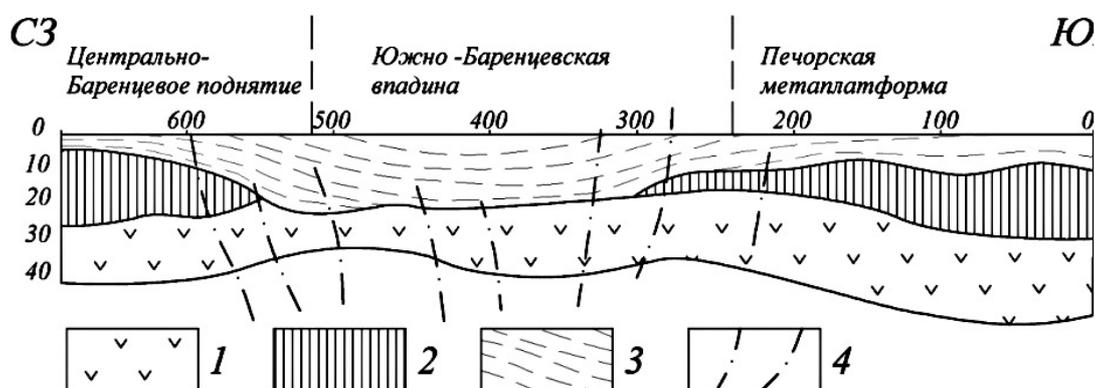


Рис. 1. Глубинный геологический разрез Южно-Баренцевской впадины как части нефтегазоносного Восточно-Баренцевского прогиба (трога), построенный на основе сейсмического профиля ГСЗ-82 (по М.Л. Вербе, А.Д. Павленкину и Ю.В. Тулиной [11]): 1 – базальтовый слой с границей М внизу; 2 – гранитно-метаморфический слой; 3 – осадочные породы фанерозоя; 4 – разломы; цифры по вертикали и горизонтали – глубины и расстояния, км

В определенной мере поддержкой нашей интерпретации рис. 1 может быть рис. 2 из работы [12]. На этом рисунке показана ситуация в той же структуре, что и на рис. 1, но взаимосвязь корового прогиба с зеркально противостоящим воздыманием мантии и «аномального» базальтового слоя видна здесь более четко.

Наиболее крупным примером из названных является Прикаспийская впадина, входящая в гигантский морфоструктурный ансамбль Каспийского моря и его обрамления, расположенный в юго-восточном углу Восточно-Европейской платформы, где реализуется переход от субмериональных подвижных структур Урала (Предуральский прогиб и др.) к субширотным системам Кавказа как части Средиземноморского подвижного пояса (рис. 3).

Кроме того, приведенные выводы о «расталкивании» корового материала (как более легкого) воздымающимися и проникающими в кору по системам разломных зон «аномальными» массами более тяжелых пород мантии и нижекоровых могут быть подкреплены результатами наших исследований по петлевым структурам подвижных областей [3, 4].

Помимо линейных прогибов, известны крупные и достаточно хорошо изученные изометричные прогибы – впадины и синеклизы. В их числе такие объекты, как Прикаспийская, Днепровско-Донецкая впадины, Донбасс, Вилюйская и Тунгусская синеклизы [13–15].

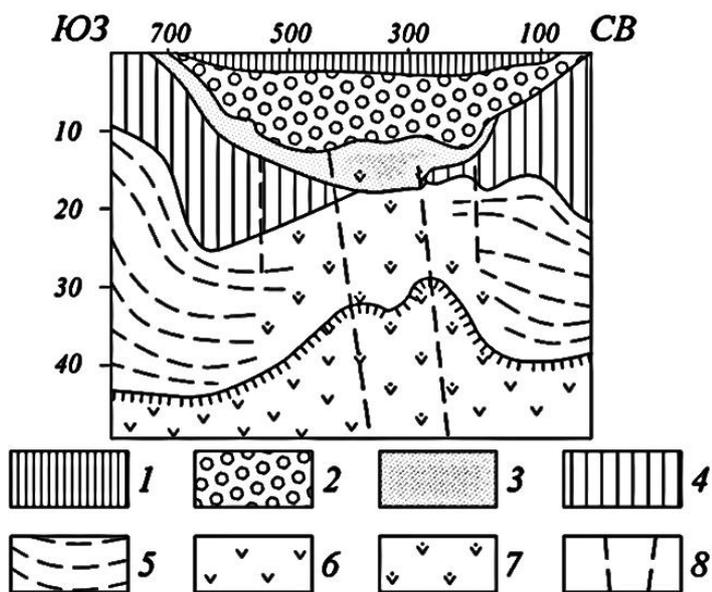


Рис. 2. Обобщенная схема геолого-геофизического субширотного разреза (ЮЗ-СВ) от Балтийского щита до зоны мезозойд Новой Земли, по [12]:  
1–3 – осадочное выполнение Восточно-Баренцевского прогиба (трога);  
4 – комплексы складчатого основания;  
5 – базальтовый слой; 6 – мантия;  
7 – геофизически «аномальная» кора и мантия; 8 – разломы; цифры по вертикали и горизонтали – глубины и расстояния, км

(по работе [13]). Рисунок обнаруживает уже знакомые черты зеркального соотношения воздымающейся границы М и прогибающейся поверхности фундамента слоистых осадочных толщ впадины, разрез которых венчается соленосными отложениями. Характерно, что мощность коровых толщ фундамента резко сокращается по направлению к центру воздымания мантии, несмотря на то, что данный профиль – продольный по отношению к исследованному прогибу, одному из составляющих элементов Прикаспийской впадины, среди которых выявлен ряд частных прогибов и поднятий, связанных с разломами мозаичного ансамбля Прикаспийской впадины [13–15].

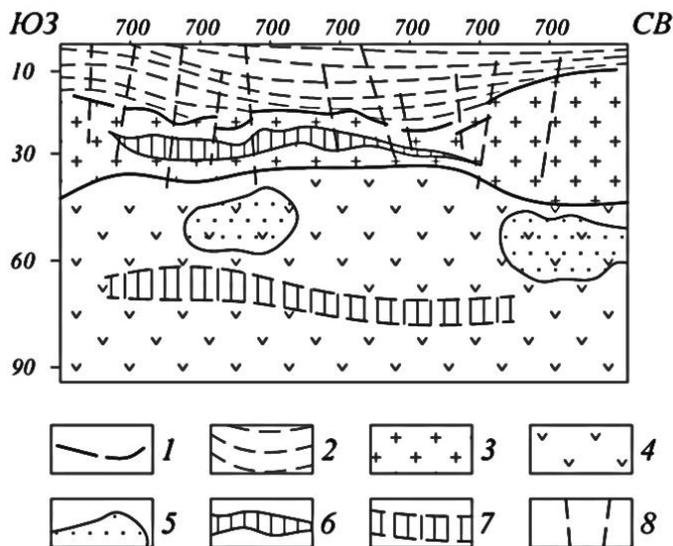


Рис. 3. Сейсмический разрез по профилю Элишта-Бузулук в северо-западной части Прикаспийской впадины по А.В. Егоркину, Э.Г. Даниловой, Л.Б. Щегловой [13]:  
1 – поверхности корового фундамента и М по преломленным и обменным волнам; 2 – осадочное выполнение Прикаспийской впадины; 3 – комплексы корового фундамента; 4 – мантия;  
5 – участки мантии с пластовыми скоростями более 8.6 км/с; 6 – области пониженных скоростей в коре; 7 – области пониженных скоростей в мантии; 8 – разломы; цифры по вертикали и горизонтали – глубины и расстояния, км

Рис. 4 из работы [14] представляет результаты геолого-геофизических работ по профилю р. Волга – р. Урал – г. Актюбинск. Он, в связи с субширотной ориентировкой и четкой картиной зеркального соотношения донной части Прикаспийской впадины, заполненной фанерозойскими толщами, и воздымающегося «базальтового» слоя, так же, как и рис. 3, может служить подтверждением вероятности «расталкивания» коровых масс расплзающимися диапирами из «аномальных» масс вещества верхней мантии и «базальтового» слоя. Эти массы в своем распределении и движении (подъем и горизонтальное растекание), по-видимому, подчинены влиянию ДЛЗ. Последние обнаруживаются по признакам присутствия разломов.

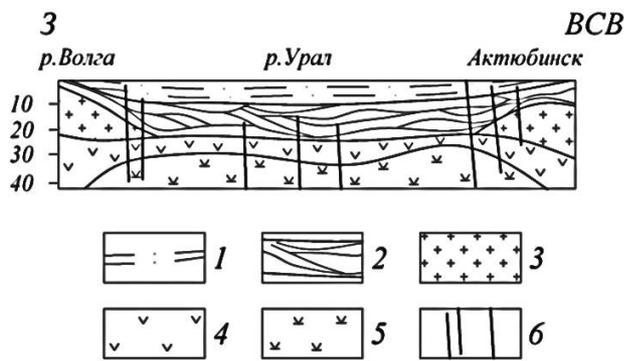
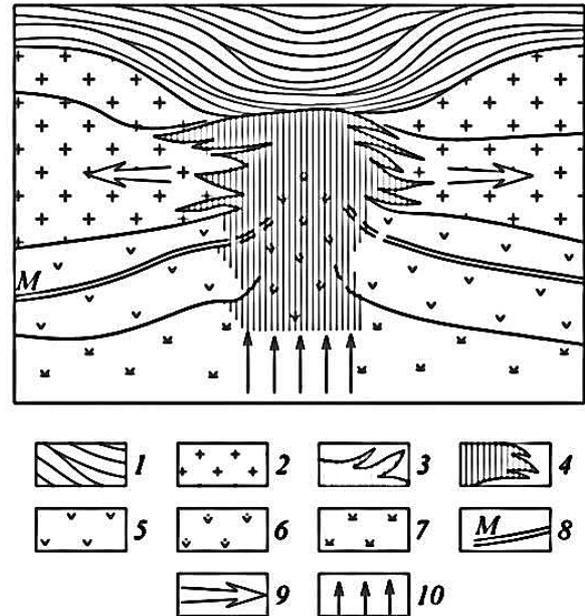


Рис. 5. Обобщенная предлагаемая модель морфоструктуры корового прогиба, возникающего в ходе мантийно-корового взаимодействия (поперечный глубинный разрез): 1 – супракрустальное наполнение прогиба; 2 – фундамент прогиба (коровые толщи стратисферы); 3 – внутрикоровые границы; 4 – расплзающиеся массы мантийного диапира, поднявшегося в кору; 5 – базитовые и гипербазитовые массы переходной зоны кора–мантия, включающей базальтовый слой и верхи мантии; 6 – область «аномальной» мантии и «аномального» базальтового слоя в зоне влияния ДЛЗ; 7 – мантия; 8 – поверхность М; 9 – направления «расталкивания» корового материала расплзающимся мантийным диапиром; 10 – направление восходящего энерго-массопотока в канале ДЛЗ

Рис. 4. Обобщенный глубинный геолого-геофизический профиль через Кастийскую впадину по линии р. Волга – р. Урал – г. Актиюбинск, по [14]:

1 – пермь-третичные отложения, включая кунгурские соленосные отложения и солевые штоки; 2 – подсолевые фанерозойские толщи; 3 – гранитно-метаморфический слой коры; 4 – базальтовый слой коры; 5 – верхняя мантия; 6 – разломы; цифры по вертикали – глубина, км



Всё изложенное выше позволяет построить возможную модель морфоструктуры корового прогиба, возникающего в результате мантийно-корового взаимодействия. Управляющим фактором является активизированная ДЛЗ. Предполагаемая модель (рис. 5) нуждается в дополнительных пояснениях, подчеркивающих ее доказательную ценность:

1) модель представлена в виде поперечного разреза линейного прогиба и иллюстрирует сравнительно простой случай, когда «работает» одиночная ДЛЗ;

2) на рисунке показано характерное зеркальное соотношение форм воздымания сложного глубинного диапира, состоящего из активизированного «аномального» вещества верхов мантии и базальтового (гранулит-базитового) слоя;

3) воздымание сложного диапира происходит в связи с тем, что его вещество «аномально» из-за частичного плавления и нагрева, а также из-за присутствия флюидного теплоносителя, вызвавшего нагрев. Суммарно эти две причины делают диапир менее плотным, чем окружающая мантия и даже базальтовый слой. В связи с этим диапир «всплывает» на уровень коры, а там оказывается тяжелее корового материала. Начинается его горизонтальное растекание (расползание) и «расталкивание» корового материала, что вызывает уменьшение мощности последнего в зоне действия всплывающего диапира и проседание поверхности коры, т.е. возникновение прогиба;

4) если «расталкивание» корового материала происходит интенсивно, то его мощность заметно нарастает в обе стороны от основания рождающегося прогиба. Само основание прогиба в таких случаях может ложиться прямо на воздымающийся сложный диапир, что и рассматривается при геологической интерпретации геофизических данных как «безграничное окно»;

5) в зонах соприкосновения масс расплзающегося диапира и коровых, по всей вероятности, могут происходить процессы некоего взаимодействия, но данных для суждения о характере этого взаимодействия совершенно не достаточно, хотя в некоторых современных публикациях появление «безграничных окон» шельфов связывается с кислотным выщелачиванием и выносом корового материала. Представляется, что подобные предположения не обеспечены фактическими данными и умозрительны, если иметь в виду колоссальные объекты корового материала, уходящего из районов «безграничных окон»;

6) предпринятый анализ исходных данных рис. 2–4 и других подобных примеров позволяет весьма осторожно предположить, что из зоны «встречного движения» воздымающихся масс верхней мантии и проседающего днища растущего прогиба может дополнительно происходить горизонтальный пластический отток прогретого и насыщенного теплоносителями вещества не только «гранитно-метаморфического», но и «базальтового» слоя. Это явление, вероятно, отражено в уменьшении мощности не только корового материала в целом, но и базальтового слоя в области донной части прогиба. Таким образом, во всех рассмотренных случаях первоначальный воздымающийся элемент – мантия, обретающая это свойство под влиянием активизированных ДЛЗ;

7) приведенные примеры и пояснения к обобщенной и упрощенной модели формирования линейных прогибов и изометричных в той или иной мере впадин (рис. 5) описывают прежде всего их элементарные черты. Крупные региональные системы коровых структур могут быть достаточно сложными, иметь многократную и весьма длительную историю формирования и преобразования, но при их исследовании, по-видимому, целесообразно исходить из представлений об элементарных типах структур, к которым относятся рассмотренные в настоящем сообщении линейные прогибы и впадины. К их главным фундаментальным особенностям, имеющим классификационное значение, могут быть отнесены следующие:

- зеркальное соотношение нижних частей развивающихся впадин и прогибов и проявляющихся тенденций встречного воздымания поверхности мантийных диапиров «аномальных» площадей «базальтового» (гранулит-базитового) слоя и поверхности М;

- подъем и проникновение мантийных диапиров, в том числе сложных, с участием активизированного под влиянием потока теплоносителей (по ДЛЗ) вещества «базальтового» слоя на внутрикоровый уровень;

- признаки горизонтального растекания материала мантийных (простых и сложных) диапиров в стороны от погружающихся частей прогибов и простых впадин и сокращения в этих зонах объема корового вещества вплоть до появления «безграничных окон»;

- признаки зависимости проявления перечисленных особенностей от наличия ДЛЗ и степени активизации последних [2, 4].

В качестве крупных и сложных региональных коровых структурных систем, до сих пор требующих углубленного геокинетического и геодинамического понимания, могут быть упомянуты такие объекты глобального значения, как разновозрастные (от архея до кайнозоя) складчатые системы (или подвижные пояса) и крупнейшие континентальные впадины, в особенности второй половины фанерозоя, относящиеся к эпохе «океанизации Земли». В их числе и такой перспективный регион, как Западно-Сибирская молодая плита – объект многочисленных дискуссий и область важнейших нефтегазовых месторождений, обнаруживающая многие черты сходства с важнейшими продуктивными метаплатформами шельфовых зон Земли [11–15].

Авторы настоящей публикации выражают надежду, что представленные в ней предложения окажутся полезными при анализе сложных структурных коровых ансамблей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Предовский А.А.* Об одной проблеме геологического сознания: насколько же важна разломная тектоника? // Тетта. 2009. №2 (8). С. 15-19. 2. *Предовский А.А.* Формационный анализ супракрустальных толщ (введение в проблему стратисферы Земли). Мурманск: Изд-во МГТУ, 2011. 190 с. 3. *Предовский А.А.* О возможном механизме развития гигантских структурных петель Земли / *А.А. Предовский, И.В. Чикирëв, Н.С. Абмаева* // Межвузовский сборник трудов научно-технической конференции «Наука и образование – 2010». Мурманск: Изд-во МГТУ, 2010. С. 246–249. 4. *Предовский А.А.* Существенные особенности мантийно-корового взаимодействия как важного фактора морфоструктурного процесса / *А.А. Предовский, И.В. Чикирëв* // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 1 (8). С. 159-166. 5. *Предовский А.А.* К истории петрогеохимических исследований

супракрустальных толщ докембрия в Карело-Кольском регионе // Вестник КНЦ РАН. Апатиты. 2012. № 4. С. 93–98. **6. Авсюк Ю.Н.** Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с. **7. Авсюк Ю.Н.** Внеземные факторы, действующие на тектогенез // Фундаментальные проблемы общей геотектоники. М.: Научный мир, 2001. С. 425–443. **8. Ларин В.Н.** Наша Земля: происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли. М.: Агар, 2005. 248 с. **9. Щеглов А.Д.** Нелинейная металлогения и глубины Земли / А.Д. Щеглов, И.Н. Говоров. М.: Наука, 1985. 324 с. **10. Брок Б.Б.** Рифтовые долины кратона // Система рифтов Земли. М.: Мир, 1970. С. 74–91. **11.** Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы. Ч. 1. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. 204 с. **12. Сенин Б.В.** Тектоника Арктической зоны перехода от континента к океану / Б.В. Сенин, Э.В. Шипилов, А.Ю. Юнов. Мурманск: Мурманское книжное издательство, 1989. 176 с. **13.** Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. М.: Наука, 1980. 184 с. **14. Милановский Е.Е.** Геология России и ближнего зарубежья. М.: МГУ, 1996. 446 с. **15.** Тектоника нефтегазоносных областей / под ред. Ю.А. Косыгина. М.: Гостоптехиздат, 1958. Т. II. 613 с.

### Сведения об авторах

*Предовский Александр Александрович* – д.г.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник;  
e-mail: kafgeol@afmgtu.apatity.ru

*Чикирёв Игорь Владимирович* – к.г.-м.н., доцент, заместитель директора МГТУ;  
e-mail: kafgeol@afmgtu.apatity.ru

*Некипелов Дмитрий Александрович* – студент; e-mail: kafgeol@afmgtu.apatity.ru

УДК 621.039.58

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В АКТИВНЫХ ЗОНАХ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

**Н.Н. Мельников, В.П. Конухин, В.А. Наумов, С.А. Гусак, А.В. Наумов,  
Е.В. Караваева**  
Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Дана краткая характеристика проблемы утилизации ядерных и радиационно опасных объектов на бывших береговых базах Северного флота и плавучих технических базах (ПТБ) атомного ледокольного флота, расположенных на Кольском полуострове. Представлены методология и основные результаты исследования накопления долгоживущих радионуклидов в активных зонах реакторов атомных ледоколов «Ленин», «Арктика» и «Сибирь», из которых *отработавшее ядерное топливо* (ОЯТ) перегружалось на ПТБ «Лепсе» в период с 1963 по 1981 год. На основе результатов исследования выполнена оценка  $\alpha$ - и  $\beta$ -активности ОЯТ в хранилище «Лепсе» на настоящий период времени.

### Ключевые слова:

*радиационно опасные объекты, атомные ледоколы, утилизация, отработавшее ядерное топливо, долгоживущие радионуклиды.*

Регион Европейского Севера России (Мурманская и Архангельская области), где на протяжении более полувека базировались около двух третей атомного подводного флота и надводных кораблей с реакторными установками (РУ) СССР и России, а также весь отечественный атомный ледокольный флот, с точки зрения ядерных и радиационных рисков относится к наиболее опасным территориям страны и мира. Наследием интенсивного развития атомно-энергетического комплекса в регионе явились многочисленные проблемы, которые, в частности, обуславливают ядерную и радиационную опасность объектов утилизации и экологической реабилитации.

В последние годы Росатом при международной финансовой помощи ведет практическую реализацию проектов по реабилитации и утилизации ряда объектов, среди которых можно выделить бывшие береговые технические базы (БТБ) Северного флота в губе Андреева и пос. Гремиха и плавучую техническую базу (ПТБ) «Лепсе», которые по уровню риска относятся к наиболее радиационно опасным объектам в регионе.

Следует отметить, что Горный институт Кольского научного центра Российской Академии наук, в течение более двадцати лет занимающийся исследованиями в области инженерно-геологического обеспечения и оценки безопасности создаваемых в Северо-Западном регионе России объектов, предназначенных для долговременного хранения и захоронения ядерных и радиационно опасных материалов, является непосредственным участником ряда международных проектов, а также проводит комплексные научные исследования по заданиям Президиума РАН. Решенные научно-практические задачи могут быть сформулированы следующим образом [1, 2 и др.]:

- выполнен комплекс работ на строительстве Пункта длительного хранения реакторных отсеков утилизируемых атомных подводных лодок (АПЛ) и Центра кондиционирования и долговременного хранения радиоактивных отходов (РАО) в Сайда-губе;

- разработана методология выбора площадок для размещения наземных и подземных объектов долговременного хранения и захоронения РАО и ОЯТ, рекомендованы конкретные площадки для размещения регионального подземного могильника РАО для Северо-Западного региона России, Пункта долговременного хранения реакторных отсеков утилизируемых АПЛ и Центра кондиционирования и долговременного хранения РАО;

- создана научная и инженерная база проектирования и технологий строительства подземных объектов, предназначенных для хранения неперерабатываемых видов ОЯТ судовых реакторов и захоронения РАО на Европейском Севере Российской Федерации.

Настоящая работа посвящена изучению накопления долгоживущих радионуклидов в активных зонах реакторов атомных ледоколов (а/л) «Ленин», «Арктика» и «Сибирь», ОЯТ которых является важнейшей составляющей радиационного потенциала хранилища топлива на ПТБ «Лепсе», считающейся самым ядерно и радиационно опасным плавучим объектом на северо-западе России.

### **Цели и задачи**

Главная цель работы – определение ядерных и радиационных характеристик современного состояния ОЯТ, находящегося в хранилище ПТБ «Лепсе». Эта цель продиктована желанием получить необходимые исходные данные для возможных академических экспертиз и оценок степени рисков от обращения с ОЯТ, в основном, при выгрузке топлива и перевозке его на перерабатывающий завод ПО «Маяк», планируемых в ближайшие годы на заводе «Нерпа». Заметим, что в опубликованной литературе эти данные по ряду важных параметров противоречивы или не обладают необходимой полнотой. Достижение этой цели предполагает решение нескольких задач, а именно:

- систематизация информации о реакторах атомных ледоколов, из которых ОЯТ перегружалось на ПТБ «Лепсе», и их эксплуатационных характеристиках (мощности, энерговыработки, типы и начальные загрузки топлива и др.);

- разработка или усовершенствование математических моделей эксплуатационных циклов этих реакторов;

- проведение математического моделирования топливных циклов и определение изотопного состава ОЯТ реакторов атомных ледоколов на время окончания эксплуатации активных зон;

- определение активности долгоживущих радионуклидов в ОЯТ и ее динамики при длительном хранении топлива на «Лепсе».

### **Методика расчета изотопного состава ОЯТ**

Начальная топливная загрузка в реактор содержит в своем составе 2 основных изотопа урана:  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ . При работе реактора на мощности, которая определяется величиной плотности потока нейтронов (ППН), в ядерных реакциях при поглощении нейтронов ядрами атомов  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  образуются новые актиниды, а в реакциях деления этих ядер – осколки деления и выделяется энергия. Таким образом, одной из задач методики является определение абсолютных значений ППН при определенной мощности, развивающейся в объеме активной зоны (АЗ), а также спектра ППН, так как вероятности ядерных реакций зависят от энергии нейтрона. Физика

нейтронных процессов в ядерном реакторе предполагает для этого случая решение уравнения баланса нейтронов в АЗ при известном материальном составе (уравнение реактора).

Материальный состав АЗ изменяется со временем по причине «выгорания» изотопов начальной загрузки и образования новых актинидов, и он должен переопределяться для учета влияния состава на ППН. Это вторая задача, которая должна решаться выбранной методикой. Изменение состава топлива ядерного реактора описывается уравнениями кинетики выгорания топлива. Уравнения кинетики выгорания построены на условиях баланса скоростей выгорания, радиоактивного распада и образования нуклидов в АЗ.

Нами в качестве математического аппарата выбран программный комплекс (ПК) КРАТЕР, который позволяет решать обе обозначенные задачи. ПК КРАТЕР в его современной версии разработан специалистами института ядерной энергетики (ныне Объединенный институт энергетических и ядерных исследований Академии Наук Беларуси) и Горного института КНЦ РАН [2, 3]. ПК КРАТЕР позволяет определять критическое состояние гомогенных и гетерогенных реакторов, различающихся типом замедлителя нейтронов, топлива и теплоносителя, имеет программу расчета реакторной ячейки альбедным методом, что позволяет рассчитывать пространственно-энергетическое распределение нейтронов в тепловыделяющих сборках активной зоны, определять константы уравнений реактора. В алгоритме ПК КРАТЕР применено многогрупповое (10 групп) диффузионное приближение к уравнению переноса нейтронов, имеются одномерная, двумерная и трехмерная версии. ПК КРАТЕР имеет подпрограмму расчета топливного цикла реактора. В ней уравнения кинетики выгорания решаются совместно с уравнением реактора для последовательности временных шагов, на которые разбивается кампания реактора, в приближении постоянства ППН на временном шаге. Таким образом определяется ППН, массовый изотопный состав топлива на 1-м шаге, и эти значения ППН используются для расчета изотопного состава топлива и ППН на 2-м шаге и далее последовательно до конца кампании. ПК КРАТЕР требует задания эксплуатационной мощности, времени работы реактора, числа временных шагов, а также геометрии, материального состава активной зоны и отражателей, температуры сред.

Уравнения реактора и кинетики выгорания топлива, а также методы их решения в ПК КРАТЕР подробно представлены в работах [2, 3].

В рассматриваемой задаче, исходя из однотипности используемых на ледоколах водородных реакторов корпусного типа, охлаждаемых водой под давлением (типы: ОК-150, ОК-900 и ОК-900А), применена цилиндрическая одномерная геометрия активной зоны и цилиндрическая одномерная геометрия реакторной ячейки. Этот выбор объясняется простыми соображениями. Ледокольные реакторы имеют корпуса, внутрикорпусные конструкции, активные зоны и топливные сборки цилиндрической формы. Выбор одномерного приближения продиктован не столько простотой его реализации, сколько прикладной стороной задачи: конечные результаты – массы и активности нуклидов должны быть представлены для тепловыделяющих сборок (ТВС) или групп ТВС, ибо такова форма хранения ОЯТ на ПТБ «Лепсе».

### **Исходные данные для изучения изотопного состава ОЯТ реакторов атомных ледоколов**

Как следует из описания примененной методики, методом изучения изотопного состава ОЯТ является компьютерное математическое моделирование, требующее разработок математических моделей нейтронно-физических процессов в судовых реакторах и соответствующих исходных данных. Представлены данные по типам реакторов и активных зон, из которых ОЯТ перегружалось на ПТБ «Лепсе», время окончания эксплуатации, а также количество ТВС этих реакторов, находящихся в настоящее время в баках хранилища на ПТБ «Лепсе» (табл. 1). Основными по количеству отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) в баках хранилища являются АЗ ОК-150-ПЦ, ОК-150-ПС, в которых применены циркониевые или стальные оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) соответственно; а также три АЗ 14 СКГ и АЗ 14 СКГК. Именно для этих АЗ были разработаны робастные (упрощенные) математические модели и исходные данные.

Таблица 1

Характеристики ОЯТ, находящегося в баках хранилища ПТБ «Лепсе» [4]

Индекс активной зоны	Тип ЯЭУ*	Номер реактора	Окончание эксплуатации	Число ОТВС в баках	
				правом	левом
Ледокол «Ленин»					
ОК-150	ОК-150	2	Ноябрь 1962	2	4
ОК-150-1ПС		1	Октябрь 1965	–	85
ОК-150-1ПЦ		2	Ноябрь 1964	–	16
		3	Октябрь 1965	–	99
14 СКМ	ОК-900	2	Январь 1972	1	-
14 СКГ		1	Май 1976	18	2
14 ЦС		2	Июнь 1978	3	
14 СКГ		1	Март 1981	127	55
Ледокол «Арктика»					
14 СКГ	ОК-900А	1	Апрель 1977	25	1
		2	Февраль 1978	2	2
Ледокол «Сибирь»					
14 СКГК	ОК-900А	2	Май 1980	157	40

Примечание. ЯЭУ – ядерная энергетическая установка.

Основные параметры АЗ, как исходные данные для разработки математических моделей, были установлены на основе изучения информации о проектных и конструкторских разработках реакторов типа ОК-150, ОК-900 и ОК-900А [5, 6], а также данных по опыту создания и эксплуатации реакторных установок атомных ледоколов [7, 8]. Полученные в результате анализа материалов этих публикаций данные, а также результаты собственных оценок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные в математических моделях АЗ реакторов ОК-150, ОК-900 и ОК-900А

Параметр	Индекс АЗ, тип РУ, ледокол					
	ОК-150-1ПЦ ОК-150 ледокол «Ленин»	ОК-150-1ПС ОК-150 ледокол «Ленин»	14СКГ ОК-900 ледокол «Ленин»	14СКГ ОК-900 ледокол «Ленин»	14СКГ ОК-900А ледокол «Арктика»	14СКГК ОК-900А ледокол «Сибирь»
Время эксплуатации, лет	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0
Начальная загрузка $^{235}\text{U}$ , кг	76	129	176	176	176	205
Обогащение урана изотопом $^{235}\text{U}$ , %	5	6.5	среднее 40.5	среднее 40.5	среднее 40.5	среднее 40.5
Энерговыработка АЗ, ГВт·сут.	21.3÷22.9	27.5÷34.4	60.4	54.3	51	84.3
Число рабочих каналов	219	219	241	241	241	241
Диаметр/высота АЗ, см	99.68/160	117.4/160	117.4/100	117.4/100	117.4/100	117.4/100

Шаг размещения рабочих каналов, см	6.4	6.4	7.2	7.2	7.2	7.2
Топливная композиция	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UAl <sub>3</sub> +Al	UAl <sub>3</sub> +Al	UO <sub>2</sub> +Al	UO <sub>2</sub> +Al
Диаметр твэла, мм	6.1×0.75	6.1×0.45	5.8	5.8	5.8	5.8
Материал оболочек твэл	сплав Э-110	сталь	сталь	сталь	сталь	сталь
Средняя температура теплоносителя, °С	289	289	298	298	295	295
Давление теплоносителя, МПа	18	18	13	13	13	13

Комментируя табл. 2, следует отметить, что если для реакторов ОК-150 опубликована почти полная информация как по конструкции АЗ, так и по эксплуатационным параметрам, то для реакторов типа ОК-900 и ОК-900А опубликованных сведений недостаточно, и поэтому потребовались необходимые оценки или предположения. Ниже даются пояснения к табл. 2 по исходным данным для рассматриваемых реакторов.

### **Реакторы типа ОК-150**

Они относятся к типу водо-водяных реакторов корпусного типа, в которых вода под давлением используется в качестве теплоносителя, а также замедлителя нейтронов. Реактор выполнен в форме толстостенного цилиндрического сосуда (корпуса) с плоской крышкой и днищем.

Материал корпуса – углеродистая сталь. Диаметр цилиндрической части корпуса 186 см, толщина стенки 14 см. Активная зона, размещенная в центральной области корпуса, окружена несколькими цилиндрическими обечайками из нержавеющей стали 1Х18Н10Т, между которыми протекает охлаждающая их вода. Слои из стали и воды с общей толщиной ~ 30 см выполняют функции радиационной защиты корпуса и являются отражателями нейтронов. Активную зону реактора образуют 219 рабочих каналов (РК) или ТВС, расположенных в узлах правильной треугольной решетки с шагом 6.4 см, что определяет эквивалентный диаметр поперечного сечения АЗ, равный 99.7 см (см. табл. 2). Каждый РК содержит пучок из цилиндрических твэлов, размещенный в кожуховых трубах из циркониевого сплава Ø54×1 мм. В 189 РК пучок содержит 36 цилиндрических твэлов, расположенных с шагом 7.5 мм по трем концентрическим окружностям в 3 ряда. Их число по рядам равно 6, 12, 18. Твэл имеет диаметр 6.1 мм и представляет собой трубку из циркониевого сплава с толщиной стенки 0.75 мм, заполненную таблетками из UO<sub>2</sub> диаметром 4.5 мм (для АЗ ОК-150-1ПС реакторов №2 и №3 см. табл. 1.) Высота слоя таблеток 160 см является высотой АЗ. В 30 РК центральный ряд вытеснен стальными трубками, в которых размещены стержни аварийной защиты и регулирования реактивности. Эти РК содержат пучок из 30 твэл. Таким образом, в АЗ загружается 7704 твэла.

Активная зона реакторов ОК-150 сконструирована как двухходовая. Охлаждающая реактор вода под давлением 18 МПа с  $t_{вх}=261$  °С входит со стороны низа АЗ в ее центральную часть, состоящую из 108 РК и поднимаясь вверх, проходит по межтвэльному пространству ТВС, нагреваясь до температуры ~290 °С. Затем теплоноситель направляется в кольцевые каналы между стальными обечайками радиационной защиты, опускается вниз, поступает в камеру и далее направляется вверх по РК периферийной части АЗ (111 РК), где нагревается до температуры 311 °С. Таким образом, в двухходовой АЗ реактора ОК-150 имеется 2 части, работающие при различных температурах теплоносителя. Они заданы средними значениями 275 и 300 °С. Вода, проходящая в межтрубном пространстве РК, является замедлителем нейтронов,

она нагревается только за счет поглощения энергии  $\gamma$ -излучения и нейтронов, и ее температура по оценкам составляет 263 °С.

Реакторная установка ОК-150 ледокола «Ленин» имела 3 реактора (см. табл. 1), которые различались конструкционным материалом оболочек твэл. В двух АЗ реакторов № 2 и № 3 в качестве материала оболочек твэл был применен цирконий-ниобиевый сплав. При этом загрузка 76 кг  $^{235}\text{U}$  при обогащении 5% позволила обеспечить в АЗ реактора №3 проектную энерговыработку 22.9 ГВт·сут. [5]. В АЗ 150-1ПС реактора №1 оболочки твэл были изготовлены из нержавеющей стали, что позволило достичь более высокой энерговыработки: на 25% выше планируемой, которая составляла величину 27.5 ГВт·сут. [5, 8]. Однако применение стали привело к увеличению начальной загрузки  $^{235}\text{U}$  до 129 кг и обогащения до 6.5%. Принятые для этой модели геометрические параметры твэл и обогащение оценены авторами статьи.

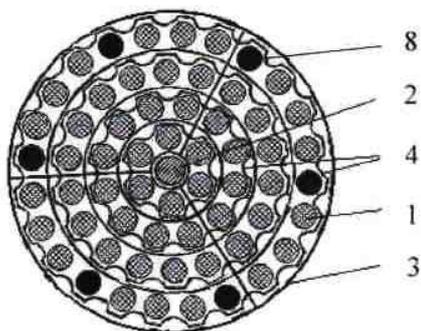
Геометрия АЗ в модели ОК-150 представлена 6 цилиндрическими слоями: 3 слоя, включающие по 38 РК в центральной части АЗ, и 3 слоя по 37 РК в периферийной части. Активную зону окружают чередующиеся слои стали и воды. Для учета пространственной неоднородности распределения нейтронов всех энергий в ТВС при получении констант уравнения реактора выделяется элементарный объем АЗ – рабочий канал с окружающей его водой (1/219 часть объема АЗ). Поперечное сечение этого объема определяет элементарную реакторную ячейку, которая представлена чередующимися цилиндрическими слоями топлива, циркониевого сплава, воды (16-ти зонная ячейка). Преобразование рядов твэлов в цилиндрические слои выполнено при условии сохранения объема всех материалов реакторного объема ТВС. Топливный цикл моделируется при величине эксплуатационной энерговыработки АЗ, равной 21.3 ГВт·сут., которая близка к проектному значению 22.9 ГВт·сут. [5].

### ***Реакторы типа ОК-900 и ОК-900А***

Двухреакторные энергетические установки ОК-900 и ОК-900А были спроектированы для более мощных ледоколов и с большим водоизмещением, чем ледокол «Ленин» с РУ ОК-150. Номинальные тепловые мощности их реакторов составляют 159 и 171 МВт, против 90 МВт для ОК-150. Обеспечение энергией новых РУ ледоколов «Ленин», «Арктика», «Сибирь» потребовало изменения характеристик их реакторов при прежних базовых решениях. Это те же водо-водяные реакторы корпусного типа с АЗ канального типа. Изменения коснулись характеристик активных зон новых РУ. Одноходовые АЗ состоят из 241 РК укороченной длины. Их топливная часть, определяющая высоту АЗ, имеет длину ~ 1 м. Рабочий канал имеет 54 твэла диаметром 5.8 мм. Шаг размещения РК увеличен до 72 мм, что привело к увеличению диаметра АЗ до 1.17 м. Предполагается, что основным конструкционным материалом АЗ – нержавеющая сталь (как в реакторе № 1 ОК-150), а в качестве топливной композиции рассматриваются интерметаллид  $\text{UAl}_3+\text{Al}$  или кермет  $\text{UO}_2+\text{Al}$ . Геометрия моделей реакторов ОК-900 и ОК-900А и соответствующих реакторных ячеек построена аналогично модели реактора ОК-150 (см. рис. 1). Применяются, как и в случае ОК-150, многозонные одномерные цилиндрические модели реактора и реакторной ячейки, эквивалентные по объему и материалному составу рабочему каналу. Самым важным параметром разрабатываемых математических моделей является энерговыработка активных зон, определяющая накопление осколков деления и актинидов. Поясним выбор ее величины.

Анализ данных по средним показателям работы РУ атомных судов с 1970 по 1999 гг. [8] показал, что энерговыработки реакторов №1 ледоколов «Ленин», «Арктика» и реактора №2 ледокола «Сибирь» составляют (при отработке 16 АЗ) 45, 65 и 72 МВт·сут. соответственно. Однако необходимо знать эксплуатационные параметры именно тех реакторов, которые разгружались на ПТБ «Лепсе». Показательно в этом отношении, что реакторы а/л «Ленин» с ОК-900 в навигациях 1978–1979 гг. работали непрерывно 390 сут., а реакторы а/л «Сибирь» в период 1978–1979 гг. – 410 сут. [9]. Заметим, что среднестатистический годовой эксплуатационный период для этих реакторов равен 230–235 сут. Поэтому следует предполагать, что энерговыработка этих реакторов превышала средний уровень.

Схема активной части ТВС



Цилиндрический кластер - модель ТВС

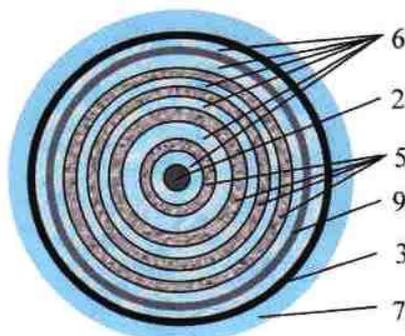


Рис. 1. Схема и модельное представление ТВС в реакторе типа ОК-900:

- 1 – твэл; 2 – центральный дистанционирующий стержень; 3 – кожуховая труба ТВС;  
 4 – дистанционирующие конструкции; 5 – слои модели, содержащие топливную композицию;  
 6 – слои, содержащие теплоноситель (вода) внутри ТВС; 7 – вода в межтрубном пространстве;  
 8 – поглощающий элемент; 9 – слой, содержащий поглощающие элементы

Для проверки этого предположения были привлечены данные по массам  $^{235}\text{U}$  и продуктов деления в ОЯТ правого бака хранилища ОЯТ на ПТБ «Лепсе» и относительным выгораниям  $^{235}\text{U}$  в АЗ реакторов № 1 а/л «Ленин», «Арктика» и реактора № 2 а/л «Сибирь», приведенные в отчете Курчатовского института, посвященном изучению ядерной безопасности хранилища ОЯТ на ПТБ «Лепсе» [10], и соотношению активностей ОЯТ из ОК-900 а/л «Сибирь» и ОЯТ из ОК-900 а/л «Ленин» и «Арктика» в правом баке хранилища, приведенные в докладе [4].

По этим данным построены соотношения по балансу искомым энерговыработок, разрешение которых дало такие результаты: энерговыработка АЗ 14СКГК а/л «Сибирь» равна 84.3 ГВт·сут., АЗ 14СКГ а/л «Ленин» с РУ ОК-900 – 54 ГВт·сут. и АЗ 14СКГ а/л «Арктика» – 51 ГВт·сут.

Топливные загрузки, обеспечивающие установленные энерговыработки, были вычислены с помощью ПК КРАТЕР моделированием топливного цикла АЗ реакторов ОК-900 и ОК-900А. При этом дополнительно предполагалось, что:

- энерговыделение АЗ профилировано топливом: в двух равных по объему частях АЗ применяется уран с обогащением 36% (в центральной части) и 45% (в периферийной);
- компенсация реактивности осуществляется бором и гадолинием естественного состава. Основные параметры разработанных моделей показаны в табл. 2.

В этих же расчетах был определен массовый изотопный состав активных зон с различной энерговыработкой.

### Результаты исследований изотопного состава

Моделирование топливных циклов всех АЗ а/л «Ленин», «Арктика» и «Сибирь» было выполнено по разработанным математическим моделям с помощью ПК КРАТЕР. Результаты по массам долгоживущих продуктов деления и долгоживущим актинидам, накопившимся в ОЯТ АЗ реакторов к концу кампании, представлены в табл. 3. Эта информация базовая, т.к. она позволяет получить как массы ядерных материалов, так и величины активностей любой группы ТВС, хранящейся на ПТБ «Лепсе».

Для времени выдержки  $\tau$  активность радионуклида типа  $i$  с массой  $m_i$  определяется согласно соотношению:

$$a_i = \lambda m_i \frac{N_0}{A} \exp(-\lambda \tau),$$

где  $a_i$  – активность в Бк;  $\lambda$  – постоянная распада нуклида,  $\text{с}^{-1}$ ;  $N_0 = 6.022 \cdot 10^{23}$  – число атомов в одном грамм-атоме (число Авогадро);  $A_i$  – атомный вес нуклида.

Интерес только к долгоживущим радионуклидам объясняется продолжительным (30–50 лет) хранением ОЯТ на ПТБ «Лепсе». За столь длительный период короткоживущие радионуклиды с высокой активностью, но короткими периодами полураспада, такие как  $^{106}\text{Ru}$  ( $T_{1/2}=368$  сут.),  $^{147}\text{Pm}$  ( $T_{1/2}=2.62$  года),  $^{131}\text{I}$  ( $T_{1/2}=8.04$  сут.),  $^{140}\text{Ba}$  ( $T_{1/2}=12.8$  сут.),  $^{141}\text{Ce}$  ( $T_{1/2}=32.5$  сут.) и др. распались до незначительного уровня. Поэтому риски при обращении с ОЯТ ПТБ «Лепсе» определяются главным образом долгоживущими радионуклидами с  $T_{1/2} > 10$  лет. Основными из них являются продукты деления (ПД)  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и продукты их радиоактивного распада  $^{90}\text{Y}$  и  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , а также  $^{85}\text{Kr}$  ( $T_{1/2}=10.76$  года),  $^{151}\text{Sm}$  ( $T_{1/2}=90$  лет). Долгоживущие актиниды  $^{238,239,240,241,242}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  ( $T_{1/2}=432$  года),  $^{244}\text{Cm}$  ( $T_{1/2}=18.1$  года) определяют  $\alpha$ -активность ОЯТ, данные по которой необходимы для оценки рисков при обращении с аварийными ОТВС, имеющимися в хранилище ОЯТ на ПТБ «Лепсе».

Таблица 3

Массовый изотопный состав ОЯТ судовых РУ на момент окончания эксплуатации, кг

Нуклид	Период полураспада, лет	Тип реакторной установки и активной зоны, ледокол					
		ОК-150 ОК-150- 1ПС ледокол «Ленин»	ОК-150 ОК-150- 1ПЦ ледокол «Ленин»	ОК-900 14СКГ ледокол «Ленин»*	ОК-900 14СКГ ледокол «Ленин»*	ОК-900А 14СКГ ледокол «Арктика»	ОК-900А 14СКГК ледокол «Сибирь»
$^{235}\text{U}$	$7.04 \cdot 10^8$	90.41	52.63	101.3	107.9	112.34	101.38
$^{236}\text{U}$	$2.342 \cdot 10^7$	6.94	3.95	13.9	12.8	11.99	19.13
$^{238}\text{U}$	$4.468 \cdot 10^9$	1840.3	1434.6	249.8	250.7	251.2	288.8
$^{237}\text{Np}$	$2.14 \cdot 10^6$	0.250	0.107	1.050	0.970	0.849	1.082
$^{238}\text{Pu}$	87.7	0.0336	0.0131	0.112	0.0876	0.068	0.206
$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \cdot 10^4$	8.23	5.14	3.191	3.132	3.08	3.93
$^{240}\text{Pu}$	6570	1.41	0.931	0.764	0.692	0.641	1.05
$^{241}\text{Pu}$	14.4	0.579	0.276	0.548	0.474	0.420	0.843
$^{242}\text{Pu}$	$3.76 \cdot 10^5$	0.0602	0.0279	0.107	0.081	0.0659	0.191
ПД	-	36.76	22.42	63.73	57.79	53.83	89.0
$^{85}\text{Kr}$	10.776	0.033	0.0205	0.0585	0.0536	0.0503	0.0812
$^{90}\text{Sr}$	29.1	0.731	0.450	1.323	1.206	1.128	1.836
$^{99}\text{Tc}$	$2.11 \cdot 10^5$	0.907	0.559	1.518	1.386	1.297	2.078
$^{137}\text{Cs}$	30.14	1.315	0.806	2.250	2.045	1.908	3.139
$^{151}\text{Sm}$	90.0	0.0237	0.0128	0.0237	0.0249	0.0256	0.0252

Примечание. \* – при различной величине энерговыработки (см. табл. 2)

Образование актинидов в реакторах ОК-150, ОК-900 и ОК-900А, в которых применено высокообогащенное топливо, имеет свои особенности. Такие важные радиотоксичные радионуклиды, как  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ , образуются главным образом из  $^{235}\text{U}$  в результате последовательных реакций поглощения и распада образующихся изотопов, а изотопы плутония и  $^{241}\text{Am}$  – из  $^{238}\text{U}$ . Диаграмма, поясняющая схему образования актинидов из  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , показана на рис. 2.

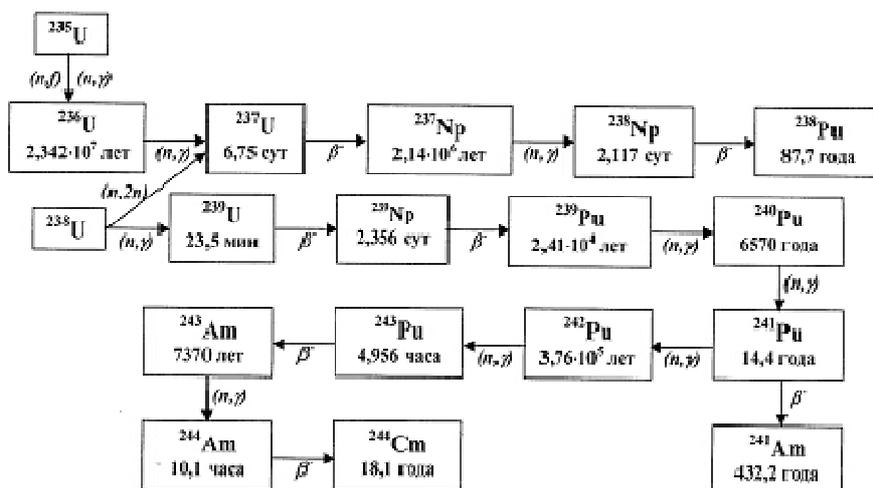


Рис. 2. Схема образования актинилов из  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$

Динамика образования актинилов из элементов начальной загрузки урана продемонстрирована на рис. 3 и 4 для двух реакторов: ОК-150 (АЗ ОК-150-1ПС) и ОК-900А (АЗ 14 СКГК).

В активной зоне 150-1ПС при начальной загрузке  $^{235}\text{U}$  129 кг и массе урана  $^{238}\text{U}$  1856 кг выгорает 38,6 кг  $^{235}\text{U}$  и 15,7 кг  $^{238}\text{U}$ . При этом образуется 8,2 кг  $^{239}\text{Pu}$  и 0,58 кг  $^{241}\text{Pu}$ . При продолжительном хранении  $^{241}\text{Pu}$ , распадаясь, переходит в  $^{241}\text{Am}$ , который является определяющим  $\alpha$ -активность ОТВС этого реактора.

В активной зоне 14СКГК при начальной загрузке 205 кг и массе  $^{238}\text{U}$  300 кг выгорает 104 кг  $^{235}\text{U}$  и 12 кг  $^{238}\text{U}$ . При этом образуется 3,9 кг  $^{239}\text{Pu}$ , 0,84 кг  $^{241}\text{Pu}$  и 0,24 кг  $^{238}\text{Pu}$ .  $^{241}\text{Am}$ , образующийся из  $^{241}\text{Pu}$ , вместе с  $^{238}\text{Pu}$  дают 90%-ный вклад в  $\alpha$ -активность ОЯТ реактора ОК-900А при временах хранения более 15 лет.

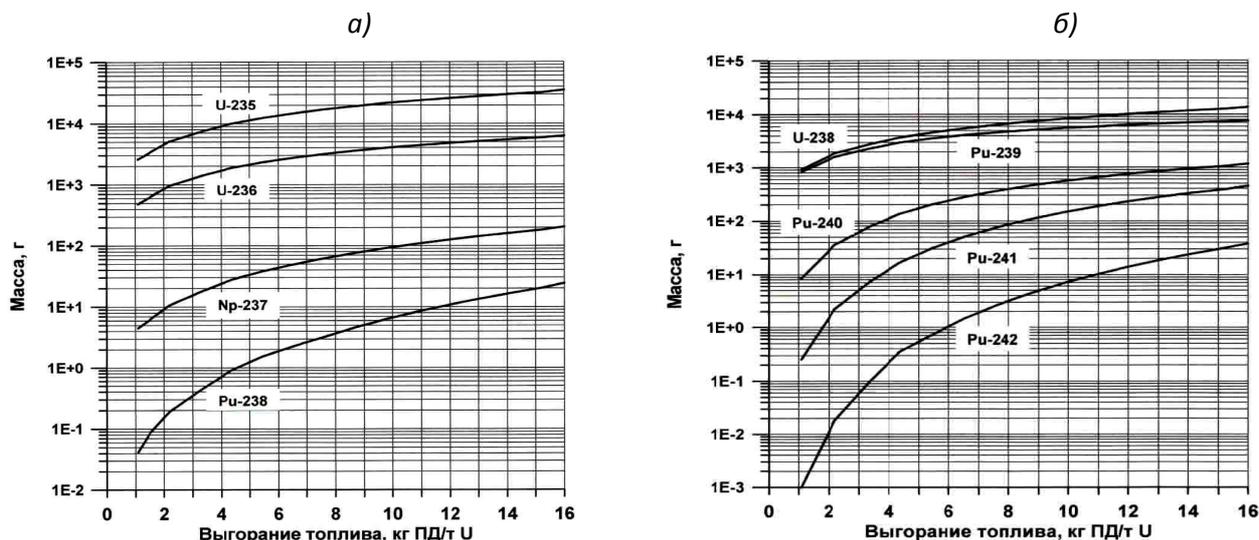


Рис. 3. Выгорание изотопов начальной топливной загрузки  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  и динамика накопления радиотоксичных долгоживущих актинилов в АЗ ОК-150-1ПС а/л «Ленин» в кампаниях 1963–1965 гг.: а) цепочка выгорания  $^{235}\text{U}$ ; б) цепочка выгорания  $^{238}\text{U}$

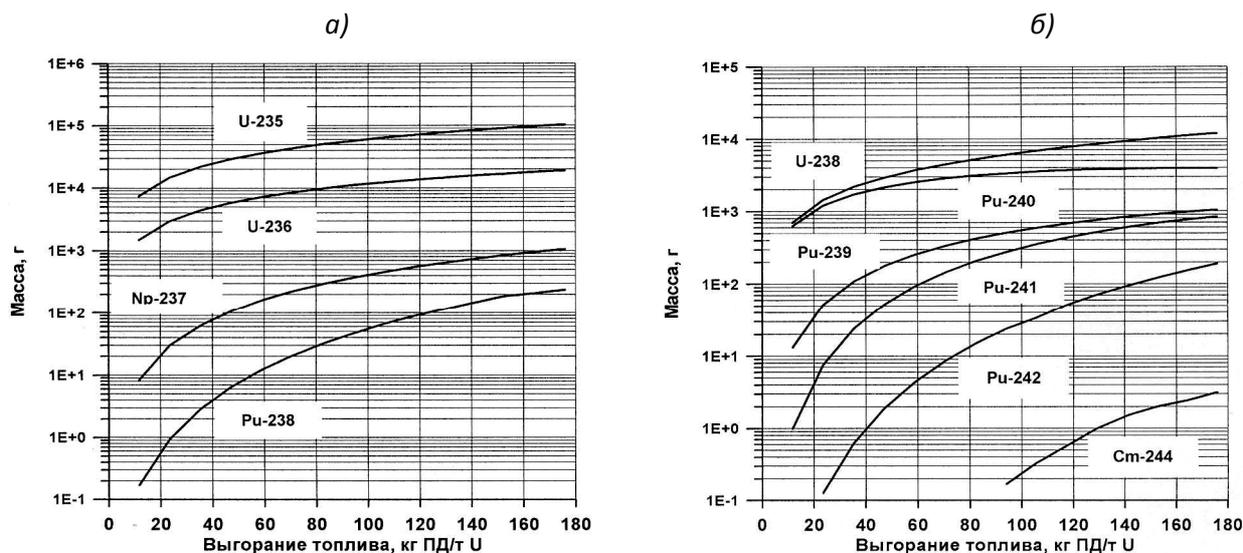


Рис. 4. Выгорание изотопов начальной топливной загрузки  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  и динамика накопления радиотоксичных долгоживущих актинилов в АЗ ОК-900 а/л «Сибирь» в кампаниях 1978-1980 гг.: а) цепочка выгорания  $^{235}\text{U}$ ; б) цепочка выгорания  $^{238}\text{U}$

#### Массы ядерных материалов ОЯТ на ПТБ «Лепсе»

Полученные в нашей работе данные по массовому изотопному составу ОЯТ в активных зонах РУ ОК-150, ОК-900 и ОК-900А (см. табл. 3), а также знание времен хранения по временам окончания эксплуатации этих АЗ позволяют определить ядерные и радиационные характеристики ОЯТ на ПТБ «Лепсе». Расчеты на ПК КРАТЕР показали, что в настоящее время на ПТБ «Лепсе» хранится ОЯТ, в составе которого содержится 253 кг  $^{235}\text{U}$  (145 кг в правом баке и 108 кг в левом), 12.3 кг  $^{239}\text{Pu}$  (7.3 кг в правом баке, 5 кг в левом) 81 кг  $^{236}\text{U}$  и 1999 кг  $^{238}\text{U}$ . Эти значения характеризуют ядерный потенциал ОЯТ на ПТБ «Лепсе». По массе  $^{235}\text{U}$  может быть отмечено хорошее согласие с данными Курчатовского института [10] (всего 260 кг  $^{235}\text{U}$ ). Однако отмечается значительное различие в массе  $^{239}\text{Pu}$  – 12.3 и 8 кг. Объяснить это можно тем, что в данных Курчатовского института не учтен  $^{239}\text{Pu}$  в ОЯТ правого бака хранилища. Отметим, что основной вклад в массу  $^{239}\text{Pu}$  в ОЯТ дает его наработка в реакторах ОК-900 ледоколов «Ленин» и «Сибирь» для правого бака и реакторах ОК-150 для левого бака.

#### Активность ОЯТ на ПТБ «Лепсе»

В настоящее время ПТБ переведена в акваторию завода «Нерпа», где планируется ее утилизация. Главная опасность проистекает от хранилища ОЯТ, которое состоит из двух стальных цилиндрических баков (левого и правого) диаметром 3580 и высотой 3440 мм. В баках хранится 639 ТВС (см. табл. 1). Значительная часть этих сборок имеет различного рода дефекты, в том числе и раскрытие оболочек, что обуславливает деградацию топлива и выход радиоактивности из ТВС.

Для определения активности ОЯТ, находящегося на ПТБ «Лепсе», по данным массового состава ОЯТ были рассчитаны активности наиболее значимых долгоживущих радионуклидов –  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{151}\text{Sm}$ ,  $^{238,239,240,241,242}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$  и определены полные активности ОЯТ для левого и правого баков.

Данные по полной  $\beta$ -активности в зависимости от продолжительности хранения приведены на рис. 5. Начальная точка на оси абсцисс составляет начало 1982 г. Полная  $\beta$ -активность ОЯТ на 2014 г. составляет 16.5 ПБк. В представленные данные не включены вклады дочерних продуктов распада  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Основными вкладчиками в  $\beta$ -активность являются  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Полная  $\alpha$ -активность ОЯТ определяется в основном радионуклидами  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  (по 40–45%) и в меньшей степени  $^{239,240}\text{Pu}$  (~10%). Ее величина 343 ТБк на начало 2014 г. имеет вклады 133 ТБк от левого и 210 ТБк от правого бака. Полученные данные характеризуют ПТБ «Лепсе» как радиационный объект высокой потенциальной опасности.

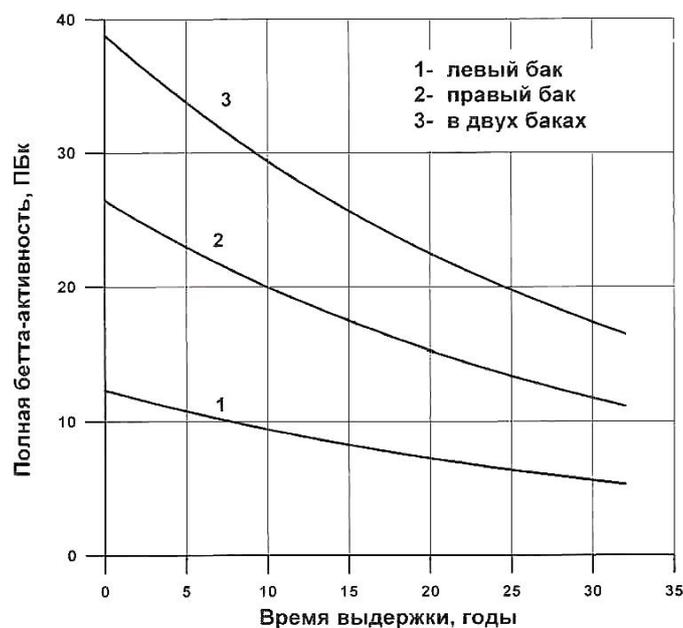


Рис. 5. Полная  $\beta$ -активность осколков реакции деления и  $^{241}\text{Pu}$  в ОЯТ на ПТБ «Лепсе»

## Заключение

Методами математического моделирования изучены изотопные составы активных зон реакторов типа ОК-150, ОК-900, ОК-900А атомных ледоколов. Получены новые данные по массам ядерных материалов, хранящихся на ПТБ «Лепсе», и их активности. Результаты работы могут быть использованы в оценке рисков при утилизации ПТБ «Лепсе», а также при обращении с ОЯТ при его длительном хранении и переработке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационные проекты подземных объектов долговременного хранения и захоронения ядерных и радиационно опасных материалов в геологических формациях Европейского Севера России / Н.Н. Мельников, В.П. Конухин, В.А. Наумов, П.В. Амосов, С.А. Гусак, А.В. Наумов. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. 111 с.
2. Отработавшее ядерное топливо судовых энергетических установок на европейском севере России. В 2-х частях / Н.Н. Мельников, В.П. Конухин, В.А. Наумов, П.В. Амосов, С.А. Гусак, А.В. Наумов, Ю.Р. Катков. Апатиты: КНЦ РАН, 2003. 166 с., 209 с.
3. Наумов В.А. Программный комплекс КРАТЕР для расчета нейтронно-физических характеристик тепловых ядерных реакторов: препринт ИПЭ-14 / В.А. Наумов, И.Е. Рубин, Н.М. Днепровская. Минск–Сосны: ИПЭ АНБ, 1996. 39 с.
4. Тимофеев А.А. Принципиальные технические решения обращения с ОЯТ ПТБ «Лепсе». Проблемы их решения / А.А. Тимофеев, С.А. Душев. Режим доступа: [http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/CEG/documents/ws052011/2\\_Russian\\_folder\\_CEG\\_Workshop/5.2.2\\_Timofeyev\\_Paper\\_Rus.pdf](http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/CEG/documents/ws052011/2_Russian_folder_CEG_Workshop/5.2.2_Timofeyev_Paper_Rus.pdf)
5. Абрамов В.М. Атомной энергетике XX лет / В.М. Абрамов, А.П. Александров, П.И. Алещенков. М.: Атомиздат, 1974. 213 с.
6. Головизнин В.М. Судовые ядерные энергетические установки: учебник для вузов / В.М. Головизнин, В.А. Кузнецов, Б.Г. Пологих. М.: Атомиздат, 1976. 376 с.
7. Африкантов И.И. Опыт эксплуатации атомной установки ледокола Ленин / И.И. Африкантов, Н.М. Мордвинов, П.Д. Новиков // Атомная энергия. 1964. Т. 17, вып. 5. С. 349–359.
8. Опыт создания и эксплуатации реакторных установок гражданских судов / В.И. Макаров, Б.Г. Пологих, Н.С. Хлопкин, Ф.М. Митенков, Ю.К. Панов, В.И. Полуничев, О.А. Яковлев // Атомная энергия. 1964. Т. 89, вып. 3. С. 179–189.
9. Атомному ледоколу «Ленин» 25 лет / Н.С. Хлопкин, Ф.М. Митенков, З.М. Мовшевич, Б.Г. Пологих, А.К. Следзюк // Атомная энергия. 1984. Т. 57, вып. 5. С. 317–320.
10. Нейтронно-физические расчеты в обоснование ядерной безопасности хранилища ОТВС ПТБ «Лепсе»: отчет о НИР / Российский научный центр «Курчатовский Институт». Институт ядерных реакторов; рук.: Б.Г. Пологих, М.Н. Мецержяков; исполн.: В.К. Власенков и др. М., 1996. 35 с.

## Сведения об авторах

Мельников Николай Николаевич – д.т.н., академик РАН, директор института;  
e-mail: root@goi.kolasc.net.ru;

Конухин Владимир Пантелеймонович – д.т.н., профессор, зав. лаб.; e-mail: vladimir@goi.kolasc.net.ru;

Наумов Вадим Алексеевич – к.ф.-м.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник;  
e-mail: naumovva@goi.kolasc.net.ru;

Гусак Сергей Андреевич – к.т.н., старший научный сотрудник; e-mail: gusnat@goi.kolasc.net.ru;  
Наумов Андрей Вадимович – старший научный сотрудник;  
e-mail: naumovandreyvadimovich@yahoo.com;  
Каравеева Елена Владимировна – научный сотрудник; e-mail: naumovva@goi.kolasc.net.ru.

УДК 541.182.644:541.183.24

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ АМОРФНЫХ ОКСИГИДРОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К АНИОНАМ

**С.И. Печенюк**

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

### Аннотация

Кратко изложены основные результаты систематического фундаментального исследования сорбции анионов-загрязнителей окружающей среды (арсенат, хромат, фосфат, оксалат) аморфными оксигидроксидами железа, циркония, алюминия и хрома. Представлены механизмы сорбции в свете современных воззрений на взаимодействие ионов с электрически заряженной поверхностью и образование поверхностных сорбционных комплексов.

### Ключевые слова:

*сорбция, сорбционный комплекс, поверхностный заряд, изотерма сорбции, извлечение, механизм сорбции, точка нулевого заряда.*



В предыдущей статье [1] описаны исследования сорбции анионных комплексов платиновых металлов на оксигидроксидах. Было обнаружено новое физико-химическое явление – гетерогенный гидролиз, и были описаны замечательные сорбционные свойства аморфного оксигидроксида железа(III), проявляющиеся в этом процессе.

Как известно, высокими сорбционными свойствами обладают не только аморфные оксигидроксида железа(III), но также оксигидроксида Ti(IV), Zr(IV), Al(III), Cr(III) и др. Естественно возникал вопрос: присущи ли закономерности, найденные нами для феррогеля, аморфным оксигидроксидам

других металлов?

Исследования феррогелей привели нас к убеждению, что для всех металлов, образующих труднорастворимые оксигидроксида (ОГ), могут быть получены их гели с заданными сорбционными свойствами, в числе которых будет способность к гетерогенному гидролизу (ГГ). Исходя из этого, проведено сравнительное изучение сорбционных свойств ОГ ряда металлов с целью создания теоретической модели для прогнозирования условий извлечения металлов-комплексобразователей из комплексобразующих сред ОГ-сорбентами [2–12].

Для ОГ Ti(IV), Zr(IV), Sn(IV), In(III), Cr(III), Al(III), Sm(III), Co(II), Zn(II) изучены химические составы ОГ (гидро- и ксерогелей) методами капельного титрования химического анализа образцов, их кислотно-основные свойства методом точки нулевого заряда (ТНЗ) и их сорбционная активность в реакциях гетерогенного гидролиза (индикаторные реакции ГГ  $[\text{IrCl}_6]^{2-}$  и  $[\text{RhCl}_6]^{3-}$ ). Цель этой части работы: установить взаимосвязь между фундаментальными свойствами катионов (табл. 1), образующих ОГ, и сорбционными (поверхностными) свойствами ОГ.

Все изученные нами случаи образования ОГ металлов при нейтрализации раствора соли металла щелочью разделяются на 2 типа. Первому типу соответствует резкий излом кривой титрования при величине отношения  $\text{OH}/\text{Me}$ , далекой от точки эквивалентности, с последующим медленным ростом величины этого отношения при одновременном резком росте pH суспензии. К этому типу относятся Ti(IV), Zr(IV), Cr(III), Al(III). Второму типу отвечает резкий излом

кривой титрования при  $\text{OH/Me}$ , близком к точке эквивалентности, с последующим очень медленным ростом этого соотношения ( $\text{Fe(III)}$ ,  $\text{In(III)}$ ,  $\text{Sm(III)}$ ,  $\text{Sn(IV)}$ ,  $\text{Co(II)}$ ,  $\text{Zn(II)}$ ).

ОГ хрома, самария, алюминия и цинка практически во всем используемом интервале  $\text{pH}$  осаждения ( $\text{pH}_{\text{ос}}$ ) удерживают в своем составе остаточные анионы исходной соли, не удаляемые трехкратной отмывкой (от 1 до 0.3  $\text{X/Me}$ ), содержание которых уменьшается с увеличением  $\text{pH}_{\text{ос}}$  и является максимальным для ОГ алюминия. Некоторое количество остаточных анионов при  $\text{pH}_{\text{ос}} = 4-6$  наблюдается у ОГ железа и циркония. При  $\text{pH}_{\text{ос}} 7-9$  осаждается  $\text{ZnOHCl}$ .

Гелеобразные ОГ, полученные по нашей стандартной методике (выдержка в течение ~5 мин. при  $\text{pH}_{\text{ос}}$  и трехкратная отмывка при центрифугировании с 2 тыс. об/мин), содержат 60–130 моль  $\text{H}_2\text{O}$ /моль ОГ. Для ОГ титана, циркония и хрома наблюдается некоторая склонность к оксоляции прямо в процессе осаждения с образованием  $\text{MeO}_x(\text{OH})_y$ , где  $x$  не превышает 0.4 (у титана). ОГ железа, индия, олова склонны при высоких  $\text{pH}_{\text{ос}}$  (10–13) удерживать  $\text{NaOH}$ : 0.1 у  $\text{Fe}$ , 0.25 у  $\text{In}$ , 0.4 у  $\text{Sn}$  (моль/моль). При высушивании гидрогелей при комнатной температуре над кристаллической щелочью у всех ОГ, кроме ОГ индия, алюминия и самария, оксоляция возрастает:  $x$  увеличивается до 1–1.6, а  $y$  уменьшается до 0.8–1.6. максимальная величина  $x = 1.6$  у ОГ олова. ОГ цинка превращается в этих условиях в кристаллический  $\text{ZnO}$ .

Таблица 1

Фундаментальные характеристики катионов ОГ

Катион	Кристаллохимические радиусы по Бокию и Белову, А	Ионный потенциал, z/r	Электронная структура
$\text{Fe(III)}$	0.67	4.48	$3d^5$
$\text{In(III)}$	0.92	3.26	$4d^{10}$
$\text{Sm(III)}$	0.97	3.09	$5d^{10}$
$\text{Sn(IV)}$	0.67	5.97	$4d^{10}$
$\text{Co(II)}$	0.78	2.56	$3d^7$
$\text{Zn(II)}$	0.83	2.41	$3d^{10}$
$\text{Ti(IV)}$	0.64	6.25	$3p^6$
$\text{Zr(IV)}$	0.82	4.88	$4p^6$
$\text{Cr(III)}$	0.64	4.69	$3d^3$
$\text{Al(III)}$	0.57	5.26	$2p^6$

Исследование высушенных указанным способом ОГ методом рентгенодифракционного анализа (РДА) показало, что ксерогели титана, циркония, хрома рентгеноаморфны, ОГ железа слабо кристаллизован по типу  $\text{Fe(OH)}_3$ , ОГ индия, самария и кобальта кристаллизованы довольно отчетливо [11,12].

Для изученных систем подтвердилось то, что было установлено для феррогелей:

1) значение  $\text{pH}_{\text{тнз}}$ , определяемое по методу Паркса, для всех изученных ОГ, кроме ОГ  $\text{Co}$ , зависит от концентрации фонового электролита;

2) кривые зависимости  $\text{pH}_{\text{тнз}}$  от  $\text{pH}_{\text{ос}}$  при разных концентрациях электролита пересекаются в одной точке, которую мы считаем истинной точкой нулевого заряда и которая в зарубежной литературе называется точкой нулевого солевого эффекта (ТНСЭ) [13].

Эти величины различаются для одного и того же металла в зависимости от природы исходной соли и ионной среды (рис. 1). Истинная  $\text{pH}_{\text{тнз}}$  является характеристикой кислотно-основных свойств гидрогеля ОГ.

Следует уделить внимание вопросу о **воспроизводимости** данных о составе и поверхностных свойствах гидрогелей ОГ и **стабильности** этих свойств. Вопреки широко распространенному убеждению в том, что гидрогели ОГ нестабильны и поэтому их свойства плохо воспроизводимы, мы утверждаем и доказали это экспериментально, что при соблюдении воспроизводимых условий осаждения геля, т.е. исходной концентрации прекурсора и щелочи, температуры, разбавления и продолжительности осаждения, отмывки и точного выдерживания величины  $pH_{oc}$  наблюдается очень хорошая воспроизводимость вышеуказанных свойств ОГ. Более того, для всех рассмотренных гидрогелей ОГ при соблюдении вышеописанных условий получения наблюдаются **длительные периоды метастабильности**, в течение которых их состав, поверхностные и сорбционные свойства не изменяются. Продолжительность периодов метастабильности составляет от нескольких суток до нескольких месяцев, что предоставляет полную возможность как изучать, так и использовать свойства гелеобразных ОГ так же свободно, как свойства термодинамически стабильных систем.

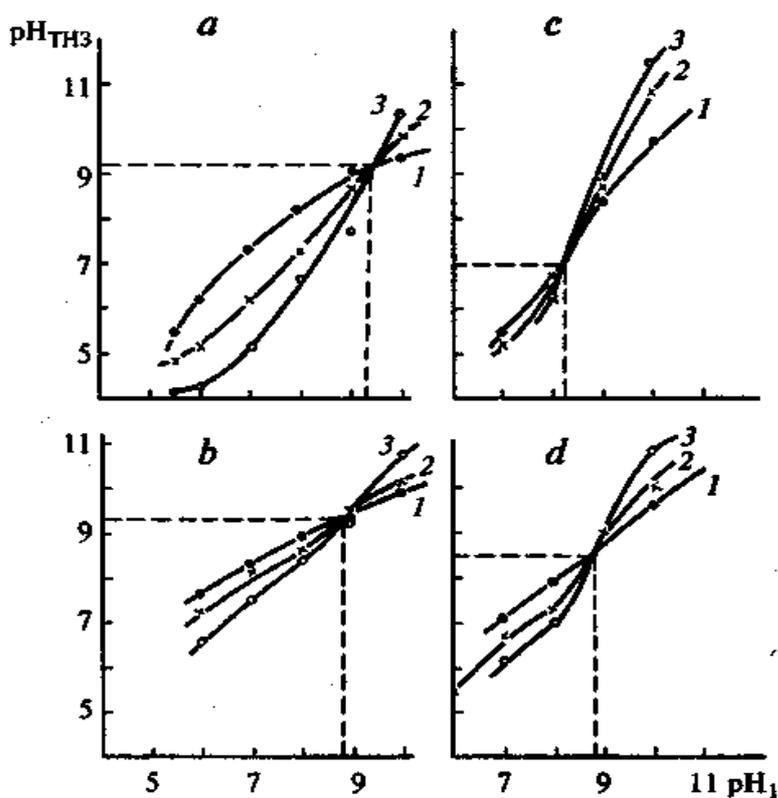


Рис. 1. Зависимости  $pH_{ТНЗ}$  от  $pH_1$ . Гели: нитратные (а, б), сульфатные (с, д); фоновый электролит:  $NaCl$  (а, с),  $Na_2SO_4$  (б, д); концентрации фонового электролита, моль-л : 1.0 или 0.5 (1); 0.1 или 0.05 (2); 0.01 или 0.005 (3)

Величины  $pH_{ТНЗ}$  по Парксу для гидрогелей ОГ линейно зависят от концентрации электролита и могут быть определены по графику для любой концентрации в пределах от 0.001 до 1–2 моль/л. Нами определены величины истинных  $pH_{ТНЗ}$  в среде хлорида и сульфата натрия (табл. 2).

Поскольку скорость ГГ хлорокомплексов платиновых металлов (ПМ) очень хорошо характеризует сорбционные свойства ОГ, в качестве индикаторных реакций использовались реакции ГГ комплексов  $[IrCl_6]^{2-}$ ,  $[RhCl_6]^{3-}$  и  $[PtCl_4]^{2-}$ , которые отличаются наилучшей воспроизводимостью и высокими энергиями активации. Здесь оказалось возможным также учесть влияние геометрической конфигурации комплекса на процесс ГГ.

Величины истинных  $pH_{ТНЗ}$  гидрогелей ОГ металлов

pH	Электролит	Прекурсор							
		FeCl <sub>3</sub>	TiCl <sub>4</sub>	ZrO(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CrCl <sub>3</sub>	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	In(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Sm(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	SnCl <sub>4</sub>
$pH_{oc}$	NaCl	8.1	4.5	9.4	8.4	9.2	10.0	7.0	4.0
$pH_{ТНЗ}$		8.1	4.5	9.2	7.9	9.3	10.2	7.6	4.1
$pH_{oc}$	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7.95	-	8.8	9.1	9.2	10.0	-	4.0
$pH_{ТНЗ}$		8.6	-	9.3	9.1	9.2	10.0	-	4.1

Найдено, что скорости ГГ одного и того же комплекса на разных ОГ сильно различаются, а величины энергий активации ( $E_a$ ) остаются постоянными. Разница между  $E_a$  ГГ для октаэдрических комплексов  $[IrCl_6]^{2-}$  и  $[RhCl_6]^{3-}$  и плоскокватратного  $[PtCl_4]^{2-}$  значительно превышает ту же разницу для гомогенного гидролиза (20–50 кДж/моль против 10). Этот факт с очевидностью указывает, что ГГ комплексов разной геометрической конфигурации идет по различным механизмам скорость определяющей стадии (СОС). Поскольку СОС ГГ является реакция замещения Cl на H<sub>2</sub>O, есть основания думать, что для октаэдрических комплексов сохраняется диссоциативный, а для плоскокватратных – ассоциативный характер замещения, как в растворе. Если при сорбции октаэдр может присоединяться к поверхности только боковой треугольной гранью, то квадрат – своей плоскостью. Во втором случае поляризующее действие поверхности должно быть более значительным, поэтому скорость ГГ в случае  $[PtCl_4]^{2-}$  должна больше зависеть от природы поверхности. Саму поверхность в ГГ также можно рассматривать как нуклеофильный заместитель. Нуклеофильность поверхности можно связать со свойствами металла основы ОГ через ионный потенциал. Чем он выше, тем сильнее катион стягивает электронное облако, и тем меньше нуклеофильность поверхности. С этой точки зрения понятно, почему на ОГ титана и олова замещение по ассоциативному механизму идет медленнее. Но и поверхность титаногеля в условиях ГГ должна иметь высокий отрицательный заряд. Высокая концентрация ОГ-групп вблизи поверхностей с высоким отрицательным зарядом способствует замещению лигандов на OH с образованием растворимых гидроксо комплексов Pt(II), что приводит к снижению сорбции. Сопоставление фундаментальных характеристик катионов ОГ и кислотно-основных свойств ОГ со скоростями ГГ комплексов ПМ показывает, что электронная структура катионов ОГ каким-то сложным образом также влияет на характер процесса ГГ [4, 9].

Наилучшими сорбционными свойствами обладают ферро- и цирконогели, имеющие средние значения ионного потенциала и высокие значения  $pH_{ТНЗ}$ .

Одним из важных следствий проведенной работы по изучению состава, кислотно-основных свойств и взаимодействия гидрогелей ОГ с растворами электролитов явилась разработка способа определения удельной поверхности ( $S_{уд}$ ) гидрогелей ОГ [14]. В литературе неоднократно отмечалось [15–17], что подготовка образцов ОГ к определению их  $S_{уд}$  традиционными методами, например, по методу БЭТ (Брунауэра-Эммета – Теллера), с неизбежным высушиванием, радикально изменяет определяемую величину, и полученные ее значения, как правило, сильно отличаются от истинных. Очевидно, необходимы методы, основанные на адсорбции из раствора. Существующие методы определения  $S_{уд}$  мокрых образцов в суспензии по отрицательной адсорбции катионов столь сложны для исполнения и трактовки результатов, что не получили распространения. Адсорбция красителей не универсальна, большие размеры их молекул не позволяют им входить в микropоры. Таким образом, наиболее достоверные результаты способен дать метод, основанный на адсорбции из раствора частиц с простым составом, малыми размерами и устойчивой структурой, концентрацию которых в растворе можно определять быстро, легко и точно. Такими частицами являются OH-группы. Нами разработан метод определения удельной поверхности гидрогелей по величине адсорбции OH-групп, пригодный для изучения ОГ с преимущественно основным характером, которые заметно не растворяются в щелочи. Таковы ОГ железа, титана, циркония, индия, но не алюминия и не олова. Для ОГ Cr(III) этот метод также оказался пригоден.

Чтобы использовать этот метод, надо знать вид изотермы адсорбции ОН-групп на ОГ и величину посадочной площадки ОН-группы ( $S_{OH}$ ). Так как литературные данные о величинах  $S_{OH}$  очень противоречивы, мы определили эту величину экспериментально. Для этого необходимо было взять сухие оксиды, имеющие незаряженную поверхность. Исходя из величин адсорбции ОН-групп и  $S_{уд}$  по БЭТ для этих образцов (оксиды алюминия, хрома, индия, самария и иттрия) величину  $S_{OH}$  оценили в  $50 \text{ \AA}^2$ , что хорошо согласуется с литературными данными [15,18]. Мы считаем эту величину одинаковой для всех гидрогелей ОГ, что составляет **основное допущение** этого метода.

Для определения величин адсорбции ОН-групп  $A_{OH}$  использовали потенциметрическое титрование в атмосфере аргона. Титрование обратимо, следовательно, образцы в процессе титрования не изменяются. Мы пользуемся метастабильностью состояния гидрогелей ОГ. При расчете величин  $A_{OH}$  по данным измерения рН использовали коэффициенты активности, которые определяли по кривой холостого титрования для данного интервала рН (11–12). Изотермы сорбции ОН-групп принадлежат к типу высокого сродства и могут быть обработаны по уравнению Ленгмюра (рис. 2). По мере увеличения  $pH_{oc}$  величины  $A_{OH}$  для всех гидрогелей снижаются. Причиной этого является, как было отмечено выше, то обстоятельство, что при разных  $pH_{oc}$  мы получаем электрически заряженные фазы (чем выше  $pH_{oc}$ , тем ниже «+» заряд – и выше «-» заряд поверхности). Незаряженную фазу можно получить только при  $pH_{oc}$ , соответствующем  $pH_{тнз}$ . Но стремиться провести осаждение при этом рН не надо, т.к. трудно точно попасть в эту точку. Достаточно получить изотермы для четырех–пяти величин  $pH_{oc}$ . Оказалось, что величины  $A_{OH}$ , полученные из этих изотерм, хорошо ложатся на прямую для всех изученных ОГ (рис. 3). Прежде всего, это свидетельствует, что величина удельной поверхности гидрогеля ОГ не зависит от  $pH_{oc}$ , когда мы исследуем свежесажженный гель. Из этого графика легко можно найти величину адсорбции, соответствующую истинной величине  $pH_{тнз}$ , т.е. сорбции на незаряженной поверхности. Отсюда по формуле  $S_{уд} = S_{OH} A_{OH} N_A / 10^{20}$  получаем величину в  $\text{м}^2/\text{г}$ .

Найдено для ОГ:FeZrTiCrIn  
 $S_{уд}, \text{м}^2/\text{г}: 5854201219930240$

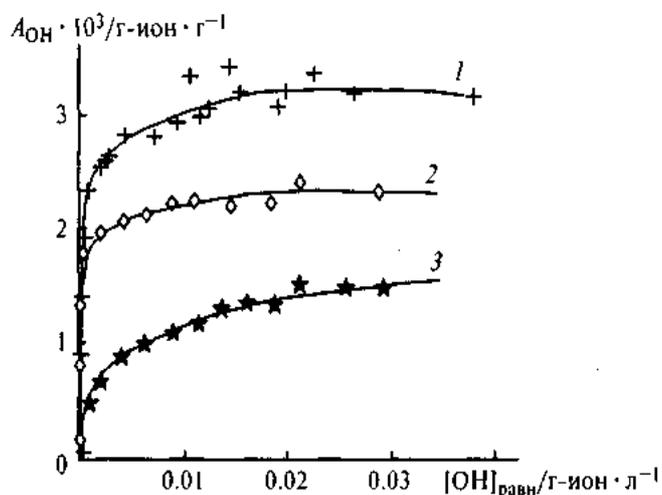


Рис. 2. Изотермы адсорбции ОН-групп ( $A_{OH}$ ) на поверхности свежесажженных оксигидроксидов Zr(IV) при  $pH_{oc}$  5.5 (1); 7 (2); 10 (3).  $[OH]_{равн}$  – равновесная концентрация ОН-групп в суспензии

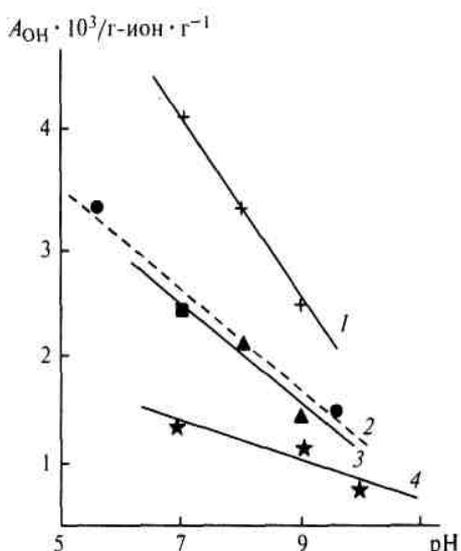


Рис. 3. Зависимость величин предельной адсорбции ОН-групп ( $A_{OH}$ ) на гидрогелях оксигидроксидов от их  $pH_{oc}$ : 1 – хромогели; 2 – цирконогели; 3 – феррогели; 4 – индиогели

Полученные величины хорошо согласуются с имеющимися литературными данными [15–18].

Вопрос об устойчивости свойств гидрогелей ОГ принципиально важен, поскольку полученные нами данные по этому вопросу опровергают ряд устоявшихся предубеждений (о нестабильности гидрогелей). Поэтому мы уделили этой проблеме большое внимание, изучив влияние старения как на скорость ГГ, так и на величину  $pH_{тнз}$  ОГ [19–25].

Применяли образцы, состаренные в следующих условиях:

1. Свежеосажденные отмытые образцы помещали в 1 М раствор  $NaCl$ ,  $NaClO_4$  или 0.5 М раствор сульфата натрия или их смеси и нагревали на кипящей водяной бане или выдерживали в термостате при 20 или 80 °С в течение 2 или 20 ч. [22–29].

2. Подвергали криогранулированию, т.е. водную суспензию свежеосажденного не отмытого гидрогеля замораживали, оттаивали и отмывали, а затем сушили в вышеописанных мягких условиях [19].

3. Свежеосажденный отмытый гидрогель отжимали и сушили до постоянной массы, как указано выше [11, 12].

Было установлено, что выдерживание феррогелей в солевых растворах приводит к снижению их основных свойств, причем инактивирующее влияние анионов изменяется следующим образом:  $ClO_4^- < Cl^- < Cl^- + SO_4^{2-} << SO_4^{2-}$ . Соответственно, при старении феррогеля уменьшается скорость ГГ комплексов ПМ на его поверхности. Повышение продолжительности и температуры выдерживания в солевом растворе и повышение концентрации солевого раствора усиливает инактивацию геля в ГГ. При старении в растворах электролитов изменяется состав гидрогелей ОГ.

Было изучено, каким образом изменяется при старении состав гидрогелей. Так, оказалось, что даже при 2-часовой выдержке при 80 °С в растворах хлорида и сульфата натрия ферро-, индио- и цирконогели теряют от 20 до 60% содержащейся в них воды, тогда как титаногели почти не изменяют ее содержания, а хромогели даже несколько увеличивают. Снижение содержания воды в гидрогелях можно объяснить протеканием дополнительных реакций окисления гелей при нагревании и под действием растворов с высокой ионной силой. Исходя из литературных данных о том, что в при щелочном гидролизе оляция и окисления, за счет которых происходит полимеризация гидролизованых катионов металлов, протекает очень быстро, мы сделали вывод, что метастабильные микроструктуры в гидрогелях (рентгеноаморфных) образуются непосредственно в момент гидролитического осаждения, что особенно ярко выражено для ОГ хрома, циркония и титана, у ОГ железа протекает значительно медленнее, как следует из литературы, что и отражается в более заметных изменениях феррогелей при старении. ОГ индия кристаллизован в значительно большей степени (т.е. заметно) уже свежеосажденный. Установлено также, что гидрогели ОГ содержат заметные количества **анионов исходной соли** (первичные примесные ионы), содержание которых уменьшается с увеличением рН осаждения ( $pH_{oc}$ ). Содержание вторичных примесных ионов (из раствора фонового электролита) на порядок ниже, чем первичных. Вероятно, это объясняется тем, что первичные примесные ионы распределены по всему объему геля, а вторичные – только на поверхности. При старении содержание первичных примесей снижается [21, 29].

Соответственно, при старении снижаются и значения  $pH_{тнз}$ , определяемые для разных  $pH_{oc}$ . Истинные значения  $pH_{тнз}$  также изменяются; это удалось зафиксировать для ОГ циркония и хрома. После 2-часовой выдержки при 80 °С в растворе хлорида натрия истинный  $pH_{тнз}$  для

цирконогеляс 9.2 снизился до ~6, а после 2-часовой выдержки при 80 °С в растворе сульфата натрия – до~8.7; для хромогелят 7.9 до 6.5 и 8.2 соответственно.

Было изучено, как старение гидрогелей ОГ железа, титана, циркония и хрома сказывается на их сорбционной активности в реакции ГГ. Здесь роль старения не одинакова. Так, для титаногелей наблюдается инактивация образца только при высоком  $pH_{oc}$  (10), а при  $pH_{oc}=7$  наблюдаемая константа скорости ( $K_n$ ) остается постоянной в пределах доверительного интервала. Для цирконо- и феррогелей во всех случаях наблюдается снижение  $K_n$ , не слишком сильное, но заметное, и при старении в сульфатном растворе – более сильное. Для хромогеля во всех случаях имеет место явное и значительное возрастание  $K_n$ . Таким образом, видно, что результаты и механизм старения гидрогелей разных ОГ различен [22].

Итак, хромогель в отношении старения резко отличается от прочих, но во всех остальных отношениях он отличается только несимметричным электронным строением d-подуровня атома хрома. Видимо, найденные в литературе указания на особенно замечательные сорбционные свойства хромогеля имеют глубокий смысл.

Способ криогранулирования был использован только для феррогелей. В результате криогранулирования мы во всех случаях получали рентгеноаморфный  $Fe(OH)_3$  с небольшой примесью гетита. Определение  $pH_{тнз}$  и скоростей ГГ показало, что криогранулирование сильно снижает основные свойства ОГ железа и даже устраняет их зависимость от  $pH_{oc}$  и уменьшает скорость ГГ. По-видимому, разделение фаз при замораживании суспензии приводит к удалению не только избыточной щелочи маточного раствора, но и большей части сорбированной. В результате разница  $pH_{тнз}$  образцов с  $pH_{oc}$  7.5 и 11 уменьшилась с 3 ед. до 0.6, а  $K_n$  ГГ хлороиридат-иона при 80 °С снижается в 2–8 раз. Замораживание стабилизирует свойства ОГ железа, хотя и снижает его сорбционную активность и основные свойства. Простое высушивание свежесаженных феррогелей в тех же условиях приводит к получению менее обводненных образцов ( $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ , где  $n < 3$ ), более основных и сорбционно активных, чем криогранулированные.

В связи с полученными данными по старению было проведено следующее специальное исследование [23, 24]. Дело в том, что исследователей обычно интересуют емкость сорбента, степень извлечения, реже кинетика и механизм сорбции, но крайне редко – вопрос о дальнейших превращениях использованных сорбентов. Однако этот вопрос очень важен, т.к. зачастую использованные сорбенты хранят или захоранивают, и тогда они могут стать источниками вторичного загрязнения окружающей среды, или старение сделает затруднительным их дальнейшую переработку. Было изучено долговременное старение гидрогелей ОГ железа, титана, циркония, алюминия и хрома, которые сразу после получения были насыщены катионами цветных металлов (ЦМ): Cu, Ni, Pb, Cr, Cd. Старение проводили в 0.25 М растворе NaCl при комнатной температуре. Контролировали pH суспензии и концентрацию сорбата в растворе в течение нескольких (2-3) лет через промежутки времени продолжительностью от недели до месяца. В качестве контрольных образцов использовали свежесаженные ОГ без сорбата.

Для всех изученных систем, как основных, так и контрольных, кроме систем Ti-гель/Cd и Cr-гель/Cd, наблюдали самопроизвольное подкисление суспензии во времени. В качестве механизма этого процесса предложено рассматривать дальнейшую полимеризацию гидрогелей за счет окислации. Степень подкисления сильно зависит от природы и сорбента, и сорбата. В контрольных экспериментах  $Al > Zr > Ti > Fe \geq Cr$ . В основных экспериментах существует зависимость степени подкисления от природы как центрального иона ОГ, так и от природы сорбированного катиона. Для сорбированных катионов меди, никеля и свинца это  $Al > Fe > Zr > Ti > Cr$ , катиона хрома –  $Al > Zr > Fe > Ti$ , катиона кадмия –  $Fe > Al > Zr > Ti > Cr$ . Видно, что, вне зависимости от природы сорбата, наиболее устойчивой системой является ОГ хрома, а наименее – алюминия. Наконец, в системах с одним и тем же сорбентом однозначная зависимость степени подкисления от природы сорбата отсутствует, но чаще всего наибольшее подкисление соответствует сорбированным катионам меди и никеля, а наименьшее – свинца и кадмия.

В контрольных системах за 200 суток значительных изменений pH во времени не наблюдали. В системах с сорбатом все изменения pH находятся в интервале 8.5–6.0, кроме ОГ алюминия с интервалом 8.5–5.0. Для систем с ОГ алюминия, железа и титана почти исчезает суспензионный эффект (разница в pH суспензии и фильтрата), который характерен для систем с заряженной поверхностью, что указывает на почти полное исчезновение заряда поверхности ОГ

за счет старения с сорбатом (рис. 4) и в ряде случаев подтверждается десорбцией сорбата, в наибольшей степени десорбируется кадмий с поверхности ОГ железа, алюминия и циркония. С поверхности алюмогеля заметно десорбируются также свинец и никель. Хромо-, титано- и цирконогели прочно удерживают сорбированные катионы в процессе старения.

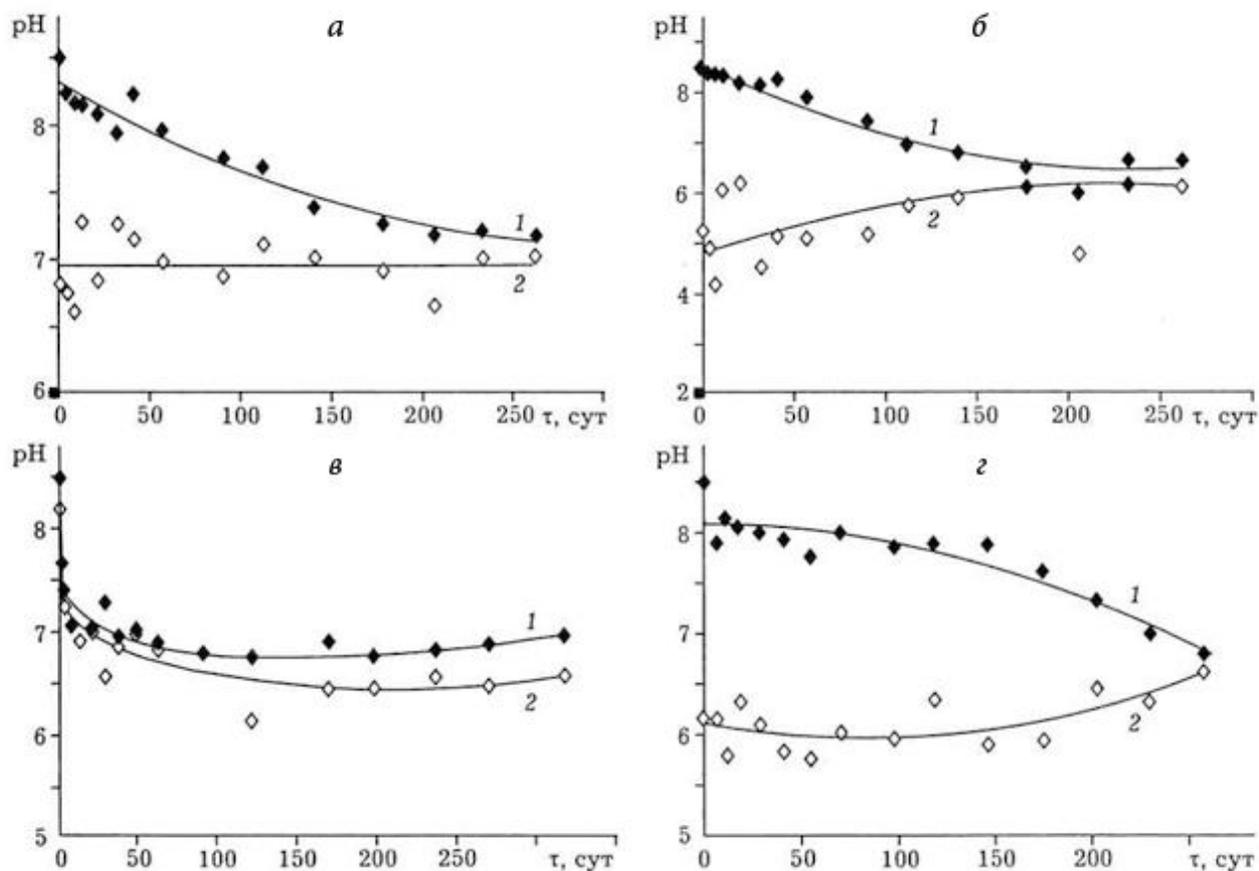


Рис. 4. Изменение кислотности суспензии (1) и фильтрата (2) при старении оксигидроксидов в 0.25 М растворе NaCl при комнатной температуре: а – Fe-гель; б, г – Zr-гель; в – Al-гель; а, б – в отсутствие сорбата; в, г – с сорбатом  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$  соответственно

По полулогарифмической зависимости активности протонов от времени рассчитали константы скорости подкисления (окисления) ОГ, которые находятся в пределах  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  с<sup>-1</sup> при комнатной температуре, для алюмогеля  $(0.7\text{--}3.5)\times 10^{-6}$  с<sup>-1</sup>.

Случаи наиболее интенсивного старения (ферро- и алюмогели) были исследованы более подробно. Установлено, что феррогели с сорбированными ЦМ в результате старения в течение 2–3 лет в указанных условиях теряют 60–80% исходного содержания воды (больше всего с сорбированными катионами свинца и кадмия) и кристаллизуются: по типу гематита (с  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и контрольный) или по типу гематита с примесью гетита (с  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ). В системах с  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  наблюдается сильное снижение  $\text{pH}_{\text{тнз}}$  и суспензионного эффекта, в остальных случаях – незначительное. Изучили также старение алюмогелей в растворах электролитов при нагревании [25]. Подтвердилось, что из всех изученных гидрогелей ОГ алюмогель стареет (и в этих условиях) наиболее интенсивно,  $\text{pH}_{\text{тнз}}$  снижается на 1.5–2 ед. В результате 18-часовой выдержки в 0.5 М растворе сульфата и хлорида натрия зависимость  $\text{pH}_{\text{тнз}}$  алюмогеля от концентрации электролита почти исчезает. Алюмогель при этом кристаллизуется до диаспора или кубического тригидроксида (при выдержке в растворах NaCl) или до бемита (при выдержке в растворах  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Изучение литературы, которое первоначально производилось в поисках сведений о  $pH_{ТНЗ}$  и поверхностных свойствах ОГ, привело нас к выводу, что не только имевшиеся сведения о сорбции ПМ не были результатами систематических исследований, но что такие систематические исследования отсутствовали и для сорбции простых ионов, особенно в отношении гидрогелей [26]. Обычно объектами сорбционных исследований являлись более или менее охарактеризованные кристаллические ОГ (гетит, акаганеит, оксиды титана – рутил и анатаз, оксид хрома). Кроме того, сорбции катионов обычно уделялось гораздо больше внимания, чем сорбции анионов.

Исходя из этого, мы предприняли систематическое исследование сорбции анионов гидрогелями ОГ металлов: Fe, Zr, Cr, Al [27–38]. Сначала в качестве сорбатов использовали фосфат- и арсенат-ионы, позднее к ним добавили  $C_2O_4^{2-}$ ,  $CrO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$ , цитрат- и тартрат-ионы. Кроме того, исследовали сорбцию некоторых комплексных анионов, которые, в силу высокой термодинамической устойчивости или особенностей строения, не подвергаются ГГ:  $[Fe(CN)_6]^{3-}$  [54] и  $[Cr(C_2O_4)_3]^{3-}$ .

Была исследована зависимость сорбции фосфат- и арсенат-ионов от времени, температуры, концентраций компонентов, наличия и природы ионного фона и кислотно-основных свойств сорбентов [27, 28, 31, 32]. Для оксалат-, карбонат-, хромат-, цитрат- и тартрат-ионов, а также для комплексных анионов температурную зависимость не изучали. Было установлено, что фосфат- и арсенат-ионы, способные изменять свой заряд за счет протолитиза в зависимости от кислотности среды, сорбируются в интервале  $pH$  3–13 (где сорбенты могут существовать без растворения) в значительных количествах, независимо от знака заряда поверхности. Анионы же  $[Fe(CN)_6]^{3-}$  и  $[Cr(C_2O_4)_3]^{3-}$ , заряд которых не зависит от  $pH$ , сорбируются только на положительно заряженной поверхности. Скорость установления сорбционного псевдоравновесия для фосфат- и арсенат-ионов при комнатной температуре для ОГ железа и циркония составляет 10 мин. и 2 ч. соответственно, а для хромогеля – сутки. Изотермы сорбции принадлежат к нескольким разновидностям (см. рис. 5), все они полностью или частично могут быть обработаны по уравнению Ленгмюра (для фосфата и арсената в ряде случаев получаются ступенчатые изотермы, 1-я ступень которых описывается уравнением Ленгмюра).

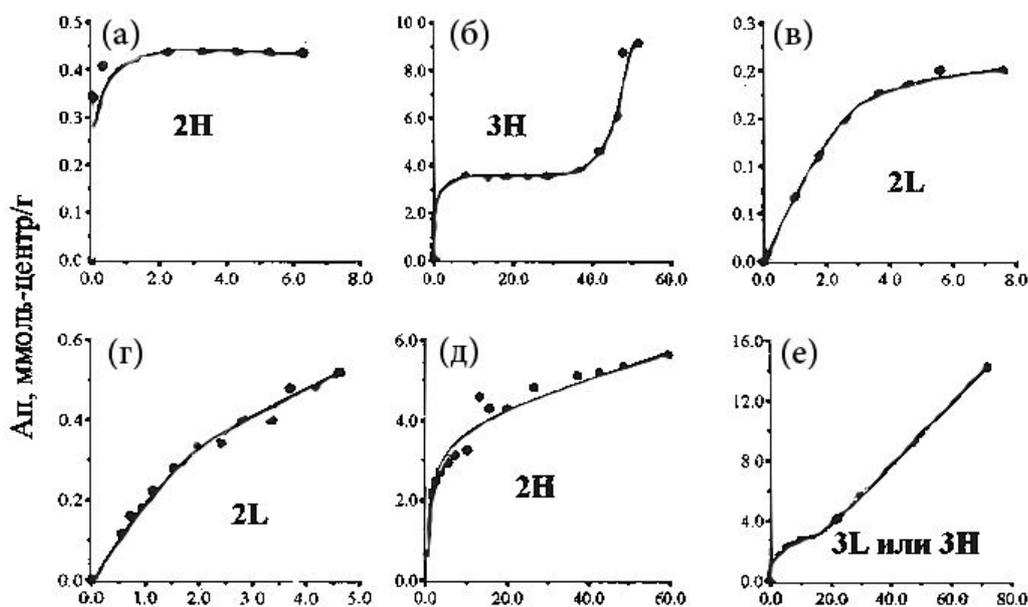


Рис. 5. Примеры изотерм сорбции: (а)  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ -ионов на Fe-гелях,  $pH_{oc}$  7, б/ф; (б) фосфат-ионов на Fe-гелях,  $pH_{oc}$  4, б/ф; (в)  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ -ионов на Zr-гелях,  $pH_{oc}$  6, 0,5 М NaCl; (г)  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ -ионов на Zr-гелях,  $pH_{oc}$  6, 0,167 М  $Na_2SO_4$ ; (д) фосфат-ионов на Cr-гелях,  $pH_{oc}$  11, 0,5 М NaCl; (е) арсенат-ионов на Fe-гелях,  $pH_{oc}$  9, б/ф

В современной литературе сорбцию наиболее часто рассматривают как поверхностное комплексообразование, соответственно, даны определения внутри- и внешнесферного сорбционного комплекса (СК) [39, 40]. Внутрисферным СК (ВнСК) называют случай, когда сорбат внедряется в слой Гельмгольца двойного электрического слоя (ДЭС) поверхности и соприкасается с ней непосредственно (не через слой гидратной воды), а внешнесферным (ВшСК) – когда ионы сорбата остаются на внешней границе ДЭС и сохраняют свои гидратные оболочки. Мы показали, что фосфат- и арсенат-ионы образуют ВнСК, а комплексные анионы – ВшСК. Установлена зависимость величин предельной сорбции и констант уравнения Ленгмюра для изученных сорбатов от  $pH_{oc}$  гидрогелей ОГ. Показано, что присутствие фонового электролита (хлорида и сульфата натрия) не препятствует сорбции фосфат- и арсенат-ионов, но различным образом влияет на сорбцию  $[Fe(CN)_6]^{4-}$  и  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ : хлоридный фон снижает сорбцию обоих комплексов, а сульфатный – даже подавляет сорбцию  $[Fe(CN)_6]^{3-}$  на ферро- и цирконогелях, но не на хромогелях. Комплексные анионы могут сорбироваться только на положительно заряженной поверхности.

Отмечено резкое отличие в сорбционном поведении ферро- и цирконогелей, с одной стороны, которые очень сходны друг с другом, и хромогелей с другой. Выше уже было отмечено, что сорбционное псевдоравновесие на хромогелях устанавливается очень медленно. Определено, что при исходных концентрациях фосфат-ионов  $\sim 4$  ммоль/л сорбция имеет характер реакции первого порядка по концентрации сорбата с  $E_a$ , равной 73 ( $pH_{oc}$  9) и 43 кДж/моль. Фоновый электролит способствует сорбции фосфата и особенно сорбции гексацианоферрат-ионов на хромогелях. Изотерма сорбции арсенат-ионов на хромогелях имеет линейную форму.

Было изучено влияние сорбированных фосфат- и арсенат-ионов на величину  $pH_{тнз}$  ферро-, цирконо- и хромогелей с  $pH_{oc}$  9 [32]. Сорбция анионов  $HPO_4^{2-}$  приводит к повышению  $pH_{тнз}$  свежесажженных гидрогелей, а анионов  $H_2AsO_4^-$  – наоборот, к снижению. Вероятно, это связано с гораздо большей кислотностью дигидроарсената по сравнению с гидрофосфатом. Старение гидрогелей с сорбированными анионами в растворах электролитов приводит, в случае сорбированного фосфата, к некоторому снижению  $pH_{тнз}$ , а в случае арсената – к некоторому повышению. При математической обработке изотерм сорбции фосфата оказалось, что если величину сорбции выражать не в моль/г, а в моль-центрах/г, то область применимости уравнения Ленгмюра к изотермам значительно расширяется. (1 Моль-центр – количество монодентатных сорбционных центров (СЦ), равное числу Авогадро.) При обработке мы принимали, что однозарядный анион занимает на поверхности 1 СЦ, двухзарядный – 2 и т.д. Поскольку в зависимости от pH среды фосфат-ион может существовать в виде 3 разновидностей, а также их смеси, для выражения сорбции в моль-центрах нужно умножить сорбцию в моль/г на усредненный заряд иона, рассчитанный для данного pH из констант диссоциации соответствующей кислоты. Из полученного материала следует, что не только разные ионы по-разному ведут себя по отношению к одному и тому же сорбенту, но и разные сорбенты ведут себя по-разному по отношению к одному и тому же иону.

Является ли сорбция того или иного иона внутри- или внешнесферным комплексообразованием – один из наиболее спорных вопросов в современных сорбционных исследованиях. Еще никто не рассматривал этого вопроса с кинетической точки зрения. Хотя логично предположить, что если классические комплексы металла с ацидолигандом неустойчивы и лабильны, то сорбция данного аниона на поверхности соответствующего металла должна протекать быстро, и наоборот, но корреляция между устойчивостью комплекса и сорбируемостью аниона отсутствует (анализ лит. данных). Например, (псевдо) галогениды образуют с железом и хромом прочные и инертные комплексы, но слабо сорбируются соответствующими ОГ.

Мы предположили, что если сорбция анионов ОГ происходит путем замещения поверхностных молекул воды, то должна быть взаимосвязь между скоростью установления сорбционного равновесия и скоростью обмена воды в аквакомплексах ц.и. ОГ. Это предположение было экспериментально проверено [41] для ОГ металлов, для которых известны соответствующие константы скорости обмена воды,  $c^{-1}$ : Fe –  $3 \times 10^3$ , Cr –  $5 \times 10^{-7}$ , Al – 1 [42]. В качестве сорбата использован гидрофосфат. Для свежесажженных гидрогелей наблюдается одинаковая картина для всех трех ОГ. При постоянном относительном содержании сорбата и сорбента в системе при изменении pH суспензии происходит

очень быстрое (~1 мин.) перераспределение фосфата между раствором и гелевой фазой (табл. 7). Видно, что во всех случаях сорбция в моль/г с понижением pH возрастает, а в моль-центрах/г – остается постоянной. Т.е.  $\text{PO}_4^{3-}$  занимает 3 СЦ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  – 2СЦ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  – 1СЦ. В результате длительной выдержки сорбента в контакте с фосфатом при нагревании картина изменяется: для хромогеля изменение pH среды уже не приводит к перераспределению сорбата. В случае ферро- и алюмогеля количество используемых СЦ сокращается в 1.5 раза при переходе из щелочной области в кислую.

Таблица 7

Перераспределение фосфат-ионов при сорбции на свежесаженных ОГ на фоне 0.5 М NaCl

Феррогель, $\text{pH}_{\text{oc}} = 8.1$ $\text{C}_{\text{исх.}} = 31.36$ ммоль/л			алюмогель, $\text{pH}_{\text{oc}} = 8.3$ $\text{C}_{\text{исх.}} = 29.3$ ммоль/л			хромогель, $\text{pH}_{\text{oc}} = 9$ $\text{C}_{\text{исх.}} = 31.04$ ммоль/л		
$\text{pH}_{\text{сусп}}$	A, ммоль/г	A, ммоль-центров/г	$\text{pH}_{\text{сусп}}$	A, ммоль/г	A, ммоль-центров/г	$\text{pH}_{\text{сусп}}$	A, ммоль/г	A, ммоль-центров/г
11.14	1.25	2.97	10.77	1.97	4.34	10.97	0.99	2.26
10.87	1.33	2.99	10.67	2.12	4.61	10.69	0.76	1.66
10.41	1.38	2.87	10.19	2.33	4.82	10.01	0.96	1.96
8.73	1.63	3.23	8.86	2.85	5.66	8.63	1.25	2.47
6.94	1.94	2.88	7.07	3.91	6.02	7.20	1.70	2.74
5.68	2.34	2.47	4.87	5.81	5.85	6.23	1.94	2.22

Из этих наблюдений были сделаны следующие выводы: 1) образование СК происходит путем замещения воды в гидратной оболочке поверхностных атомов металла ОГ; 2) число занимаемых ионом сорбата СЦ равно его заряду; 3) образец ОГ, полученный в определенных условиях, имеет постоянное число СЦ; 4) при непродолжительном контакте гидрогеля ОГ с раствором фосфата последний образует с поверхностью всех трех ОГ ВшСК, а при длительной выдержке СК на поверхности хромогеля полностью превращается в инертный ВнСК. Для алюмо- и феррогелей такого полного превращения не происходит.

Затем были изучены закономерности сорбции некоторых других анионов (оксалат, карбонат, хромат и тартрат) с целью уяснить влияние заряда и конфигурации анионов и их способности к протонированию [37]. Было установлено, что изотермы сорбции всех этих анионов также описываются уравнением Ленгмюра. Определены константы уравнения. Характеристики анионов и сравнительные данные по сорбции приведены в табл. 8 и 9.

Видно, что в большинстве случаев наилучшей сорбируемостью обладает фосфат-ион. Плоскостная конфигурация аниона не дает существенных преимуществ в отношении сорбируемости. Очень значительна сорбируемость карбонат-иона. Наименьшей сорбируемостью, в общем, обладают хромат- и сульфат-ионы, причем на алюмогелях сульфат препятствует сорбции хромата [37].

Была изучена конкурентная сорбция [36] в бинарных системах (при совместном присутствии) в парах оксалат-хромат, оксалат-карбонат, хромат-карбонат, хромат-фосфат. Все конкурирующие ионы подавляют сорбцию хромата; полнота подавления: фосфат >карбонат>оксалат. Карбонат также в значительной степени подавляет сорбцию оксалата.

В связи с тем, что была зафиксирована различная сорбция одного и того же иона по отношению к гидрогелям ОГ одного и того же металла, полученным из разных солей-прекурсоров, была изучена сорбционная способность ОГ, полученных из хлоридов, нитратов, перхлоратов и сульфатов железа и алюминия, по отношению к оксалат- и хромат-ионам [38]. Найдено, что сорбционная активность по отношению к оксалат-ионам следующим образом зависит от природы прекурсора:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 > \text{Al}(\text{NO}_3)_3 > \text{AlCl}_3 > \text{ZrO}(\text{NO}_3)_2 > \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 > \text{FeCl}_3 > \text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ . ОГ железа, осажденный при  $\text{pH}_4$ , представляет собой пентаоксисульфат железа(III). Хотя последний и алюмогель обладают наибольшей сорбционной способностью по отношению к  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ , но это преимущество исчезает в присутствии сульфат-ионов. Цирконогель обладает плохо воспроизводимыми свойствами. Наиболее устойчивым в работе является феррогель, полученный из хлорного железа.

## Характеристики сорбируемых анионов

Состав	Обозначение	K <sub>д</sub> соответствующих кислот [43], 25 °С	Состояние ионных форм			Размер, нм	Конфигурация
			pH=5	pH=9	pH=11		
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Ph	K <sub>1</sub> =7.9x10 <sup>-3</sup> K <sub>2</sub> =10 <sup>-7</sup> K <sub>3</sub> =4.5x10 <sup>-12</sup>	[HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]-10 <sup>-2</sup> ; [PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]/ [HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]=4.5x10 <sup>-2</sup>	[HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/[H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]=10 <sup>-2</sup> ; [PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]/ [HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]=0.45	Радиус сферы – 0.154	Тетраэдр	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Carb	K <sub>1</sub> =4.4x10 <sup>-7</sup> K <sub>2</sub> =4.69x10 <sup>-11</sup>	[CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]/ [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]=4.69x10 <sup>-2</sup>	[CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]/ [HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]=4.69	Радиус круга – 0.129	Равносторонний треугольник	
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Chr	K <sub>1</sub> =1.8x10 <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> =3.2x10 <sup>-7</sup>	[CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/ [HCrO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]-3.2x10 <sup>-2</sup>	[CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/ [HCrO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]-3.2x10 <sup>-4</sup>	Радиус сферы 0.165	Тетраэдр	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Su	1.2x10 <sup>-2</sup>	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]-≈100%	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]-100%	Радиус сферы – 0.148	Тетраэдр	
C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ox	K <sub>1</sub> =6.5x10 <sup>-2</sup> K <sub>2</sub> =6.1x10 <sup>-5</sup>	[C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/ [HC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]=6.1	[C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/ [HC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>-</sup> ]=6.1x10 <sup>4</sup>	0.44 По диал.	-	
(C(OH) <sub>2</sub> (COO) <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	Tart	K <sub>1</sub> =6.0x10 <sup>-4</sup> K <sub>2</sub> =1.53x10 <sup>-5</sup>	[Htart <sup>2-</sup> ]/[H <sub>2</sub> tart]-60 [tart <sup>2-</sup> ]/[Htart <sup>-</sup> ]=1.53	[Htart <sup>2-</sup> ]/[H <sub>2</sub> tart]-6.0x10 <sup>5</sup> ; [tart <sup>2-</sup> ]/[Htart <sup>-</sup> ]=1.53x10 <sup>4</sup>	Длина 0.75	цепь	
C(OH)(C(H <sub>2</sub> )(COO) <sub>2</sub> <sup>3-</sup>	Zit	K <sub>1</sub> =8.6x10 <sup>-4</sup> K <sub>2</sub> =1.7x10 <sup>-5</sup> K <sub>3</sub> =4.0x10 <sup>-6</sup>	[H <sub>2</sub> Zit <sup>-</sup> ]/[H <sub>3</sub> Zit] =86; [HZit <sup>2-</sup> ]/ [H <sub>2</sub> Zit <sup>-</sup> ]=1.7 [Zit <sup>3-</sup> ]/[HZit <sup>2-</sup> ]=0.4	[HZit <sup>2-</sup> ]/ [H <sub>2</sub> Zit <sup>-</sup> ]=1.7x10 <sup>4</sup> [Zit <sup>3-</sup> ]/ [HZit <sup>2-</sup> ]=4.0x10 <sup>3</sup>	-	Уплощенная трехгранная пирамида	

Ряды относительной сорбируемости анионов в разных условиях  
(N – число занимаемых СЦ, моль-центров/моль сорбента)

оксигидроксид	Ионный фон	pH <sub>oc</sub>	Характеристика	Ряд сорбируемости
Fe-гель	NaCl	5	A <sub>∞</sub>	Ph>Ox ≈ Carb>Chr ≈ Tart>Zit
			K	Zit >Chr> Tart > Carb >Ph> Ox
			N	Ph>Ox ≈ Carb ≥Zit >Chr> Tart
		9	A <sub>∞</sub>	Ph> Carb >Tart >Chr>Ox
			K	Ph> Carb ≈Tart >Chr>Ox
			N	Ph> Tart >Carb≈Chr>Ox
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	A <sub>∞</sub>	Ph> Carb >Ox >Tart ≈Chr
			K	Ph ≈ Tart >Chr>Ox > Carb
			N	Ph> Carb >Ox >Chr ≈ Tart
		9	A <sub>∞</sub>	Ph > Tart ≈ Carb > Ox>Chr
			K	Ph> Carb >Tart >Chr> Ox
			N	Ph> Tart >Carb>Chr> Ox
Al-гель	NaCl	6	A <sub>∞</sub>	Ph> Carb >Ox > Tart >Zit >Chr
			K	Tart > Ph >Ox > Zit >Carb >Chr
			N	Ph> Carb >Ox > Zit >Tart>Chr
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		A <sub>∞</sub>	Ph > Carb >Ox > Tart >>Su >>Chr
			K	Tart >Ox >Ph> Carb >>Chr
			N	Ph > Carb >Ox > Tart >>Su >>Chr
Zr-гель	NaCl	4	A <sub>∞</sub>	Carb>Ox>Ph>Chr
			K	Ph, Chr>Ox>Carb
			N	Carb>Ox>Ph>Chr
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		A <sub>∞</sub>	Ph>Ox>Chr
			K	Ph> Ox>Chr
			N	Ph>Ox>Chr

По отношению к хромат-ионам в хлоридной среде наблюдается следующий ряд сорбционной активности ОГ для прекурсоров:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 > \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 > \text{FeCl}_3 > \text{Al}(\text{NO}_3)_3 > \text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ , а в сульфатной среде:  $> \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 > \text{FeCl}_3 > \text{Fe}(\text{ClO}_4)_3 >> \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 >> \text{Al}(\text{NO}_3)_3$ . Наблюдаемые явления мы объяснили влиянием структурных остаточных и поверхностных сорбированных сульфат-ионов. Считали, на основании литературных данных [18], что структурные остаточные ионы препятствовали полимеризации металл-кислородных цепей, обеспечивая очень высокую удельную поверхность сульфатных. В последнем вопросе есть еще много неясностей. Особенно непонятен случай в тройной системе: алюмогель – хромат – сульфат, потому что сульфат подавляет сорбцию хромата не только на сульфатном, но даже на нитратном геле. Случай следовало бы изучить специально.

Относительно возможностей сорбционной очистки водных растворов от хромата с помощью ОГ-сорбентов мы пришли к следующему выводу. Таковая возможна, если, кроме хромата, в растворах содержатся хлорид-, нитрат-, перхлорат-ионы; оксалат-ионы с концентрацией не более 2–3 ммоль/л, сульфат с концентрацией не более 0.1 моль/л. Фосфат-ионы полностью подавляют сорбцию хромата, если их концентрация равна или выше, чем хромата. Нежелателен также контакт с атмосферой с высоким содержанием углекислоты, но обычный атмосферный уровень содержания CO<sub>2</sub> заметного влияния не оказывает. Необходимый расход сорбента – 3–4 кг/м<sup>3</sup>, и в зависимости от состава раствора может варьироваться от 1 до 10 кг/м<sup>3</sup>.

Обзорное изложение более чем 35-летней работы, кратко описанной в [1] и настоящей статье, было прочитано автором и руководителем этого исследования в качестве курса лекций на кафедре экологии и природопользования (ЭкиП) Южно-Уральского государственного университета и опубликовано [44]. Обзоры по отдельным частям этой работы – это публикации [10, 26, 45–47].

Автор благодарит своих соавторов за многолетнее плодотворное сотрудничество.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Печенюк С.И. Изучение сорбции анионных комплексов платиновых металлов // Вестник Кольского научного центра РАН. 2013. № 2. С. 64–74.
2. Печенюк С.И. Сорбционные свойства титаногелей / С.И. Печенюк, Е.В. Калинкина // Журн. физ. химии. 1993. Т. 67, № 6. С. 1251–1254.
3. Печенюк С.И. Сорбционные свойства цирконогелей / С.И. Печенюк, Е.В. Калинкина // Изв. АН. Серия хим. 1996. № 11. С. 2653–2657.
4. Гетерогенный гидролиз хлорокомплексов платины, иридия и родия на поверхности оксигидроксидов железа, титана, циркония, хрома и индия / С.И. Печенюк, Е.В. Калинкина, Л.Ф. Кузьмич, С.И. Матвеев // Коорд. химия. 1997. Т. 23, № 10. С. 768–772.
5. Сорбционные свойства оксигидроксидов индия / С.И. Печенюк, С.И. Матвеев, Е.В. Калинкина, Н.Л. Михайлова // Изв. АН. Серия хим. 1998. № 2. С. 242–247.
6. Сравнительная характеристика сорбционных свойств кристаллического и аморфного оксигидроксидов самария (III) / С.И. Печенюк, Л.Ф. Кузьмич, Е.В. Калинкина, С.И. Матвеев // Изв. АН. Серия хим. 1998. № 4. С. 583–588.
7. Sorption properties of chromium(III) amorphous oxyhydroxides / S.I. Pechenyuk, E.V. Kalinkina, L.P. Kuz'mich, S.I. Matveenko // Colloids and Surfaces. 1998. Vol. A 144, № 1-3. P. 43–48.
8. Сорбционные свойства оксигидроксидов, получаемых щелочным гидролизом растворов солей кобальта и цинка. / С.И. Печенюк, Л.Ф. Кузьмич, С.И. Матвеев, Е.В. Калинкина // Журн. прикл. химии. 2000. Т. 73, № 3. С. 397–402.
9. Печенюк С.И. Сорбционные свойства свежесажённых алюмогелей / С.И. Печенюк, В.В. Семушин // Изв. АН. Серия хим. 2003. №1. С. 60–64.
10. Печенюк С.И. Сорбционные свойства гидрогелей оксигидроксидов переходных и р-металлов // Изв. АН. Серия хим. 1999. № 2. С. 229–237.
11. Физико-химическое исследование ксерогелей оксигидроксидов железа(III), хрома(III) и индия(III) / С.И. Печенюк, Н.Л. Михайлова, Л.Ф. Кузьмич, Т.И. Макарова // Журн. неорган. химии. 2003. Т. 48, № 8. С. 1255–1265.
12. Печенюк С.И. Физико-химическое исследование ксерогелей оксигидроксидов титана(IV) и циркония(IV) / С.И. Печенюк, Н.Л. Михайлова, Л.Ф. Кузьмич // Журн. неорган. химии. 2003. Т. 48, № 9. С. 1420–1425.
13. Some physicochemical Properties of Chromium (III) Hydrrous Oxide - Aqueous Solution Interface / С.Е. Giacomelli, M.J. Avena, O.R. Camara, С.Р. De Pauli // J. Colloid Interface Sci. 1995. Vol. 169. P. 149–160.
14. Печенюк С.И. Оценка удельной поверхности оксигидроксидов по величинам адсорбции ОН-групп / С.И. Печенюк, С.И. Матвеев, В.В. Семушин // Изв. АН. Серия хим. 2000. № 8. С. 1329–1332.
15. Исследование гидрогелей Fe(III), рентгеноаморфных продуктов их старения и термической дегидратации магнитными методами / А.В. Голован, О.П. Криворучко, Р.А. Буянов, Б.П. Золотовский // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. 1981. Вып. 4, № 9. С. 70–78.
16. О.Р. Krivoruchko Influence of precipitation temperature and the nature of the starting Fe(III)-salt on Fe(III)-hydroxide crystallization in alkaline medium / О.Р. Krivoruchko, В.Р. Zolotovskiy, R.A. Buyanov // Z.anorg. allg. Chem. 1983. В. 504, P. 179–186.
17. Давыдов Д.Ю. Гидролиз катионов  $Fe^{3+}$  с образованием полиядерных гидросокомплексов в присутствии перхлорат-, хлорид-, нитрат- и сульфат-анионов в растворе // Журн. неорган. химии. 2005. Т. 50, № 6. С. 1043–1046.
18. Состав и свойства криогранулированных оксигидратов железа(III) / С.И. Печенюк, Е.В. Калинкина, Р.А. Попова, Д.Л. Рогачев, О.А. Залкинд // Журн. прикл. химии. 1991. Т. 64, №1. С. 31–36.
19. Печенюк С.И. Изменение кислотно-основных свойств гидрогелей оксигидроксидов металлов при старении в растворах электролитов / С.И. Печенюк, С.И. Матвеев // Изв. АН. Серия хим. 2000. № 8. С. 1329–1332.
20. Печенюк С.И. Изменение состава гидрогелей оксигидроксидов металлов при старении в растворах электролитов / С.И. Печенюк, Л.Ф. Кузьмич // Журн. неорган. химии. 2000. Т. 45, № 9. С. 1462–1467.
21. Pechenyuk S.I. Changes in the sorption activity of metal oxyhydroxide hydrogels during their ageing in electrolyte solutions / S.I. Pechenyuk, L.P. Kuz'mich // Colloids and Surfaces. 2001. Vol. A180. P. 259–266.
22. Печенюк С.И. Старение оксигидроксидных сорбентов, насыщенных катионами цветных металлов / С.И. Печенюк, В.В. Семушин, Т.Г. Кашулина // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Т. 11, № 4. С. 663–669.
23. Печенюк С.И. Влияние сорбированных катионов цветных металлов на старение оксигидроксида железа(III) / С.И. Печенюк, В.В. Семушин // Сорбц. хром. процессы. 2008. Т. 8, № 1. С. 106–112.
24. Печенюк С.И. Кислотно-основные свойства поверхности гидрогелей оксигидроксида алюминия / С.И. Печенюк, В.В. Семушин, И.В. Архипов // Изв. Челябинского НЦ. Химия и биология. 2006. №4. С. 64–68.
25. Печенюк С.И. Сорбция анионов на оксигидроксидах // Сорбц. хром. процессы. 2008. Т. 8, № 3. С. 380–429.
26. Семушина Ю.П. Дисс... к.х.н. Апатиты; Челябинск, 2009.
27. Печенюк С.И. Оценка удельного содержания и природы сорбционных центров оксигидроксидов железа(III) и циркония(IV) / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина, Л.Ф. Кузьмич // Изв. АН. Серия хим. 2005. № 8. С. 1736–1741.
28. Печенюк С.И. Пористость некоторых ксерогелей оксигидроксидов железа(III), хрома(III), и циркония(IV) / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина, Ю.В. Иванов // Журн. неорган. химии. 2006. Т. 51, № 2. С. 233–236.
29. Печенюк С.И. Сорбция ионов  $[Fe(CN)_6]^{3-}$  и  $[Fe(CN)_6]^{4-}$  из водных растворов на поверхности гидрогелей оксигидроксидов Fe(III), Cr(III), Zr(IV) / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина, Л.Ф. Кузьмич // Журн. физ. химии. 2006. Т. 80, № 10. С. 1902–1907.
30. Печенюк С.И. Сорбция фосфат-ионов на оксигидроксидах Fe(III), Cr(III), Zr(IV) из водных растворов электролитов / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина // Журн. физ. химии. 2006. Т. 81, № 8. С. 1473–1478.
31. Печенюк С.И. Кислотно-основные свойства поверхности гидрогелей оксигидроксидов железа(III), циркония(IV) и хрома(III) / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина // Вестник ЮУрГУ. Математика, физика, химия. 2006. Т. 7. С. 233–238.
32. Печенюк С.И. Сорбция оксалат-ионов феррогелями / С.И. Печенюк, Л.Ф. Кузьмич, Ю.П. Семушина // Сорбц. хром. процессы. 2010. Т. 10, № 1. С. 61–68.
33. Сорбция оксалат- и карбонат-ионов на цирконогелях / С.И. Печенюк, Л.Ф. Кузьмич, Ю.П. Семушина, Г.И. Кадырова // Сорбц. хром. процессы. 2011. Т. 11, № 3. С. 372–381.
34. Печенюк С.И. Гелеобразные оксигидроксиды и цитрат-ионы: конкуренция между адсорбцией и

комплексообразованием / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина, Г.И. Кадырова // Сорбц. хром. процессы. 2012. Т. 12, № 5. С. 719–724. **36** Печенюк С.И. Конкурентная сорбция хромат-, оксалат- и карбонат-ионов на цирконогелях / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина, Л.Ф. Кузьмич // Сорбц. хром. процессы. 2012. Т. 12, № 2. С. 189–195. **37**. Печенюк С.И. Адсорбционное сродство анионов к оксигидроксидами металлов / С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина, Л.Ф. Кузьмич // Журн. физ. химии. 2013. Т. 87, №3. С. 505–511. **38**. Печенюк С.И. Влияние природы соли-прекурсора оксигидроксидного сорбента на сорбцию оксалат-ионов / С.И. Печенюк, Л.Ф. Кузьмич, Ю.П. Семушина // Журн. физ. химии. 2012. Т. 86, № 9. С. 1584–1587. **39**. Hiemstra T. A surface structural approach to ion adsorption the charge distribution model / T. Hiemstra, W.H.van Rjemsdijk // J. Colloid Interface Sci. 1996. Vol. 179. P. 488–508. **40**. Hiemstra T. Surface structural ion adsorption modeling of competitive binding of oxyanions by metal (hydr)oxides / T. Hiemstra, W.H.van Rjemsdijk // J. Colloid Interface Sci. 1999. Vol. 210. P. 182–193. **41**. Печенюк С.И. О природе сорбционного комплекса на поверхности оксигидроксидов металлов / С.И. Печенюк, Л.Ф. Кузьмич // Сорбц. хром. процессы. 2008. Т. 8, № 5. С. 790–795. **42**. Басоло Ф. Механизмы неорганических реакций / Ф. Басоло, Р. Пирсон. М.: Мир, 1971. 592 с. **43**. Добош Д. Электрохимические константы: справочник. М.: Мир, 1980. 365 с. **44**. Печенюк С.И. Закономерности сорбции анионов аморфными оксигидроксидами // Вестник ЮУрГУ. Химия. 2013. Т. 5. № 2. С. 26–54. **45**. Печенюк С.И. Современное состояние исследований сорбции неорганических соединений из водных растворов оксигидроксидами // Успехи химии. 1992. Т. 61, №4. С. 711–733. **46**. Печенюк С.И. Гетерогенные реакции комплексных соединений платиновых металлов, меди и ртути с оксигидроксидами / С.И. Печенюк, Т.Г. Кашулина // Коорд. химия. 1995. Т. 21, № 1. С. 3–11. **47**. Печенюк С.И. Использование значений рН точки нулевого заряда для характеристики свойств оксигидроксидов / Изв. АН. Серия хим. 1999. № 6. С. 1029–1035.

### Сведения об авторе

Печенюк София Ивановна – д.х.н., профессор, главный научный сотрудник; e-mail: pechenyuk@chemy.kolasc.net.ru

УДК 550.374+550.387

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛОМНОЙ ТЕКТОНИКИ НА СТРУКТУРУ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В КОЛЬСКОМ ЗАЛИВЕ

Е.Д. Терещенко<sup>1</sup>, В.Ф. Григорьев<sup>1</sup>, П.Е. Терещенко<sup>1,2</sup>, Р.Ю. Юрик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПГИ КНЦ РАН

<sup>2</sup>СПб ИЗМИРАН

### Аннотация

Представлены результаты одновременных исследований электромагнитных шумов на дне Кольского залива и на острове вблизи точки погружения аппаратуры, а также в обсерватории, расположенной на значительном расстоянии от места измерения в заливе. Описана аппаратура, использованная в эксперименте: модернизированная приемная аппаратура морского приемно-передающего комплекса, мобильный и стационарный измерители электромагнитного поля. Показано влияние разломной тектоники на структуру естественного магнитного поля, приводящее к усилению его вертикальной составляющей в заливе.

### Ключевые слова:

Кольский залив, разломная тектоника, естественное магнитное поле, измерители магнитного поля.

### Введение

Морские электромагнитные исследования являются одной из важных составляющих частей морской геофизики. Проведение таких работ на больших неизученных пространствах, составляющих 70.8% поверхности Земного шара, представляет большой научный интерес как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах. Серьезное значение придается исследованиям пространственно-временных характеристик электромагнитного поля в море, как одного из геофизических полей.

Подобные исследования позволяют проводить изучение глубинного геоэлектрического строения морского дна (геоэлектромагнитное зондирование) с целью выяснения строения и динамики океанической литосферы и верхней мантии, а также поиска полезных ископаемых. Это становится чрезвычайно актуальным в связи с возрастающими потребностями в различных видах

минерального и углеводородного сырья и быстрым истощением его запасов на континентах. Изучение глубинного распределения электропроводности в море дает ценную, а иногда и уникальную информацию о состоянии недр, недоступную другим геофизическим методам.

Несмотря на очевидную актуальность морских электромагнитных исследований и их большую теоретическую проработку, экспериментальных работ на акваториях морей и океанов за прошедшее время проведено мало. Основные причины такого положения – естественные технологические трудности, связанные со специфическими условиями и высокой стоимостью исследований.

В связи с этим проведение новых морских экспериментов и создание современных измерителей электромагнитных полей позволит решить ряд важных фундаментальных и прикладных задач, стоящих перед практикой.

### **Описание эксперимента**

Для отработки методов измерения естественных электромагнитных полей на морском дне и интерпретации полученных данных выбран район Кольского залива, т.к. его геолого-геофизическая структура хорошо известна.

Кольский залив расположен на побережье Баренцева моря, которое представляет собой возвышенную, расчлененную денудационную равнину высотой 150–200 м, повышающуюся к югу и круто обрывающуюся к северу. По геоморфологической классификации этот участок Мурманского побережья относится к типу фиордовых берегов [1]. Фиорды представляют собой узкие длинные и глубокие заливы со скалистыми берегами и крутыми подводными склонами.

Кольский залив – это вытянутая субмеридиональная тектоническая структура, для очертаний которой характерны коленчатые изгибы, обусловленные участием в ее строении и формировании разломов северо-северо-западного и северо-восточного простирания. В геологическом отношении Кольский фиорд наложен на 2 крупных тектонических блока – северный представлен архейскими гранитоидами, южный – слюдяными и гранатовыми гнейсами. Древние породы перекрыты четвертичными отложениями, представленными фациями наиболее молодой верхневалдайской морены.

Для исследования влияния разломной тектоники на структуру естественного электромагнитного поля в Кольском заливе в сентябре 2012 г. был проведен эксперимент по одновременной регистрации поля в ряде точек измерений на Кольском п-ове и в заливе.

Первая точка измерений была выбрана на дне среднего колена Кольского залива (точка 1 на рис. 1). Регистрация естественного магнитного поля производилась приемной аппаратурой морского приемно-передающего комплекса на глубине 30 метров.

Для выделения эффектов, связанных с погружением регистрирующей аппаратуры в воду, на удалении около 300 м от первой точки измерения (точка 2 на рис. 1) был установлен переносной трехкомпонентный магнитометр.

Третья точка размещалась на радиофизическом полигоне ПГИ КНЦ РАН «Верхнетуломский» вдали от неоднородных областей, формирующих поле в заливе и его окрестностях. Регистрация естественного магнитного поля производилась стационарным измерителем электромагнитного поля.

Выбор такой схемы эксперимента позволяет провести сравнительный анализ естественных магнитных полей на земной поверхности и на дне залива, чтобы учесть влияние малых и крупных неоднородностей среды, на основе которого будут проведены исследования влияния разломной тектоники на структуру естественного электромагнитного поля в Кольском заливе.

Для измерений электромагнитного поля экстремально низкочастотного диапазона (0.01 Гц ... 200 Гц) на морском дне в институте была модернизирована приемная аппаратура морского приемно-передающего комплекса [2], для измерений поля на земле применялись стационарный и мобильный [3] измерители, разработанные и изготовленные в институте.

Приемная аппаратура морского приемно-передающего комплекса предназначена для измерения амплитуд и фаз электромагнитного поля в диапазоне от 0.01 Гц до 200 Гц в заданных точках морского дна на глубине до 500 м.

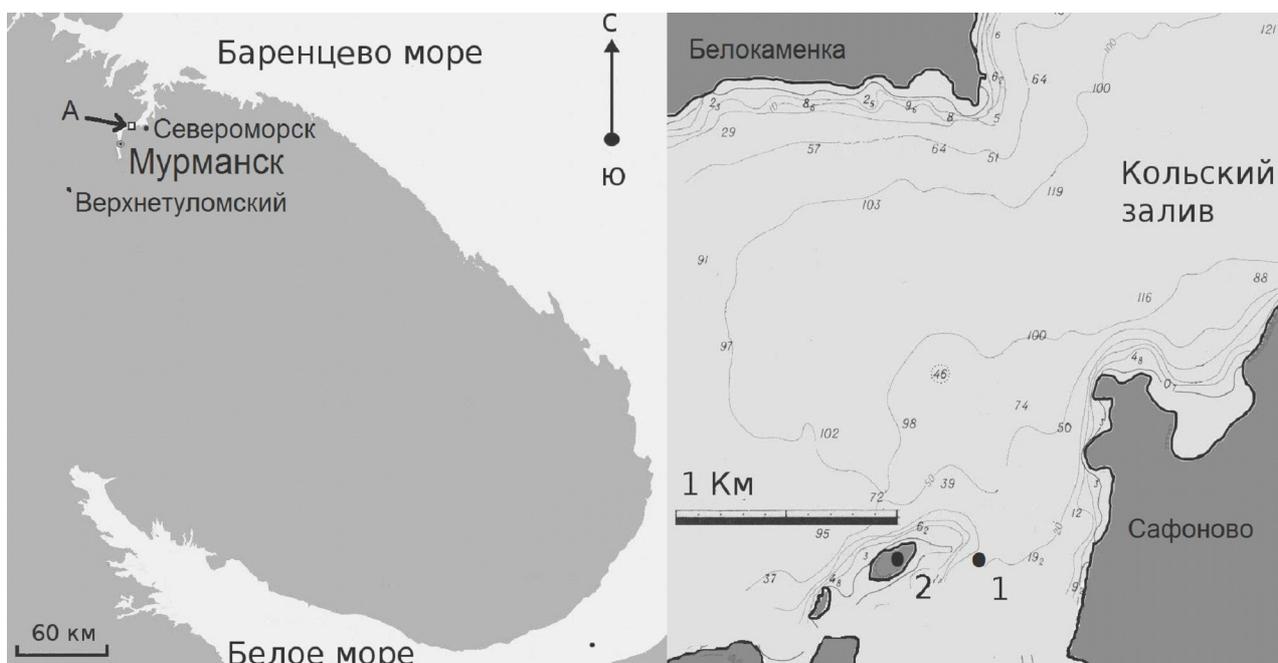


Рис. 1. Расположение точек измерений. Слева - район измерений, А - район морских измерений. Справа: 1 – место погружения донного регистратора; 2 – остров, на котором установлен переносной магнитометр

Аналоговые сигналы от преобразователей и с антенн поступают на 8-канальный 24-разрядный аналого-цифровые преобразователи (АЦП), где они преобразуются в цифровой вид и записываются на FLASH память.

Конструктивно приемная аппаратура комплекса представляет собой корпус, на котором закреплены индукционные преобразователи и электрические антенны таким образом, что они образуют 2 ортогональные горизонтальные и вертикальную системы и связаны с электронным блоком через герморазъемы. Для исключения помех от электронного блока на индукционные преобразователи, во время измерений его располагают на расстоянии до 8 м от корпуса.

Бетонный блок, прикрепленный к низу корпуса, служит грузом, опускающим приемник на морское дно, а также обеспечивает устойчивость корпуса аппаратуры к подводным течениям.

По окончании измерений приемная аппаратура поднимается на борт судна и с FLASH памяти считывается информация для дальнейшей обработки.

Так как приемная аппаратура на дне моря занимает произвольное положение, то для пересчета данных в единую систему координат она снабжена модулем позиционирования (азимут, крен, тангаж). Результаты измерений азимута, крена и тангажа регистрируются в едином пакете данных.

Мобильный измеритель электромагнитного поля предназначен для измерения амплитуд и фаз электромагнитного поля в диапазоне от 0.01 до 200 Гц в полевых условиях.

Оцифрованные 24-разрядным АЦП аналоговые сигналы от преобразователей магнитного поля и электрических антенн, привязанные по времени спутниковыми навигационными системами ГЛОНАСС/GPS с точностью не ниже 5 мкс, поступают на систему регистрации и сбора данных.

Мобильный измеритель электромагнитного поля состоит из:

- корпуса, на котором закреплены индукционные преобразователи таким образом, что они образуют ортогональные горизонтальные (2) и вертикальную системы;
- антенны, состоящей из двух симметричных антенн длиной 100 м каждая и четырех малогабаритных малощумящих неполяризованных пористых электродов;
- системы регистрации и сбора данных;
- приемника спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС/GPS;
- ноутбука.

Ориентирование индукционных преобразователей измерителя относительно северного магнитного меридиана производится буссолью.

Стационарный измеритель обеспечивает измерения электромагнитного поля в диапазоне от 0.01 до 200 Гц в стационарных условиях и состоит из:

- трех индукционных преобразователей, два из которых расположены горизонтально и ортогонально, а третий – вертикально. Один из горизонтальных индукционных преобразователей расположен по магнитному меридиану юг – север;
- двух симметричных антенн длиной 200 м каждая и четырех малогабаритных малозумящих неполяризованных пористых электродов;
- системы регистрации и сбора данных;
- приемника спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС/GPS;
- персонального компьютера.

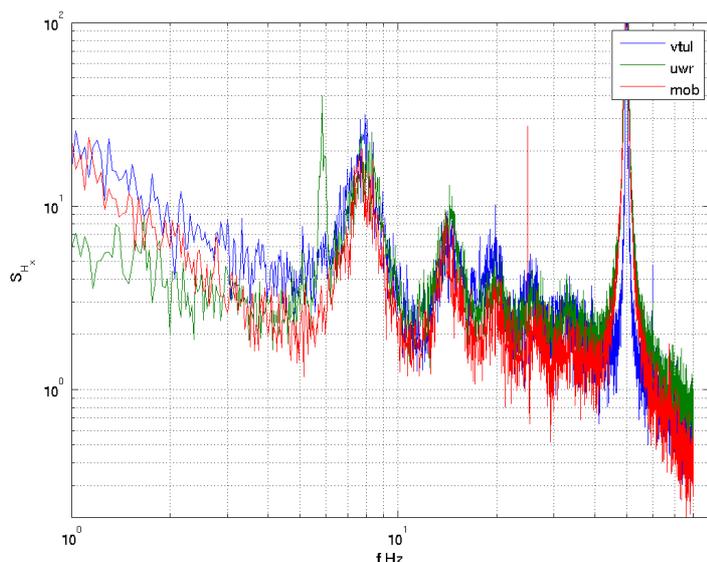


Рис. 2. Спектры мощности компоненты  $H_x$  естественного магнитного поля в  $\text{мкА}^2/\text{м}^2\text{Гц}$ . *vtul* – стационарный магнитометр, *mob* – мобильный измеритель электромагнитного поля, *uwr* – морской приемно-передающий комплекс

Для проверки качества работы описанной выше измерительной аппаратуры перед проведением измерений на радиофизическом полигоне ПГИ КНЦ РАН «Верхнетуломский» в одинаковых условиях была выполнена одновременная тестовая регистрация естественных магнитных полей.

На рис. 2 представлены спектры мощности естественного магнитного поля в двойном логарифмическом масштабе, зарегистрированные приемной аппаратурой морского приемно-передающего комплекса (зеленый цвет), мобильным измерителем электромагнитного поля (красный цвет) и стационарным измерителем электромагнитного поля (синий цвет).

Сравнительный анализ тестовой регистрации показал, что результаты измерений естественных магнитных полей различной аппаратурой в

одинаковых условиях практически идентичны.

Начало проведения эксперимента (19:00 мск 29 сентября 2012 г.) определялось постановкой приемной аппаратуры морского приемно-передающего комплекса в точку измерения, а окончание – подходом судна к точке измерения для подъема приемной аппаратуры (17:00 мск 30 сентября 2012 г.). Таким образом, регистрация поля в точках измерений проводилась непрерывно в течение 22 часов.

## Результаты измерений

Полученные данные временных рядов амплитуд трех компонент магнитного поля на дне Кольского залива были подвергнуты спектральной обработке методом Уэлча [4]. На трехминутных интервалах использовались прямоугольные окна минутной длины с 50% перекрытием. В результате были получены данные об изменении спектральных плотностей мощности  $S(f)$  в течение суток для компонент магнитного поля. Полученные значения спектральной плотностей мощности  $S_H$  компоненты магнитного поля  $H_y$  отображены на сонограмме, представленной на рис. 3.

Из рисунка следует, что несмотря на значительный уровень промышленных помех на дне Кольского залива, на сонограмме видны характерные естественные поля – первый (приблизительно 8 Гц) и второй (приблизительно 14 Гц) Шумановские резонансы. При этом на

отдельных временных участках присутствуют незначительные индустриальные помехи. Поэтому для дальнейшего исследования выбран участок регистрации поля с минимальными промышленными шумами (через 12.5 часов от начала записи длительностью 30 минут).

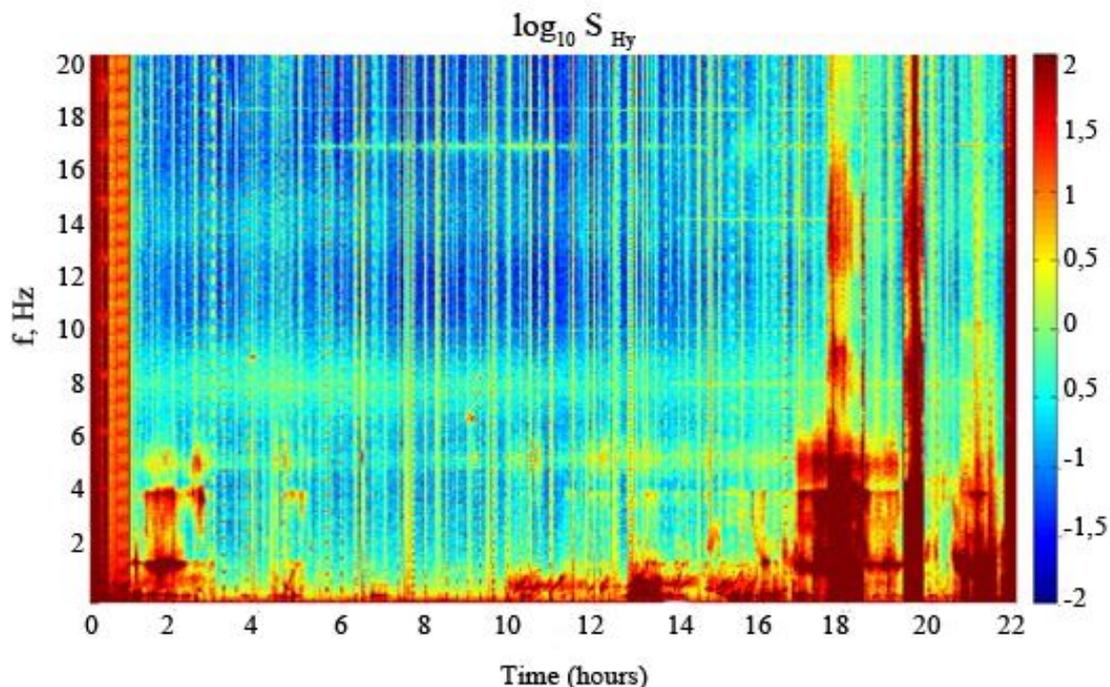


Рис. 3. Сонограмма спектральной плотности мощности  $S_{H_y}$  составляющей  $H_y$  естественного магнитного поля на дне Кольского залива за период проведения эксперимента в  $\text{мкА}^2/\text{м}^2\text{Гц}$

На выбранном участке регистрации поля проведено сравнение спектров мощности для компонент магнитного поля, зарегистрированных на дне и острове залива, а также в обсерватории ПГИ КНЦ РАН «Верхнетуломский».

Для этого, используя метод Уэлча на десятиминутных интервалах с минутными окнами с 50% перекрытием, построены спектры мощности для каждой компоненты магнитного поля в диапазоне частот от 0.01 до 90 Гц по результатам регистраций в каждой точке измерения.

На рис. 4 слева направо приведены спектры мощности горизонтальных компонент ( $H_x$ ,  $H_y$ ) и вертикальной компоненты ( $H_z$ ) напряженности магнитного поля. Синим цветом обозначены поля, зарегистрированные на дне залива, красным цветом – на острове залива, и зеленым цветом – на радиофизическом полигоне ПГИ КНЦ РАН «Верхнетуломский».

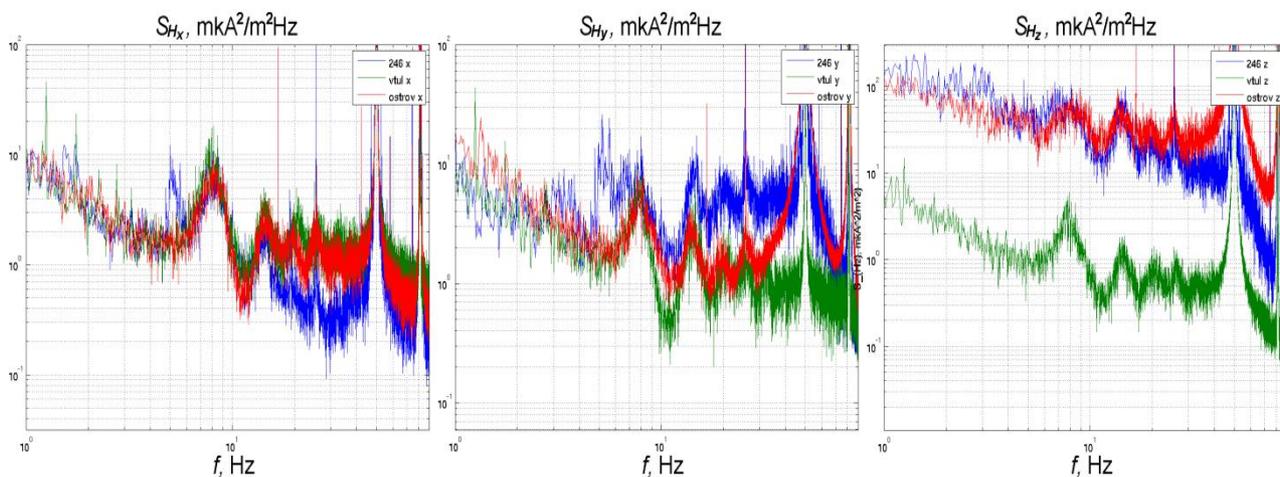


Рис. 4. Спектры мощности трех компонент естественного магнитного поля в  $\text{мкА}^2/\text{м}^2\text{Гц}$

Анализ спектров мощности горизонтальных компонент напряженности магнитного поля показал, что в диапазоне частот от 0.01 Гц до 10 Гц наблюдается хорошее совпадение зарегистрированных полей в трех точках измерения, что говорит о высокой пространственной корреляции ионосферно-магнитосферных шумов. На высоких частотах (более 80 герц) наблюдается расхождение горизонтальных компонент напряженности поля на дне залива и на поверхности земли. При этом мощность шумов на дне залива меньше, чем на поверхности, что обусловлено затуханием поля в морской воде.

С другой стороны, для спектров вертикальных компонент напряженности магнитного поля имеется значительное превышение их значений, как на дне залива, так и на острове, по сравнению с радиофизическим полигоном ПГИ КНЦ РАН «Верхнетуломский».

В выполненной ранее работе по электромагнитному зондированию Кольского полуострова мощным крайне низкочастотным источником излучения [5] было показано, что основную роль в формировании аномально высокой вертикальной компоненты искусственного магнитного поля играет разломная тектоника. По всей видимости, усиление вертикальной компоненты естественного магнитного поля на дне залива и на острове также обусловлены наличием и влиянием разломов на дне и в окрестности залива.

### **Заключение**

В результате выполненных измерений электромагнитных шумов обнаружено усиление их вертикальной компоненты, определяющееся влиянием проводящих разломов в точке наблюдения. При этом приемная аппаратура, использованная в подводных исследованиях, показала свою эффективность и соответствие современным образцам наземных измерителей. Это открывает возможность ее использования в различного рода исследованиях, в том числе и для решения задач магнитотеллурического зондирования при размещении аппаратуры на дне моря.

Авторы выражают свою благодарность А.Н. Миличенко, Ф.С. Полякову за помощь в проведении морских экспериментальных работ.

Исследования проводились при поддержке Р<sup>Ф</sup>ФИ, грант 13-05-12005-офи-м-2013.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Берега / П.А. Каплин, О.К. Леонтьев, С.А. Лукьянова, Л.Г. Никифоров. М.: Мысль, 1991. 480 с.
2. Морской приемно-передающий комплекс электромагнитного зондирования / Е.Д. Терещенко, В.Ф. Григорьев, П.Е. Терещенко, А.Н. Миличенко // Инновационные электромагнитные методы геофизики: сборник статей под ред. акад. Е.П. Велихова. М.: Научный мир, 2012. С. 51–73.
3. Использование мощных стационарных источников экстремально низкочастотного электромагнитного поля в задаче дистанционного зондирования / Е.П. Велихов, Е.Д. Терещенко, М.С. Жданов, Ю.Г. Щорс, Т.А. Багиров, В.Ф. Григорьев, А.Е. Сидоренко, А.Н. Миличенко // Инновационные электромагнитные методы геофизики / под ред. Е.П. Велихова. М.: Научный мир, 2009. С. 10–21.
4. Harris F.J. On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform // Proceedings of the IEEE. Vol. 66, P. 51–83 (January 1978).
5. Электромагнитное зондирование Кольского полуострова мощным крайне низкочастотным источником / Е.П. Велихов, В.Ф. Григорьев, М.С. Жданов, С.М. Коротяев, М.С. Кругляков, Д.А. Орехова, И.В. Попова, Терещенко Е.Д., Щорс Ю.Г. // Докл. академии наук. Т. 438, №3. С. 390-395. 2011.

### **Сведения об авторах**

*Терещенко Евгений Дмитриевич* – д.ф.-м.н., директор; e-mail: general@pgi.ru

*Григорьев Валерий Федосеевич* – помощник директора; e-mail: valgri@pgi.ru

*Терещенко Павел Евгеньевич* – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник;

e-mail: tereshchenko@gmail.com

*Юрик Роман Юрьевич* – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник; e-mail: Roman.Yurik@pgi.ru

## ТРИ СОБЫТИЯ ДИПОЛИЗАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ THEMIS

**И. А. Корнилов, Т.А. Корнилова**  
Полярный геофизический институт КНЦ РАН

### Аннотация

Представлены результаты анализа измерений потоков электронов и протонов, а также магнитных полей в ближней магнитосфере спутником Themis A с использованием цифровых телевизионных данных канадской станции KUJ. В течение около полутора часов, удаляясь от Земли с расстояния 5 до 6.5 Re, спутник зарегистрировал 3 последовательных, почти идентичных события диполизации магнитного поля, которые сопровождались очень похожими активизациями сияний. При этом вариации потоков электронов и протонов были радикально различными. Высказывается предположение, что процесс магнитосферной суббури нельзя объяснить в рамках какой-либо стандартной единой схемы, т.е. магнитосферная плазма способна освобождаться от избыточной энергии различными путями.

### Ключевые слова:

*магнитосфера, суббуря, диполизация, ускорение электронов и ионов.*



### Введение

В настоящее время существуют несколько различных моделей развития магнитосферной суббури, являющейся быстрым взрывным процессом высвобождения внутренней энергии плазмы, постепенно накопленной в магнитосфере под воздействием солнечного ветра. Доминирующими являются две модели суббури – модель импульсного пересоединения в хвосте магнитосферы (на расстояниях 15–25 земных радиусов (Re) [1], и модель разрыва тока в ближней магнитосфере (5–7 Re) [2]. Ни одна из моделей не способна объяснить все детали развития суббури (ускорение протонов и электронов до энергий 300–500 кэВ, генерацию различных типов волн, взрывную активизацию полярных сияний и т. д.). Сторонники той и другой модели выпукло представляют экспериментальные данные, подтверждающие их точку зрения, при этом игнорируя результаты, ей противоречащие. Кроме того, Акасофу недавно указал на принципиальные теоретические трудности, связанные с аннигиляцией магнитного поля в процессах магнитного пересоединения без воздействия внешних сил [3]. Нам представляется, что попытки объяснить процессы магнитосферной суббури в рамках некоторой единой, жесткой схемы в принципе ошибочны. Не исключено, что магнитосферная суббуря может развиваться по заметно отличающимся сценариям, в которых присутствуют и процессы магнитного пересоединения, и процессы, связанные с разрывом тока, при этом внешние проявления суббури (например, диполизация и полярные сияния) могут быть очень похожими. Ведь не секрет, что все нынешние проблемы управляемого термоядерного синтеза именно с тем и связаны, что энергонасыщенная плазма оказалась удивительно изобретательной на способы освобождения от избыточной энергии.

### Экспериментальные результаты

На рис. 1 представлены наземные данные о яркости полярных сияний (Канада), а также о вариациях магнитного поля и потоков электронов (спутник Themis A). Для измерения потоков частиц на спутнике были установлены два различных детектора. Электростатический анализатор (ESA) использовался для измерения потоков электронов и протонов в диапазоне энергий 10 эВ – 30 кэВ с высоким угловым разрешением в 32 энергетических каналах. Полупроводниковый твердотельный детектор (SST), измерял потоки электронов и протонов с энергиями 30 кэВ –

11.02.2008 Themis A

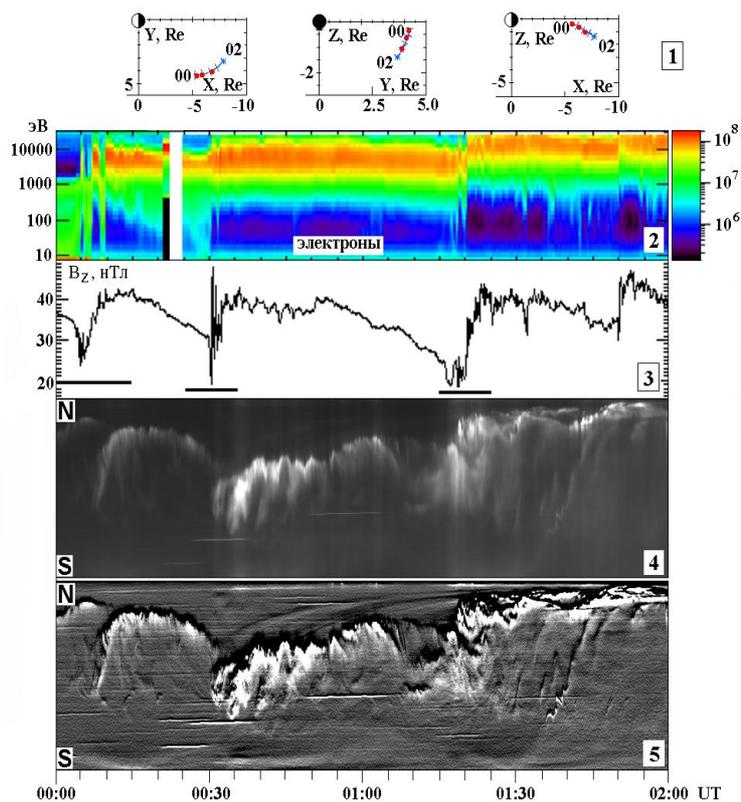


Рис. 1. Проекция траектории спутника Themis A на плоскости XY, ZY, ZX (1), энергетический спектр электронов (2),  $B_z$ -компонента магнитного поля (3), обычная (4) и подвергнутая фильтрации (5) кеограммы сияний (Канада, станция KUUJ)

пространственные вариации светимости вдоль профиля север-юг. Наблюдаемые сияния очень похожи по яркости и динамике не только на кеограмме, но также и на соответствующих сериях последовательных телевизионных кадров. Однако энергетические спектры электронов и протонов для трех событий принципиально отличаются (2). Как видно из рисунка, для первой диполизации энергетический спектр электронов имеет ярко выраженный осциллирующий характер. Некоторые детали этого спектра ранее уже обсуждались авторами [4]. Вторая диполизация сопровождается существенным увеличением потока электронов без заметного увеличения их средней энергии. В третьей диполизации, напротив, поток электронов не увеличивается, однако их средняя энергия сильно возрастает. Важно также отметить наличие характерных временных задержек между диполизациями, потоками электронов и сияниями.

Рассмотрим эти три случая более детально.

На рис. 2 представлены данные для 1-го интервала диполизации (00.00–00:15 UT) с максимальным временным разрешением аппаратуры (3 сек.). Процесс диполизации (1) сопровождается интенсивными пульсациями в спектре электронов и протонов (2, 3), отчетливо коррелирующими с сильными вариациями электрического поля. При этом потоки электронов и протонов полностью в противофазе, т.е. электрическое поле ускоряет электроны и тормозит протоны (4, 5). Как было показано ранее [4], а также хорошо видно на спектре, потоки электронов высоких и низких энергий (2–20 кэВ и 10–500 эВ) отчетливо антикоррелируют, т.е. происходит ускорение местных электронов холодной плазмы, а не перенесенных из удаленного хвоста. Энергия, на которой поток электронов максимальный (измерялась для энергий электронов больше 200 эВ), также сильно варьирует – от 0.6 кэВ до 5-6 кэВ (6).

2 МэВ в 30 энергетических каналах. Положение спутника в магнитосфере (1) представлено в трех проекциях (горизонтальная XY – примерно плоскость земной орбиты, и двух вертикальных ZX – вдоль линии Земля-Солнце и ZY – перпендикулярно этой линии). В рассматриваемый интервал времени спутник удалялся от Земли, переместившись примерно с 5 до 6.5 Re в горизонтальной плоскости. Ниже показано поведение энергетического спектра электронов (2) и вариации (3)  $B_z$  компоненты магнитного поля (фрагменты из базы данных CDAWeb). На фрагменте (3) три временных интервала диполизаций (характерные вариации  $B_z$  компоненты) отмечены горизонтальными линиями. Последняя, четвертая диполизация (01.50 UT) в статье не рассматривается, т.к. она плохо отражена в сияниях (они сместились на север, за пределы поля зрения телевизионной камеры). Все три диполизации хорошо коррелируют с вариациями потоков электронов, яркостью и движениями полярных сияний. Динамика последних отражена на обычной (4) и подвергнутой высокочастотной Фурье-фильтрации (5) кеограммах, показывающих временные и

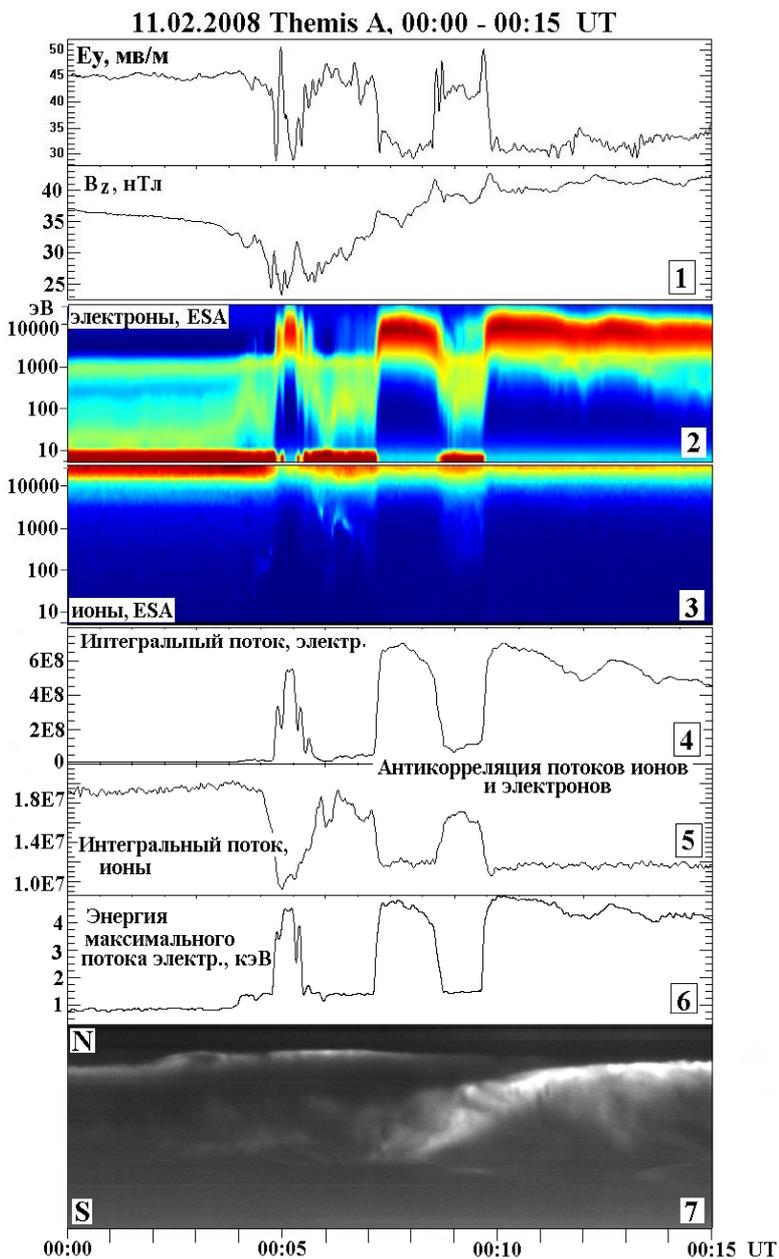


Рис. 2. Набор данных для первого случая диполизации. Вариации электрического и магнитного поля (1), энергетические спектры электронов (2) и протонов (3), и поведение интегральных потоков (4 и 5). Энергия, на которой поток электронов максимальный (6), кеограмма сияний (7)

перед двумя предыдущими диполизациями (по-видимому, каждая активизация приводит к возрастанию и суммированию потоков). При активизации поток электронов с энергиями 4–6 кэВ практически не меняется (4), небольшое уменьшение, очевидно, связано с тем, что энергия электронов приближается к верхней границе детектора. Часть электронов не регистрируется детектором ESA и переходит в диапазон детектора SST, который регистрирует увеличение потоков электронов с энергиями вплоть до 100 кэВ. Энергия, на которой поток электронов максимальный (6), сильно возрастает (от 1.5–2 кэВ до 12–15 кэВ). Вариации яркости сияний (7) в данном случае имеют тенденцию к опережению вариаций спектра.

Заметим, что в данном случае детектор SST не регистрирует заметного возрастания потока электронов с энергиями более 30 кэВ, однако возрастание потоков протонов примерно такое же, как и для двух последующих диполизаций. К сожалению, эти данные содержат существенные дефекты и пропуски, поэтому не представлены на рисунке. Важно также отметить, что начало активного процесса, детектируемого спутником (00:04:40 UT), практически никак не отражается в сияниях (7). Сияния активизируются и начинают двигаться к северу на 2 минуты позже, около 00:07:00 UT.

Рис. 3 соответствует 2-му интервалу диполизации (00:25–00:35 UT). На спектре (2) хорошо видны большие потоки электронов, очевидно, оставшихся в магнитосфере от процессов, связанных с предыдущей диполизацией. В отличие от предыдущего случая, здесь не отмечается заметных изменений энергии электронов (6). Энергия, на которой поток максимален, возрастает менее чем от 3 до 5 кэВ. При этом поток возрастает почти в 2 раза, как для электронов, так и для протонов (4, 5). На кеограмме (7) можно увидеть движущиеся к югу северные структуры (00:25–00:32 UT), затухающие перед началом активизации сияний в зените, а момент активизации имеет тенденцию к запаздыванию относительно вариаций в спектрах и магнитном поле на 20–30 секунд.

Рис. 4 показывает экспериментальные данные для 3-го случая диполизации (01:15–01:25 UT). Перед активизацией (01:15–01:18:30 UT) потоки электронов и протонов в окрестности спутника еще выше, чем

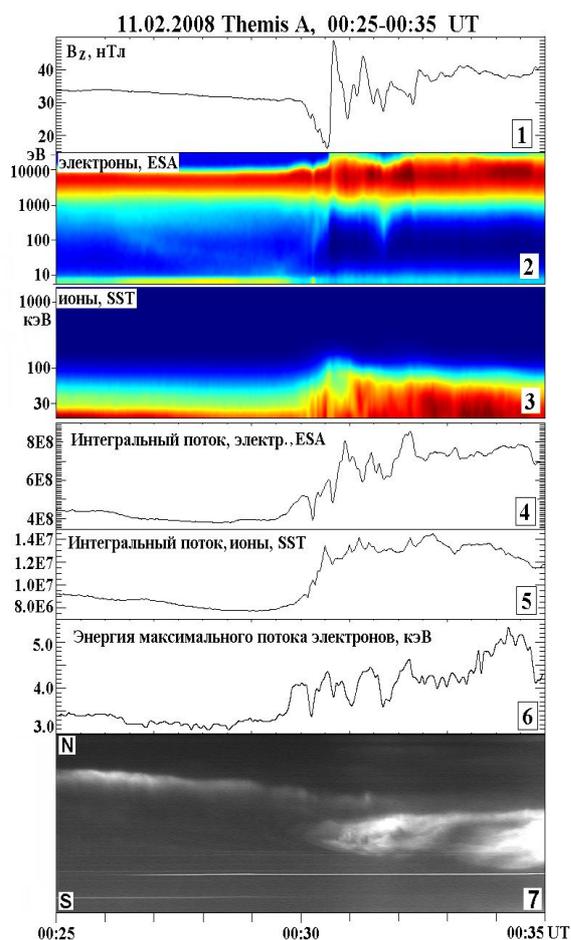


Рис. 3. Набор данных для второго случая диполизации. Вариации магнитного поля (1), энергетические спектры электронов (2) и ионов (3), соответствующие интегральные потоки (4 и 5), энергия, на которой поток электронов максимальный (6) и кеограмма сияний (7)

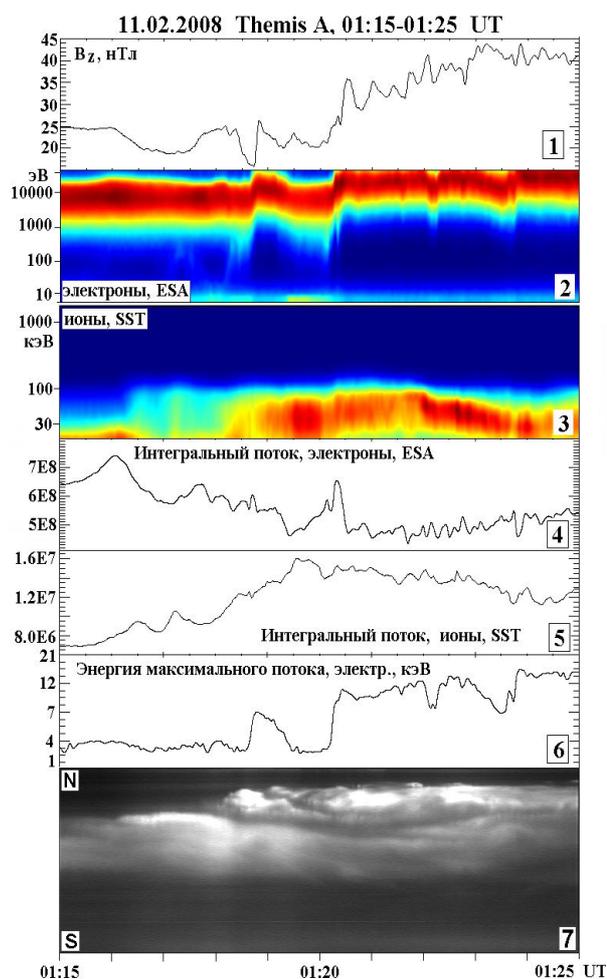


Рис. 4. Набор данных для третьего случая диполизации. Обозначения те же, что на рис. 3

### Обсуждение и выводы

Можно предположить, что различие в спектрах объясняется различным положением спутника в магнитосфере (за анализируемый интервал времени он сместился с 5 до 6.5 Re). Однако маловероятно, что свойства магнитосферы могут радикально измениться на таком малом расстоянии за такой малый интервал времени. Очень похожие события диполизации, сопровождающиеся сходными вариациями потоков частиц могут наблюдаться в магнитосфере от 4 до 10–12 Re. Кроме того, смещение спутника никак не объясняет наблюдаемые временные задержки между диполизациями, вариациями спектров и полярными сияниями. Несмотря на большое сходство в вариациях магнитного поля и сияниях, поведение потоков частиц в рассмотренных случаях радикально различается. По-видимому, возможны как процессы инжекции частиц из хвоста магнитосферы и связанный с этим разрыв тока и движение фронта диполизации, так и процесс разрыва тока, и ускорение частиц в результате развития плазменных неустойчивостей. Следует сделать вывод, что активные процессы в магнитосфере действительно могут развиваться по заметно отличающимся сценариям, и магнитосферная плазма способна освобождаться от избыточной энергии различными путями.

Авторы благодарны сотрудникам ПГИ КНЦ РАН за проведение телевизионных наблюдений в обсерваториях Ловозеро и Лопарская. Данные Themis загружались с сайта базы данных CDAWeb, data providers V. Angelopoulos, C.W. Carlson, McFadden, and E.Donovan.

Исследования проводились при поддержке РФФИ, грант 12-05-00273, Программами № 4 и № 22 Президиума РАН, а также норвежским грантом NORUSCA 2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hones E.W. Jr. Transient phenomena in the magnetotail and their relation to substorms, Space Sci. Rev. 1979. Vol. 23. P. 393–410. 2. Lui, A. T. Y. Current controversies in magnetospheric physics // Rev. Geophys. 2001. Vol. 39. P. 535–564. 3. Akasofu S.-I. The relationship between the magnetosphere and magnetospheric/auroral substorms // Ann. Geophys. 2013. Vol. 31. P. 387–394. 4. Корнилов И.А. Наблюдения спутниками ТЕМИС синхронных возрастных потоков электронов и ионов в плазменном слое во время суббури / И.А. Корнилов, Т.А. Корнилова // Вестник Кольского научного центра РАН. 2011. № 3. С. 44–48.

#### Сведения об авторах

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

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

УДК 622.4:519.67

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕНИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

В.А. Маслобоев<sup>1</sup>, А.А. Бакланов<sup>1,2</sup>, С.И. Мазухина<sup>1</sup>, П.В. Амосов<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Danish Meteorological Institute

<sup>3</sup>Горный институт КНЦ РАН

#### Аннотация

Представлены результаты анализа численного моделирования процессов переноса мультимодальной примеси, вздымаемой ветровым потоком. Оценивается влияние высоты пылящей поверхности на загрязнение приземного слоя атмосферы вниз по потоку при вариации интенсивности пыления. Установлено, что с ростом высоты пылящей поверхности прогнозируется существенное увеличение (от 50 до 150%) концентрации загрязнения атмосферы.

#### Ключевые слова:

пыление, хвостохранилище, загрязнение, атмосфера, моделирование.

#### Введение

Актуальность проблемы пыления от хвостохранилищ продолжает оставаться высокой. Например, Управление Росприроднадзора по Мурманской области проблему пыления хвостохранилища АНОФ-2 считает одной из главных экологических проблем г. Апатиты, а на форуме сайта г. Апатиты открыта обновляемая страничка по проблеме пыления [1]. По данным Управления Росприроднадзора по Мурманской области зафиксированное 1 июля 2011 г. превышение предельно допустимой концентрации пыли в воздухе вызвало ряд обращений жителей города в различные властные инстанции [2]. Дополнительным «раздражителем» для населения города выступает Проект реконструкции хвостохранилища АНОФ-2, который предусматривает увеличение высоты пляжа хвостохранилища на 20 м. Есть определенные опасения, что пыление хвостов после реконструкции может увеличиться.

В 1980–1990-х годах сотрудники Кольского научного центра РАН под руководством А.А. Бакланова [3, 4] сделали попытку численно смоделировать процесс рассеяния пыли на ближайшем к г. Апатиты хвостохранилище. При этом расчеты выполнялись по авторским моделям и компьютерным программам, в которых уравнения, описывающие процессы аэротермогазодинамики, решались конечно-разностными методами на неравномерных прямоугольных сетках.

За прошедшие годы отмечен существенный прогресс в разработке моделей и компьютерных кодов, позволяющих выполнять расчеты процессов распространения загрязнений в разных средах. Примеры таких программ – PORFLOW, AQUA3D, COMSOL, FLUENT и др. Поскольку задача, посвященная прогнозу рассеяния пыли от хвостохранилища АНОФ-2, в связи с предложенным изменением высоты дамбы остается весьма актуальной [1, 2], авторы сделали попытку промоделировать указанный процесс с помощью современной компьютерной программы COMSOL [5].

Таким образом, целью выполненного исследования является оценка влияния высоты пляжа хвостохранилища на потенциальное загрязнение воздушной среды при переносе сдуваемой сильным ветром мультidisперсной примеси. Дополнительный побуждающий фактор – демонстрация факта, когда недоучет основных параметров модели приводит к ошибочным выводам.

### Постановка задачи

Численные эксперименты по расчету аэродинамических параметров обтекания и конвективно-диффузионного переноса примеси выполнены на численной модели в плоской постановке с использованием программы COMSOL. Размер моделируемой области 3000x300 м. Расчет аэродинамики с заданными начальными и граничными условиями выполнен на базе (к-ε)-модели турбулентности. Значение горизонтальной скорости на входной и верхней границах модели выбрано равным 20 м/с. Высота пляжа хвостохранилища варьировалась от 20 м до 40 м с шагом 10 м. Поверхность за объектом пыления моделировалась плоской.

Интенсивность пыления на поверхности пляжа хвостохранилища промоделирована для двух ситуаций:

1-я ситуация: независимо от высоты пляжа задавалась постоянная интенсивность пыления 27 г/(м·с);

2-я ситуация: принята во внимание линейная зависимость интенсивности пыления от высоты: 27, 42 и 57 г/(м·с) на указанных выше высотах пляжа (см. рис. 1).

Представленные на рис. 1 зависимости интенсивности пыления от высоты пляжа получены А.А. Баклановым и О.Ю. Ригиной [4] на основе анализа и обработки эмпирических зависимостей интенсивности пыления от скорости набегающего потока, приведенных в ранних публикациях Б.В. Иванова и В.Г. Борисова

Указанные выше значения интенсивности пыления отвечают линейной зависимости, обозначенной на рис. 1 символом «а».

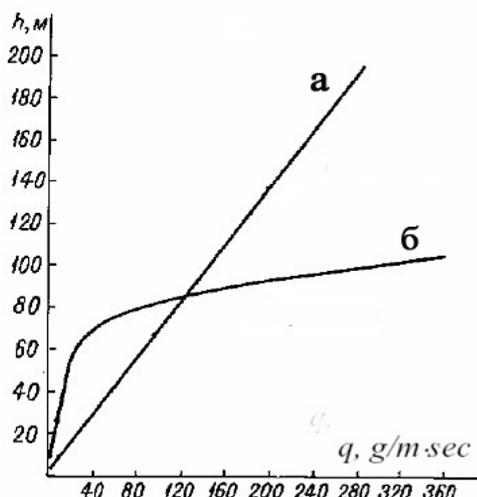


Рис. 1. Функциональные зависимости интенсивности пыления и высоты дамбы [4]  
(а – по данным Б.В. Иванова; б – по данным В.Г. Борисова)

В качестве оседающей примеси рассматривались 3 возможных типа загрязнения: пассивная примесь с нулевой скоростью оседания; мелкодисперсная пыль с очень малой скоростью оседания на уровне 0.005 м/с; частицы пыли размером (по радиусу) порядка 6 мкм, когда скорость оседания в приближении Стокса составляет 0.01 м/с.

### Анализ результатов расчетов

Высокая скорость ветрового переноса и турбулентного перемешивания обеспечивает быстрый выход пространственных распределений загрязнений на стационарный режим.

Отметим отчетливые изменения в структуре поля скорости для различных высот хвостохранилища. Особенно в непосредственной близости за пляжем хвостохранилища, где

прогнозируется образование вихревых течений. В качестве примера на рис. 2а и 2б представлены фрагменты поля скорости непосредственно за пляжем хвостохранилища для минимальной и максимальной высоты объекта: 20 м и 40 м. Несомненно, изменение структуры потока воздуха должно привести к определенным видоизменениям пространственного распределения загрязнений.

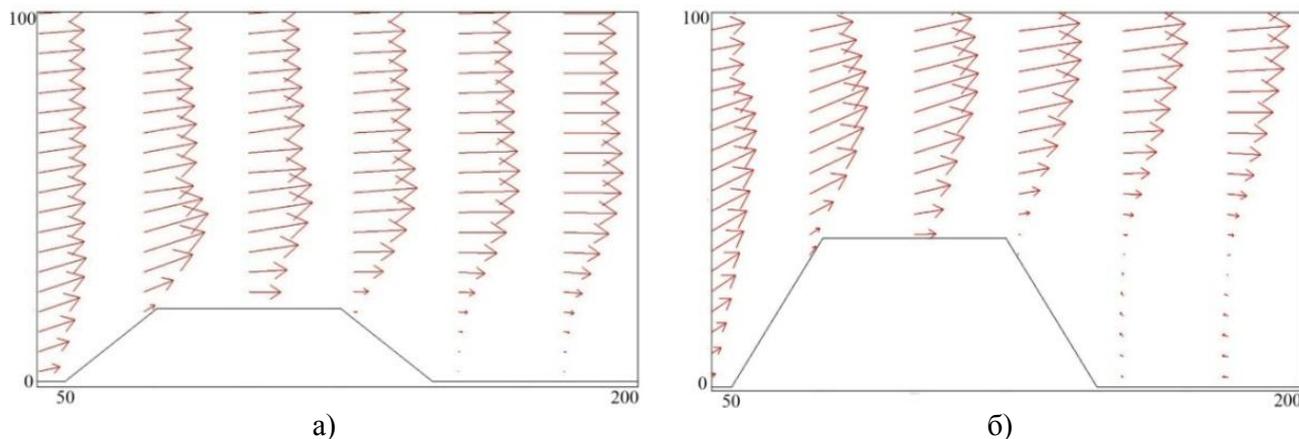


Рис. 2. Структура поля скорости вблизи пляжа хвостохранилища при вариации его высоты: а) 20 м и б) 40 м

Вблизи пляжа хвостохранилища (область отрывных течений) имеют место максимальные значения концентрации загрязнений. Например, для скорости оседания 0.01 м/с значения максимальных концентраций пыли с ростом высоты (20, 30, 40 м) пляжа хвостохранилища равны следующим величинам: 1-я ситуация – 10.06; 11.85; 10.59 г/м<sup>3</sup> и 2-я ситуация – 10.06; 18.42; 22.36 г/м<sup>3</sup> соответственно.

Указанная особенность более существенного скачка максимальной концентрации пыли при высоте хвостохранилища в 30 м отчетливо повторяется и на кривых (см. рис. 3а и 3б), демонстрирующих распределение загрязнения вдоль горизонтальной оси на высоте человеческого роста (примерно 2 м).

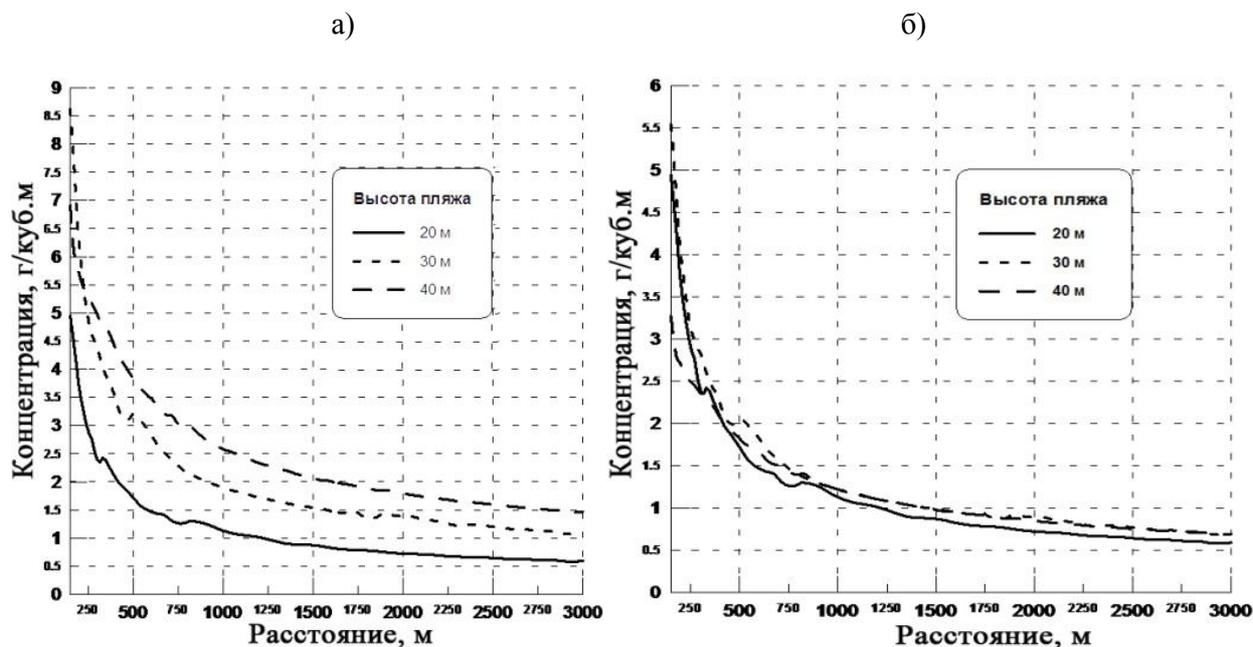


Рис. 3. Зависимость концентрации примеси со скоростью оседания 0.01 м/с на высоте 2 м вдоль горизонтальной оси при вариации высоты пляжа: а) 1-я ситуация; б) 2-я ситуация

Как видно на рис. 3а, б, на высоте 2 м непосредственно вблизи пляжа хвостохранилища высотой 30 м прогнозируется заметно более высокое значение концентрации пыли (1-я ситуация ~ 5.6 г/м<sup>3</sup> и 2-я ситуация ~ 8.6 г/м<sup>3</sup>), чем при высотах 20 м (1-я ситуация ~ 4.9 г/м<sup>3</sup> и 2-я ситуация ~ 5.0 г/м<sup>3</sup>) и 40 м (1-я ситуация ~ 3.3 г/м<sup>3</sup> и 2-я ситуация ~ 6.9 г/м<sup>3</sup>) м. Причиной указанного факта являются различия в структуре скоростных потоков непосредственно за пляжем хвостохранилища (о чем указывалось ранее).

По мере удаления от хвостохранилища (около 100 м) устанавливается стабильное превышение концентрации примеси, отвечающей большим высотам пляжа хвостохранилища. Но если в 1-й ситуации указанное превышение не столь значимо, то во 2-й ситуации (увеличение интенсивности пыления с высотой) кривые, соответствующие высотам 30 и 40 м, располагаются на графике существенно выше. Некоторые количественные показатели концентрации загрязнения воздуха (высота 2 м от поверхности) на различных расстояниях от источника пыления при вариации скорости оседания приведены в таблице.

Таблица

Концентрация примеси в фиксированных точках расчетной сетки при вариации скорости оседания примеси (высотная отметка 2 м), г/м<sup>3</sup>

Высота пляжа хвостохранилища	Скорость оседания, 0.000 м/с			Скорость оседания, 0.005 м/с			Скорость оседания, 0.010 м/с		
	Координаты точек, м			Координаты точек, м			Координаты точек, м		
	1000	2000	3000	1000	2000	3000	1000	2000	3000
	1-я ситуация								
20 м	1.118	0.711	0.579	1.123	0.716	0.584	1.129	0.722	0.590
30 м	1.204	0.875	0.683	1.212	0.882	0.690	1.219	0.889	0.696
40 м	1.209	0.835	0.682	1.215	0.841	0.688	1.413	0.847	0.694
	2-я ситуация								
20 м	1.118	0.711	0.579	1.123	0.716	0.584	1.129	0.722	0.590
30 м	1.874	1.362	1.063	1.884	1.372	1.073	1.895	1.383	1.083
40 м	2.552	1.763	1.440	2.565	1.775	1.453	2.578	1.787	1.466

Сравнение показателей загрязнения, приведенных в таблице и на рис. 3а и 3б, позволяет для рассмотренных ситуаций утверждать следующее:

1-я ситуация	2-я ситуация
с ростом высота пляжа хвостохранилища прогнозируется увеличение концентрации примеси по направлению воздушного потока на расстояниях более	
300 м от источника	100 м от источника
В абсолютных величинах увеличение концентрации пыли на расстояниях более 1 тыс. м при удвоении высоты хвостохранилища	
не превышает коэффициент 1.2	превышает коэффициент 2
В относительных единицах максимальный прирост концентрации прогнозируется для высоты хвостохранилища в 30 м (почти 23% на отметке 2 тыс. м и почти 18% на расстоянии 3 тыс. м).	В относительных величинах увеличение концентрации пыли в воздухе на различных расстояниях от хвостохранилища при вариации его высоты составляет от ~50 до ~150%.
В «ближней» зоне хвостохранилища отсутствует однозначность утверждения об увеличении опасности загрязнения атмосферы с ростом высоты хвостохранилища.	Заметное увеличение уровня опасности указывает на возможность возникновения пылевых бурь и на необходимость аккуратных оценок при принятии ответственных решений по изменению высоты пляжа для реальных объектов пыления (например, хвостохранилище вблизи г. Апатиты).

Как видно из представленного анализа, имеется заметное различие в полученных результатах. Причем недоучет физических зависимостей (интенсивность пыления от высоты) приводит к недооценке потенциальной опасности в «дальней» зоне и переоценке опасности в «ближней» зоне таких объектов для окружающей среды. Таким образом, можно сделать вывод: для обоснования решения по изменению высоты дамбы хвостохранилища АНОФ-2 от отметки 180 м до 200 м целесообразно осуществить трехмерное численное моделирование переноса загрязнений, что позволит иметь объективные оценки предлагаемого решения по прогнозу потенциального воздействия на атмосферу района г. Апатиты. Обозначенный авторами вывод нашел свою поддержку в решении Координационного совета по промышленной и экологической безопасности [2], предложившего выполнить исследование по оценке влияния увеличения проектной высоты пляжа хвостохранилища АНОФ-2 на загрязнение приземного слоя атмосферы в районе г. Апатиты. Первые результаты выполняемых научно-исследовательских работ представлены ниже.

### Состояние исследований по созданию трехмерных цифровых моделей

Достаточно непростой оказалась задача, связанная с построением источника пыления. Потребовалось неоднократное уточнение значений геометрических характеристик хвостохранилища и его формы. Результатом выполненных работ явился обоснованный и согласованный набор базовых геометрических параметров источника пыления с учетом водоема. Приняты во внимание следующие геометрические характеристики хвостохранилища: генеральное заложение низового 1:4; длина хвостохранилища по гребню дамбы ~ 11 тыс. м; площадь зеркала 325 га; пляжи основного поля хвостохранилища по данным на 2011–2012 гг. составляют ~ 420–405 га. Таким образом, при отношении продольного и поперечного размеров хвостохранилища 2:1 модель пылящей поверхности хвостохранилища представляет собой эллипс с вырезанным зеркалом водоема, который задан в форме прямоугольника.

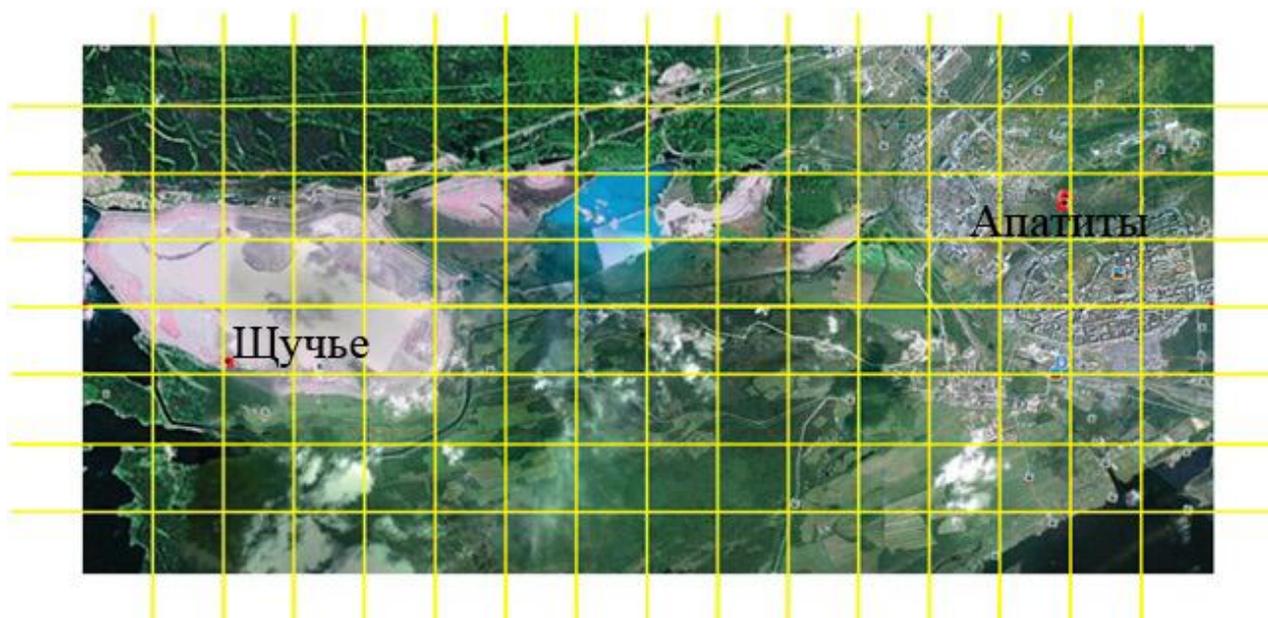


Рис. 4. Сетка для оцифровки района площадки [GOOGLE EARTH]

На базе интернетовских карт GOOGLE EARTH района «хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты» с шагом сетки 500–700 м (рис. 4) подготовлен файл исходных данных, необходимых для создания геометрии моделируемой области в среде COMSOL. В качестве реперной высотной отметки принимается поверхность о. Имандра (126 м). Очевидно, что помимо самого объекта пыления и г. Апатиты в модели должны быть учтены предгорья Хибин и некоторые возвышенности. Было предпринято несколько попыток создания геометрии моделируемой области. Предполагаемая к использованию геометрия модели (15000x7000 м) в целом отвечает данным карт *GOOGLE EARTH*, естественно, без конкретизации деталей рельефа. Отметим, что «модельерам» постоянно приходится помнить и выбирать между желаемой точностью

выполнения расчетов и возможностями компьютерной техники. Наибольшие опасения вызывало достижение устойчивого счета в численных экспериментах по расчету поля скорости над сильно неоднородной орографической поверхностью большого масштаба.

Несмотря на хорошие вычислительные характеристики задействованного компьютера (ASUS K95VJ) даже при сетке крупнее, чем нормальная (рекомендуемая разработчиками программного продукта COMSOL), размер требуемой для выполнения расчетов оперативной памяти достигает 5 Гб. Дальнейшее увеличение разрешения модели приведет к операциям записи на диск и существенному возрастанию времени счета, что с учетом неопределенностей по ряду параметров модели представляется нецелесообразным.

В качестве примера на рис. 5 представлены первые результаты расчетов по тестированию созданных аэродинамических моделей. В частности, на рис. 5 при северо-западном ветре для высоты пляжа хвостохранилища 180 м приведены структура поля скорости воздушных потоков, а также распределение в одном из сечений модели (+1 м от поверхности пыления) коэффициентов турбулентной динамической вязкости. Детальный анализ распределений компонентов вектора скорости в различных областях модели, обтекания природных и техногенных препятствий воздушным потоком, изменений в значениях по пространству модели коэффициентов турбулентной динамической вязкости свидетельствует о достаточно объективной картине расчетных аэродинамических параметров модели.

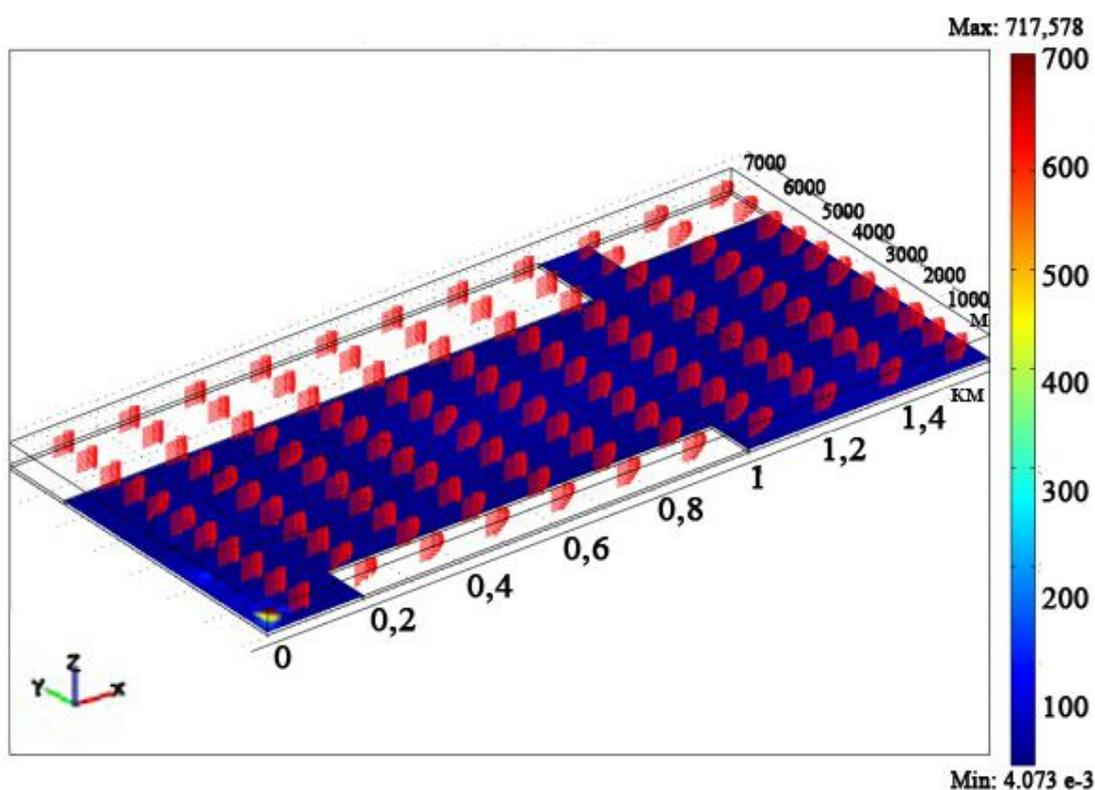


Рис. 5. Структура поля скорости и распределение коэффициента турбулентной динамической вязкости района площадки «хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты» в сечении +1 м от поверхности пыления (высота пляжа 180 м)

## Выводы

Отмечая актуальность проблемы, связанной с пылением хвостохранилищ и загрязнением атмосферы при определенных метеорологических ситуациях, авторы методами численного моделирования предприняли исследование влияния высоты пляжа хвостохранилища на уровень концентрации пыли по направлению ветрового потока. Рассмотрено два условия по интенсивности пыления: постоянное значение мощности источника и учет линейной зависимости мощности источника загрязнения от высоты и соответственно скорости ветра у

пылящей поверхности. Проанализированы пространственные распределения разнодисперсной примеси при вариации высоты пляжа хвостохранилища от 20 м до 40 м (с шагом 10 м).

Для условия линейной зависимости интенсивности пыления отмечено, что действительно с ростом высоты хвостохранилища уровень концентрации загрязнения вниз по потоку (более 100 метров от источника) на высоте человеческого роста возрастает. Причем этот рост на разных расстояниях неравномерен и в относительных единицах меняется от 50 до 150% по отношению к «эталонному» загрязнению от хвостохранилища высотой 20 м.

Таким образом, рост высоты пляжа хвостохранилища всего на 20 м существенным образом увеличивает концентрацию пыли на уровне человеческого роста вниз по потоку движения воздуха. А значит, при принятии решения по изменению высоты пляжа на объектах пыления должны быть выполнены строгие оценки по прогнозу воздействия на приземный слой атмосферы.

Авторы выражают надежду, что выполняемые в настоящее время исследования по созданию трехмерных цифровых моделей аэрогазодинамики района «хвостохранилище АНОФ-2 – г. Апатиты» позволят оценить потенциальное изменение загрязнения приземного слоя атмосферы в районе г. Апатиты при увеличении проектной высоты пылящей поверхности хвостохранилища АНОФ-2 с отметки 180 м до 200 м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спасем город Апатиты от пыли хвостохранилища АНОФ-2. Режим доступа: <http://www.hibiny.com/forum/viewtopic.php?p=258231>. Загл. с экрана. 2. Решение Координационного совета по промышленной и экологической безопасности Мурманской области №9 от 10 декабря 2012 г. 3. *Бакланов А.А.* Численное моделирование в рудничной аэрологии // Апатиты: КФАН СССР, 1988. 200 с. 4. *Baklanov A.* Environmental modeling of dusting from the mining and concentration sites in the Kola Peninsula, Northwest Russia / *A. Baklanov, O. Riggins* // The XI World Clear Air and Environment Congress, 14–18 September 1998, Durban, South Africa, IUAPPA-NACA // Durban. 1998. Vol. 1, 4F-3, P. 1-18. 5. Russian COMSOL page. URL: <http://www.humusoft.com/produkty/comsol/ru/>.

#### Сведения об авторах

*Маслобоев Владимир Алексеевич* – д.т.н., профессор, директор института;

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

*Бакланов Александр Анатольевич* – д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник ИППЭС; руководитель проекта DMI (Danish Meteorological Institute); e-mail: [aabaklanov@yahoo.com](mailto:aabaklanov@yahoo.com)

*Мазухина Светлана Ивановна* – к.х.н., ст.н.с., зав. лаб.; e-mail: [mazukhina@inep.ksc.ru](mailto:mazukhina@inep.ksc.ru)

*Амосов Павел Васильевич* – к.т.н., ст.н.с., старший научный сотрудник;

e-mail: [vosoma@goi.kolasc.net.ru](mailto:vosoma@goi.kolasc.net.ru)

УДК 39(=511.12)

## ГЕНДЕРНАЯ СТЕРЕОТИПИЯ В КОНТЕКСТЕ ЭТНОКУЛЬТУРНОЙ СИТУАЦИИ: ЖЕНЩИНЫ-СААМИ В РУССКОЙ ЭТНОГРАФИИ

**И.А. Разумова**

Центр гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН

#### Аннотация

Рассматриваются представления о гендерных и семейных ролях народов, являющихся субъектами этнической ситуации на Кольском Севере. Автор основывается на результатах текущих исследований сотрудников Центра гуманитарных проблем КНЦ РАН. Основное внимание уделяется рецепции гендерных, супружеских отношений у аборигенного саамского населения представителями русской культуры в различные исторические периоды на материале этнографических письменных источников. Выявляется, что этническая стереотипия коррелирует с гендерной (сексуальной). Саамская культура представлена как женская. Вариативность и историческая динамика стереотипии данного ряда – индикатор состояния социальной среды в регионе в тот или иной период, свидетельствуют об изменении культурных дистанций между представителями этнических групп с различным статусом.

## Ключевые слова

*саамы, русская этнография, гендерные роли, сексуальность, стереотипы, этнические контакты.*



В настоящее время уже не требует дополнительной аргументации тот факт, что взаимные представления этнических общностей друг о друге, программируя соответствующее поведение и способы коммуникаций индивидов и групп, во многом определяют этническую ситуацию в том или ином регионе. Они сказываются на характере и направленности не только культурно-политических инициатив этнических субъектов, но и управленческих решений. В силу данного обстоятельства изучение этнической стереотипии, факторов ее формирования и динамики не может утратить актуальности.

В структуре этнических представлений свое место занимают более или менее устойчивые идеи и образы, связанные с организацией социального пространства другого народа, неизбежно включающего гендерные роли и статусы [1]. Этнический образ обретает известную гендерную определенность. Проблематика, касающаяся корреляции «этничности» и «сексуальности», роли «этносексуальности» как в размывании, так и в укреплении границ между народами, в последнее 10-летие разрабатывается достаточно продуктивно [2]. В исследованиях западных коллег речь идет преимущественно о практиках транснациональных взаимодействий, базирующихся на соответствующих гендерных моделях. Учитывая высокий уровень мобильности населения и современную миграционную ситуацию, в которую, так или иначе, вовлечены все регионы России, названный аспект межэтнических отношений заслуживает пристального изучения, в том числе ретроспективного, на локальном материале любого уровня.

При всей полиэтничности Кольского Севера можно выделить несколько основных этнических субъектов, которые формировали и формируют этническую обстановку в регионе на разных исторических этапах его развития. Динамика этнической ситуации на Кольском Севере преимущественно изучается в последнее 10-летие в Центре гуманитарных проблем Баренц-региона Кольского научного центра РАН [3–9]. В данном случае мы избрали для рассмотрения лишь один фрагмент системы представлений народов, являющихся субъектами этнической обстановки на Кольском Севере. Он связан с рецепцией гендерных, супружеских отношений у аборигенного саамского населения представителями русской культуры, особенности которой выявляются на материале этнографических письменных источников.

Как показало исследование О.А. Бодровой [3–5], один из основных факторов, влияющих на формирование образа саамов в русской культуре, – этнографическая литература 2-й половины XIX века. Интерес к саамской культуре был во многом вызван геополитическим фактором и управленческими инициативами. На Кольском Севере именно в этот период (с 1860–1870-х гг.) начинают интенсифицироваться колонизационные процессы. Саамы характеризуются как народ традиционного типа культуры, отличающегося от типа модернизированного, и заданность этой дихотомии приводит к известным противоречиям, в том числе при обращении к области гендерных отношений.

Женщина в традиционной культуре рассматривается почти исключительно сквозь призму института семьи, с которым связаны ее функции. Описание саамской семьи во всех источниках 2-й половины XIX – начала XX вв. почти совпадает текстуально и включает следующие компоненты: характеристику мужчины-саама как семьянина, оценку супружеских взаимоотношений, характеристику женщины-саами, а также примеры отношения к детям. В целом, семья саами характеризуется этнографами 2-й половины XIX – начала XX вв. как традиционно-патриархальная. Вместе с тем отмечается относительно высокий статус жены и матери, основанный на разделении семейных обязанностей и экономических функций: «женщина, как мать, является с некоторым значением в семье; по понятиям Лопарей, ее власть над детьми даже выше власти отца. Однако муж может распоряжаться ее именем, и полною хозяйкой она становится только по смерти мужа до совершеннолетия детей, хотя и тут власть ее над отцовским и дедовским имуществом ограничена: она не может из него ничего продать, кроме одного оленя. После смерти отца дети не могут разделиться без согласия матери <...>. Все приобретенное трудом составляет общую собственность семьи; приданое составляет собственность той, с кем оно пришло, и ее мужа» [10, с. 30]; «В домашнем

хозяйстве жена распоряжается только одною рыбою, муж же распоряжается пищею и оленьим мясом, но приданое дочерей накапливается как отцом, так и матерью, а где семья состоит из нескольких братьев или дядей с племянниками, то хозяйство у каждого свое, а имеют только общий стол и наибольший хозяин считается старшим в роде и жена его считается старшею» [11, с. 58]. «Классическая» патриархальная модель модифицируется в соответствии с типом хозяйственного уклада. Более высокая степень независимости женщины связана с тем, что ее хозяйственная деятельность, включая в себя все домашние заботы, ими не ограничивается. Очевидно, круг экономических функций женщины в семье сужался и расширялся в зависимости от времени годового хозяйственного цикла и вида жизнеобеспечивающего занятия: морского промысла, оленеводства. Писатель С.В. Максимов отмечал в саамских женщинах «трудолюбие и домовитость, которые немало способствуют тому, что и дети воспитываются в некоторой патриархальной чистоте нравов: мальчик лопарь до совершеннолетия живет большею частью дома и не отпускается на трудные мурманские промыслы. Сама же лопарка всегда дома. На ее обязанности лежит приготовление пищи» и т.д. [12, с. 223]. Но это лишь с одной стороны. С другой стороны, этнографы, которые углубленно изучали образ жизни и хозяйственную деятельность саамской семьи в 1920-е гг., указывают на включенность женщины в основные традиционные занятия. По мнению В.К. Алымова, «у лопарей и мужчина, и женщина равны и в семье, и в хозяйстве, и во всей жизни» [13, с. 36]. Женщина не занималась охотой, в оленеводстве и рыболовстве выполняла роль «помощницы», вела все домашнее хозяйство и воспитывала детей. Одновременно, по замечанию другого этнографа, «на многих из них лежит исполнение работы не только женской, но отчасти и мужской, заключающейся иногда в заготовке топлива, рыбной ловле и лесоразработках» [14, с. 78]. При такой конфигурации распределения труда саамская женщина, как описывает В.К. Алымов, «так же умело управляет оленями, так же лихо несется на санях по тундре во время мороза и снежной пурги, как и ее муж, брат или сын»; она по многу часов не выпускает весел из рук при дальних поездках на карбасе, тянет невод, вынимает сети; косит сено «горбушей». Вместе с мужем и детьми она отправляется на заработки, живут в ковасе\*, она управляется с хозяйством [13, с. 38]. Полукочевой образ жизни определил относительное равноправие женщины: хозяйство мужчины и женщины было нераздельно, и семья сопровождала мужчин во всех передвижениях [15, с. 143]. Косвенное подтверждение отсутствия мужского «всевластия» – указания на то, что почитание старших мужчин хотя и было нормой, но отнюдь не абсолютной и отчасти ориентированной на межличностные отношения: «К старикам, пользующимся в погосте достаточным уважением, как родственники, так и соседи относятся всегда хорошо и в затруднительных случаях неоднократно прибегают к их советам. Старики же с крутым и грубым нравом почти всегда теряют право на уважение к себе не только со стороны соседей, но и со стороны детей. Такие случаи, хотя редко, но бывают. Мною наблюдался случай в Йокангском погосте, когда при наличии у старика 3-х сыновей никто из них не мог ужиться с отцом продолжительное время. Даже материальная помощь со стороны сыновей ему не оказывалась» [14, с. 83].

Относительно благоприятное общественно-правовое состояние саамской женщины этнограф Н.Н. Волков справедливо связал с историческим фактором, указав, что «не было исторических предпосылок к принижению женщины. Саамы не знали наступательных войн, не обогащались за счет побежденных и не имели рабов и рабынь. С другой стороны, женщины почти наравне с мужчинами принимали участие в важнейших отраслях хозяйственной деятельности, к тому же не давших особенного перевеса в экономическом значении мужчины» [16, с. 55]. Саамскую культуру можно условно отнести к культурам «женского типа», в которых более или менее уравнивается статусно-правовое гендерное неравенство. Характеристики внутрисемейных отношений, сделанные полевыми этнографами в разные годы, подтверждают это: «Любовь и ласка среди лопарей может проявляться во всевозможных формах: муж, любящий свою жену, делает ей после удачных промыслов подарки, уделяет лучший кусок пищи, исполняет часть тяжелой работы и всячески старается делать ей что-либо приятное» (1927 г.) [14, с. 84]; «Во всех важнейших намерениях и делах саам советуется с женой и нередко, как мне приходилось наблюдать, делит с ней чисто женский труд» (1930-е гг.) [16, с. 55]; «В семейном быту лопаря до сих пор больше мира и согласия, чем споров и вражды. Жена не находится у мужа в положении рабыни; наоборот, лопарь любит свою жену, старается угождать ей подарками, и можно наблюдать, как в Коле какой-нибудь старый лопин покупает подарок для своей старушки. Жена

---

\* Коваса – кувакса – переносное разборное жилище из жердей, покрываемых парусиной.

для мужа советница и в очень многом постоянная верная помощница» (1911 г.) [17, с. 74–75]. М. Кастрен, предпринявший поездку в Лапландию в 1938 г., писал об энарских саамах: «Благочестие горного Лопаря обнаруживается еще неограниченной любовью к жене, детям и домочадцам. Один горец рассказывал мне, что в течение 30-летнего своего супружества он не сказал жене ни одного бранного слова; напротив, обращался к ней всегда с ласковым словом: «loddadsham» (по фин. lintuiseni – моя птичка). Я сам видал, с какой любовью горные Лопари, возвращаясь ввечеру от оленей своих или из путешествия, целуют и ласкают жену и детей» [18, с. 80].

Таким образом, известное гендерное выравнивание в отношении статуса и власти сказывается на образе мужчины-саами. Он приобретает черты «мягкости», «ласковости», «терпеливости» и т.п. в той степени, в какой эти свойства оказываются заметными (превышающими привычную норму) с позиций иноэтнического наблюдателя. Судя по русским описаниям, мужчина-саами не склонен к конфликтам, лишен какой бы то ни было агрессивности. По высказыванию врача и бытописателя Ф.Г. Иванова-Дятлова, проявление злобы у лопарей «ограничивается только перебранками, реже легкими побоями, которые скоро забываются» [14, с. 84]. Если исходить из строгой патриархальной модели, то названные проявления, можно сказать, «не в счет», и типичные для русских гневные реакции в отношении домашних отсутствуют: «Упустит женка-ямщик весло в воду, дело плохое: лови весло по беспокойному озеру; русский бы выругался, рассердился, закричал – лопарь смеется сам же над собой. Для лопарей надо переделать русскую пословицу: не чужую, а свою беду руками разведу» [17, с. 95]. В этом смысле влияние русских оценивается негативно, и В.В. Немирович-Данченко ссылается на мнение самих саами: «У нас допрежь и не слыхано было, чтоб муж жену бил. Совет, да любовь в семье у нас. А лопарь Ананьин, что меж кандалакшскими колонистами поселился, бьет жену на смерть, за груди ее щиплет, поленом охаживает. Дело не бывалое! Теперь это как язва по нашей тундре пойдет!» [19-1, с. 158]. Бесконфликтное и детски-спокойное существование нарушается колонизаторами. С точки зрения многих дореволюционных бытописателей, сознательно или неосознанно базирующихся на руссоистском восприятии аборигенного народа, в этом заключается одно из главных противоречий колонизационного процесса: «Мы считаем это мирное, кроткое племя дикарями, но скажем, положи руку на сердце, кто дикарь – наш ли крестьянин, всегда готовый поколотить свою бабу, исполняя это как священную обязанность свою, или честный и вежливый лопарь, рыцарски нежный со своею женой, сестрой и дочерью?» [12, с. 67].

Известное смещение традиционной гендерной оппозиции наблюдается в характеристиках «нрава» и личных качеств саамских мужчин и женщин русскими этнографами. У мужчин не выражены черты маскулинности, у женщин – слабости и подчиненности. Парное характерологическое описание, скорее, соответствует современному феминистскому распределению свойств: «Мужчины ленивы, от природы робки, нерешительны, на первый взгляд простодушны, малоразговорчивы в трезвом виде и словоохотливы в пьяном, но всегда осторожны в разговоре. В семейной жизни ласковы, временами вспыльчивы, но отходчивы, несколько наивны. Не отличаясь большим практическим умом, имеют некоторую склонность к личной наживе и пр. Характер женщин несколько другой. Женщины трудолюбивы, более болтливы, чем мужчины, иногда кокетливы <...>, ласковы в семейной жизни, завистливы, по уму не уступают мужчинам» [14, с. 12]. «Живость» и «ум» как свойства, отличающие женщин-саами от мужчин, относятся к разряду типовых атрибутов: ««Лопарки вообще живее лопарей и на лицах женщин, пожалуй, больше прочтешь ума и живой мысли, чем у мужчин», – отметила В.Н. Харузина [20, с. 77–78]. Некоторое различие формулировок можно связать с гендерной принадлежностью этнографов, но в любом случае, признается достаточный уровень развития женщин, как минимум, «не уступающих» мужчинам. Еще в 1856 г. С.В. Максимов отметил, что саамские женщины владеют русским языком так же, как мужчины [12, с. 233].

«Ласковость в семейной жизни» и терпение, с которым преодолеваются бытовые трудности, объединяют супругов-саами в их коллективном портрете: «Слабый на вид лопарь ведет, однако, мужественно и безропотно тяжелую жизнь, несет большую работу. Верной помощницей ему в его неприглядной жизни является его жена» [21, с. 10]. Эта сочувственная характеристика дополняется еще одной объединяющей супругов чертой. Описывая семейные отношения, ряд авторов упоминают пьянство: «Даже в пьяном виде они (саамы) не бушуют. Группа пьяных лопарей производит весьма смешное впечатление, объятиям и поцелуям конца нет. На спиртные напитки падки как мужчины, так и женщины» [22, с. 75]. Семейные ссоры, которые все признают относительно редким явлением, закономерно связываются с данным обстоятельством: «Причина кроется главным образом в

нарушении супружеской верности, особенно со стороны мужчин. Семейные ссоры бывают чаще в пьяном виде. Муж, заподозривший свою жену в измене, старается застать ее на месте преступления и тогда избивает соперника. К этой мере прибегают чаще для того, чтобы избитый на глазах у всех мужчина от стыда и лишней огласки перестал ходить к чужой жене и на долгое время показываться на люди. Жене в этих случаях также достается» [14, с. 84].

Описанной картине противоречит устойчивое мнение о свободе сексуального поведения женщин-саами. Чаще оно обозначается как «гостеприимный гетеризм» и ассоциируется с архаической ритуальной практикой гощения. Упоминания об этом обычае и опровержения его содержат источники, начиная с XVI–XVII вв. (описания З. Герберштейна, Й. Шеффера). Российские этнографы XIX – начала XX вв. традиционно обращали внимание на этот аспект супружеских отношений, что способствовало поддержанию стереотипа об «отсутствии больших требований к супружеской верности», по формулировке Иванова-Дятлова. При этом наблюдаются противоречия «свидетельских показаний». Если С.В. Максимов утверждал, что «промышленники русские все единогласно хвалят целомудренность лопарских женщин» [12, с. 223], то большинство авторов, очевидно, придерживались иной точки зрения. «В древние времена был широко распространен у обеих групп лопарей гостеприимный гетеризм, который не мог остаться без влияния на их тип. В настоящее время легкостью нравов лопарок пользуются как шведы и норвежцы, имеющие деловые отношения с лопарями, так и карелы и русские, как постоянно живущие в Лапландии, так и те, которые приезжают лишь на время промыслов на Мурманский берег», – пишет этнограф Д.А. Золотарев, дополнительно ссылаясь на материалы Н.Н. Харузина [23, с. 146–147]. Н.Н. Волков осторожнее констатирует наличие гендерной асимметрии, противоречащей стереотипу классической моногамной семьи, в которой мужу дозволено больше, чем жене: «По отношению к своим женам саамы примерные мужья, но зато многие путешественники у жен находят качества обратные, объясняя их религиозным или гостеприимным гетеризмом и тому подобными пережитками» [16, с. 55].

Сомнительно наличие каузальной связи между конкретной архаической ритуальной практикой и нестрогим соблюдением норм моногамного брака в отношении сексуального поведения, когда оно фиксируется у семей, ведущих определенный образ жизни в определенных исторических условиях. Менее стереотипно представлено положение дел Ф.Г. Ивановым-Дятловым, который не был профессиональным этнографом. После описания супружеских ссор из-за измены, он замечает: «На измену жены или мужа в период осеннего сбора оленей, когда большая часть мужчин, разбредаясь по тундре, заходит на ночлег в чужую стоянку и здесь вступает в половую связь с посторонней женщиной, смотрят снисходительно. Эти случаи, по словам самих лопарей, среди Пулозерских оленеводов нередки» [14, с. 84]. Ситуация, таким образом, становится равновесной в отношении обоих супругов и относится к периоду периодических (сезонных) разъединений семьи, то есть детерминируется образом жизни и превращается из ритуализованной в обыденную. Далее сельская повседневность предстает в следующем виде: «в каждом погосте восточной части Кольского п-ова найдется не одна, а несколько женщин, легко вступающих в половую связь с посторонними мужчинами, главным образом с неженатыми парнями, доводящими иногда свою связь до полной гласности во всем селении. По словам одной лопарки, поводом к началу измены у женщин служит пристрастие к бражке, неудачная семейная жизнь при пожилom муже и обилии ребят. Мужчин толкает на половую жизнь с посторонними легкая доступность замужних женщин и частое злоупотребление спиртными напитками» [14, с. 84–85]. В этом описании и перечне мотивов супружеских измен, высказанных самой жительницей, уже трудно усмотреть какую-либо этническую специфику.

Если судить по текстам, то вариативности норм сексуального поведения в браке противостоит их строгость в отношении добрачного периода жизни женщины. В.В. Немирович-Данченко в этой связи ссылаясь на мнение русских поморов: «Девкам только лопским плохо... Воли той нет, что у колянок. Простору нет, негде ей разойтись. Мать у них никуда не пускает девку. В оба за ней смотрит. Даже рыбу лопка пойдет ловить, а мать тут же на бережку сидит да присматривает. Потому, коли у нас девка гуляет, по-нашему сраму нет, а если у них – беда. Бывало дело, что матери топились от стыда, как девки ихние с парнями спугывались. У них строго. Ежели кто испортит девку, жениться должен. Если он откажется, мать сейчас же к его родным обращается. Ну, те заставляют жениться, хотя бы он богат был, а она бедная. Если и при этом он не обвенчается, то мать и отец отказываются кормить ее. Ступай, куда хочешь» [19-2, с. 120–121]. Такую же картину отметили этнографы в конце 1920-х гг.: «Лопарские девушки до вступления в брак в большинстве случаев целомудренны, и что половая связь их с

мужчинами в восточных погостах встречается, как редкое явление. <...>. Вступление в половую связь до церковного брака или регистрации между женихом и невестой обычно не происходит. В случаях, когда обстоятельства требуют совместного сна в одной рове, родственница со стороны невесты ложится на ночь между женихом и невестой и так делает до тех пор, пока брак не будет узаконен» [14, с. 85]. Вместе с тем оценка бытописателями наказания девушек за прелюбодеяние различается. Соответственно меняется и интерпретация. По мнению А.Я.Ефименко, наказание «только» насмешками и изгнанием из родительского дома – мягкое, и оно свидетельствует о «нестрогости» нравов, как и то, что соблазненный обычно женится на ней [10, с. 59]. Те же обстоятельства другими этнографами (мужчинами) истолковываются противоположным образом. Относительно более свободные в поведении лопарские девушки сопоставляются с целомудренными фильманскими [10, с. 59] или – спустя полвека – с ижемскими: «На вечеринках девицы сидят отдельно, парни – отдельно. Не принято, чтобы девицы разговаривали, шутили или смеялись с парнями. Лопарки держатся несколько проще, свободнее, но ижемки, как куклы в витрине, рассядутся и сидят, не улыбаясь, не шевелясь, не смотря по сторонам» [24, с. 27].

По этнографическим данным разного времени, саамы – и мужчины, и женщины – достаточно легко вступали в смешанные браки с представителями этносов-соседей. В частности, русские охотно брали в жены женщин-саами, поскольку, как писал В.К.Алымов, «лопки – хорошие хозяйки и привычны без мужа вести хозяйство, что для рыбака или зверобоя, надолго отправляющегося на промысел, очень ценно» [25, с. 9–10]. Во всех случаях побеждала оседлая культура в лице ее представителей: «Лопарка, вышедшая замуж за русского или за финна, перестает быть лопаркой; лопарь, переходящий к оседлой жизни и женившийся на русской, сам вскоре становится русским» [26, с. 99–100]. Так на уровне метафорическом саамская культура обретает черты известного гендерного статуса. С точки зрения «колониального» взгляда на вещи, данное распределение облегчает взаимодействие титульного («сильного») и аборигенного («слабого») народов, оправдывает культурное и политическое доминирование и «цивилизационную миссию» в отношении автохтонов.

Изменение традиционного образа жизни с переходом на оседлость по-разному сказалось на мужчинах и женщинах саами. Как отмечал в 1930 г. В. Чарнолуский, если в передвижениях лопарей вместе с семьей, передвижным жилищем и необходимой утварью лопарь-мужчина находил максимум «комфорта» в семейной обстановке, то с появлением постоянных жилищ он лишился и того минимума «удобств», которыми обладал. Женщина же, вообще семья, с появлением туп (стационарных срубных жилищ) приобрела максимум «комфорта», возможного при современном культурном уровне саамов [15, с. 121].

Представление о том, что женщина выполняет функции главы семьи, в настоящее время сказывается на семейном самосознании и моделях поведения в семьях саами, внешних оценках; оно включается в этнический образ народа и связано с его внешним восприятием. Считается, что саамские женщины очень самостоятельны, относительно легко выбирают и отвергают мужей или обходятся без них; они более мобильны, сильнее мотивированы к получению образования и социально активнее, чем мужчины\*, а также имеют «мужские» привычки (пьют и курят, хотя и реже, чем мужчины). Во всех этих смыслах они в высшей степени современны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Этнические стереотипы мужского и женского поведения. СПб: Наука, 1991.
2. Nagel J. Race, Ethnicity and Sexuality: Intimate Intersections, Forbidden Frontiers. New York: Oxford University Press, 2003.
3. Бодрова О.А. Влияние колониальной идеологии на подходы к этнографическому описанию автохтонных народов Российской империи // Кольский Север в XX–XXI вв.: культура, наука, история. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. С. 90–99.
4. Бодрова О.А. Образ саамов в русской этнографической литературе второй половины XIX века. К проблеме субъективности этнографического описания // Северяне: проблемы социокультурной адаптации жителей Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. С. 36–41.
5. Бодрова О.А. Специфика описания культуры саамов в русской этнографической литературе второй половины XIX века // Вестник Поморского университета. Серия «Гуманитарные и социальные науки». Архангельск: Поморский гос. ун-т, 2008. С. 8–11.
6. Виноградова С.Н. Общины коренных малочисленных народов Севера на территории Мурманской области: проблемы и перспективы // Население Кольского Севера в период социальных трансформаций: проблемы и практики культурной адаптации. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. С. 25–44.
7. Змеева О.В. «Новый дом» вдали от родины: этнические мигранты на Кольском Севере. Апатиты: КНЦ РАН, 2011.
8. Петров В.П. К истории развития гуманитарных исследований в Кольском научном центре РАН / В.П. Петров, И.А. Разумова // Человек в социокультурном пространстве: Европейский Север России. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 5–17.
9. Петров В.П. Проблемы и перспективы социально-

\* Большинство саамских общественно-культурных организаций в области возглавляют женщины.

антропологических исследований этнокультурной ситуации на Кольском Севере / В.П. Петров, И.А. Разумова // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 108–118. **10. Ефименко А.Я.** Народные юридические обычаи лопарей, карелов и самоедов Архангельской губернии. СПб., 1877. **11. Дергачев Н.** Русская Лапландия. Статистический, географический и этнографический очерки / сост. Н. Дергачев. Архангельск: Издание Арх. губ. стат. комитета, 1877. **12. Максимов С.В.** Год на Севере. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во 1984. **13. Алымов В.К.** Лопари. М., 1930. **14. Иванов-Дятлов Ф.Г.** Наблюдения врача на Кольском полуострове (11 января – 11 мая 1927 г.). М., 1928. **15. Чернолуцкий В.В.** Материалы по быту лопарей: Опыт определения кочевого состояния лопарей восточной части Кольского полуострова. Л., 1930. **16. Волков Н.Н.** Российские саамы. Историко-этнографические очерки. Каутокейно. СПб., 1996. **17. Дурылин С.** За полуночным солнцем. По Лапландии пешком и на лодке. М., 1913. **18. Кастрен М.А.** Путешествие в Лапландию в 1838 году // Собрание старых и новых путешествий. Ч. II. Путешествие Александра Кастрена по Лапландии, северной России и Сибири (1838-1844, 1845-1849). М., 1860. **19. Немирович-Данченко В.И.** Страна холода: в 2 т. СПб., 1903. **20. Харузина В.Н.** На Севере. Путевые воспоминания. М., 1890. **21. Харузина В.Н.** Лопари // Читальня народной школы. Журнал с картинками. СПб., 1902. Вып. 11. ноябрь 1902. С. 1–38. **22. Гебель Г.Ф.** Наша Лапландия. СПб., 1909. **23. Золотарев Д.А.** Кольские лопари. Труды Лопарской экспедиции Русского географического общества по антропологии лопарей и великорусов Кольского полуострова. Л.: Ан СССР, 1928. **24. Рихтер З.** По Лапландии. М.: 1929 (Б-ка «Огонек», 413). **25. Алымов В.К.** Об ассимиляции лопарей // Вестник Карело-Мурманского края. 1925. № 17–18. С. 7–10. **26. Адымов В. К.** Рождаемость и смертность лопарей Кольского полуострова // Кольский сборник. Л.: АН, 1930 / Материалы Комиссии экспедиционных исследований. Вып. 23. С. 71–101.

### Сведения об авторе

Разумова Ирина Алексеевна – д.и.н., гл. научный сотрудник;  
e-mail: irinarazumova@isc.kolasc.net.ru

УДК 572.08+391+397+646

## ОСОБЕННОСТИ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ ВИЗУАЛЬНЫХ АСПЕКТОВ КУЛЬТУРЫ КОЛЬСКИХ СААМОВ (НА МАТЕРИАЛЕ ЭТНОГРАФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ XVIII - НАЧАЛА XX ВВ.)

О.А. Бодрова

Центр гуманитарных проблем Баренц-региона КНЦ РАН

### Аннотация

Рассматриваются особенности и способы репрезентации визуальных аспектов образа кольских саамов в русской этнографии XVIII – начала XX вв. Основные компоненты образа саамов составляют представления о природе Лапландии, антропологических данных, одежде и жилище. Специфика описания этих элементов заключается в характеристике культуры саамов как традиционной, воспринимаемой отечественными этнографами «дикой», «природной», экзотичной по сравнению с русской культурой.

### Ключевые слова:

*саамы, этнический образ, русская этнография, антропология, национальная одежда, традиционное жилище.*



Основные компоненты образа саамов формируются из представлений об их типичной внешности, территории проживания, одежде, жилище, что соответствует общепринятым концепциям этнического образа [1, 2].

Первые представления о саамской культуре возникают у российских исследователей при столкновении с географическими, климатическими и природными факторами Кольского п-ова (конечно, не считая предварительного знакомства с письменными источниками об этом крае). В этнографических текстах описания природы Лапландии сопровождаются клишированными эпитетами «мертвенная», «унылая», «мрачная», «суровая»,

возникшими под влиянием текста «Калевалы» из сопоставления территории проживания саамов с эпической Похьелой. В репрезентации этнографов северная природа представляет собой «унылую, мертвую картину» [3, с. 7], отличительная черта которой – «тишина, безлюдье» [3, с. 10]. Изображение северной природы в мрачных красках обусловлено и географическими реалиями. Бедная растительность территории тундры, ее непригодность для сельского хозяйства обуславливают восприятие Лапландии как «страшной северной пустыни» [4, с.2].

Этнографы отмечают, что их негативные впечатления вызваны, главным образом, «дикостью» этого края, под которой они понимают отсутствие «признаков пребывания людей» [3, с. 7]. Малая изученность и освоенность Кольского полуострова, малочисленность саамского населения, отсутствие привычных для русских типов поселений, городов и деревень заставляют воспринимать Лапландию как «малоизведанную глушь» [5, с. 337], территорию «горных и прибрежных захолустий» [5, с. 337], «пустынную, малонаселенную страну, полную молчания» [6, с. 15]. Также можно отметить взаимосвязь между негативным восприятием северной природы и традиционным ведением хозяйства у саамов: «Номады-оленоводы обратятся в оседлых промышленников, и на месте нынешнего царства смерти и безлюдья возникнет живая и кипучая деятельность трудового населения» [7, с. 60].

Описанию мрачных картин природы Лапландии соответствует изображение тягот жизни саамов на фоне недружелюбной природы. Ее негативно окрашенные характеристики, описание саамской земли как бедной, бесплодной подчеркивают непригодность этого края для обитания и сглаживают тем самым остроту проблем, связанных с колонизацией Кольского Севера.

Если природные особенности Лапландии являются своего рода задним планом при репрезентации культуры саамов в этнографических источниках, то основными визуальными чертами их образа становятся антропологические характеристики. Этнографы единодушно указывают на такие антропологические особенности саамов, как круглая голова, длинные руки и туловище, а также большинство авторов придерживается мнения, что те в основном темноволосы и смуглы. Правда, некоторые писатели считают, что это происходит «от воздуха и дыму» [8–11]. В остальном антропологические характеристики саамов у разных авторов полны противоречий. Отдельные исследователи в своих работах пытаются представить реальное разнообразие антропологических типов: «Трудно дать описание типичного лопаря. По большей части они бывают маленького роста, благодаря чему многие из них не принимаются в военную службу. Женщины еще ниже мужчин. На вид они крепки, коренасты и здоровы. Голова коротка и совершенно круглая <...> Лицо очень широкое, расплывчатое. Кожа смуглая, темная, но не столько сама по себе, сколько от постоянной грязи и копоти. Волосы прямые и короткие, по большей части светлые, русые; но встречаются и черные и рыжеватые. Усы и борода обыкновенно растут плохо, как у других финских народов. Глаза маленькие, маловыразительные, чаще серо-голубоватого цвета. Нос широкий и короткий, часто вздернутый. Но бывают и выше среднего роста, с правильным овальным лицом, прямым носом, с длинной окладистой бородой» [10, с. 28].

При описании внешности саамов часто подчеркиваются такие качества, как малый рост, худощавое, даже слабое телосложение, которому соответствуют болезненные черты лица: «Эти впалые щеки, маленький печально и остро скривившийся рот, длинный кривой подбородок, совершенно заостренный и с редкой бородой, – ясно обнаруживают природные недостатки и слабость народа» [12, с. 16], «Некрасивый, малорослый и слабосильный народ лопари. Лица у них невзрачные, серые, ноги короткие, согнутые; движения не отличаются ловкостью и красотой» [6, с. 8]. Интересно, что признак природной слабости у саамов начинает подчеркиваться в источниках со второй половины XIX в., что хронологически совпадает с интенсификацией колонизационного процесса на Севере. Не считая упоминания Ломоносова о том, что «ростом лопари малы и силою слабы» [13, с. 92], остальные авторы в XVII – начале XIX вв. изображают саамов обычно как вполне здоровых, крепких людей: «Росту они среднего <...> От суровой своей жизни бывают они сложением крепки, проворны и изгибчивы» [8, с. 4], «...они малорослы, головы у них большие, шеи короткие, лица румяные, глаза красновато-карие, волосы темно-русые, короткие и бороды короткие, зубы желтоватые, но чистые» [14, с. 187]. Даже среди авторов периода активного освоения Кольского п-ова некоторые пишут про саамов, что они «среднего роста, коренастые и крепкие» [15, с. 223]. Очевидно, в таких случаях их портрет зависит от источников, которыми пользовались исследователи, и просветительских идей последних, в соответствии с которыми акцентируемая физическая «слабость» саамов свидетельствует об их низком положении в культурной иерархии народов Российской империи и ведущей роли русских, которые на правах «старших братьев» должны взять на себя миссию по опеке младшего, более слабого этноса.

Следует отметить, что описание внешности саамов в большинстве источников имеет гендерные ограничения: антропологические характеристики получают только представители мужского населения. Исключение составляет характеристика В.Н. Харузиной, которая приводит свои общие впечатления от внешности саамских женщин: «Лопарки вообще живее лопарей и на лицах женщин,

пожалуй, больше прочтешь ума и живой мысли, чем у мужчин» [6, с. 177–178]. Другие авторы в отношении саамских женщин единодушно отмечают только такие черты, как малый рост и миловидность [5, 7, 8, 16, 17 и др.].

В этнографической литературе о саамах дореволюционного периода встречаются источники, авторы которых приводят точные антропологические данные. Первым отечественным антропологом, который в 1877 г. провел измерения среди саамского населения, был А.И. Кельсиев. Исследователь указал в своих очерках основные антропологические особенности саамов, объясняющие некоторые противоречия в описании их внешности: низкий рост и длинные руки (относительно длины ног); большое по длине и по ширине туловище, придающее лопарю крепкий, коренастый вид; брахицефальную форму головы; темно- и светло-русые волосы; широкие скулы; широковатый, короткий, слегка вогнутый нос; малую растительность на лице; белый цвет кожи и т.д. [17: 498]. Затем антропологические данные о внешнем виде лопарей приводит Н.Н. Харузин, который суммирует противоречивые характеристики отечественных и зарубежных исследователей и воспроизводит описание Кельсиева в качестве наиболее точного образца [3, с. 56]. В начале XX в. профессиональные измерения антропологических особенностей кольских саамов проводит И.Н. Шмаков, выводы которого в целом совпадают с характеристикой Кельсиева [18, с. 31–34].

Важное место в структуре этнического образа саамов занимают те этнографические реалии, которые связаны с представлениями о бытовых особенностях этого народа. Российские исследователи XVIII – начала XX вв. большое внимание уделяют описанию саамской одежды и жилища. Самое обстоятельное описание саамской одежды, историю заимствования ее отдельных предметов у русских, а также сходство и различие в одежде между кольскими и зарубежными саамскими группами приводит Н.Н. Харузин. В этом вопросе исследователь опирается не только на работы скандинавских авторов, но и на труд В.П. Верещагина. Последний представляет интерес для изучения образа саамов не только богатством этнографических подробностей о саамской одежде, но и особенностями ее репрезентации в изложении не столько научном, сколько бытовом. Так, в восприятии В.П. Верещагина, одежда саамов «проста до чрезвычайности» [19, с. 89], несмотря на довольно сложную технологию изготовления и украшения, которые воспроизводит сам же автор.

В целом в описаниях российских этнографов одежда саамов подразделяется на зимнюю и летнюю. Все этнографы пишут о том, что основу зимнего костюма у мужчин составляют *печок* (подобие малицы), *яры* (сапоги) и шапка, которые шьются из оленьего меха. Летом печок заменяется на *юлу* (рубашку), имеющую такой же глухой покрой, но сшитую из сукна. На голову надевается вязанный из шерсти колпак, на ноги – *нюреньки* (подобие туфель без каблуков с загнутыми вверх носками), имеющие зимний вариант – *каньги*. Женская зимняя одежда у саамов, по описаниям этнографов, практически не отличается от мужской. Летом женщины носят юбки и *кохты*, напоминающие по покрою русские сарафаны. Обувь такая же, как у мужчин. Девушки носят заимствованные у русских повязки, расшитые бисером. Женский наряд всегда украшен: цветными лоскутками, вышивками, бисером или стеклярусом. Саамские женщины охотно носят ожерелья, серьги, кольца, перстни, но главное щегольство состоит в кресте довольно большого размера, который зажиточные носят на серебряной цепи [9, с. 5].

Из всех предметов саамского национального костюма, как женского, так и мужского, больше всего внимания уделяется головному убору, который носили замужние женщины, – *шамширу*, ставшему своего рода символом саамской культуры в этнографических текстах. Н.Н. Харузин описывает его как цилиндр, обтянутый цветным сукном и расшитый бисером, разноцветными лоскутками, иногда жемчугом, надо лбом и на затылке у которого находятся «полуэллипсисные возвышения», нагнутые вперед и назад соответственно [3, с. 94]. Шамшир вызывал у российских этнографов самые разные ассоциации. Его сравнивали со шлемом Афины Паллады [3, с. 92; 20, с. 260], с шлемом древнего рыцаря [15, с. 225], с каской пожарного или шлемом Троянских героев [21, с. 7]. Одно из самых подробных описаний шамшира, отражающее его своеобразие в глазах российского исследователя, принадлежит В.И. Немировичу-Данченко: «Женщины носят убор, поразительно напоминающий каски, в которых являются на сцену пресловутые карабинеры в «Разбойниках» Лекока. Эти каски, с торчком стоящим языком, украшены всем, что только есть у лопарки: медными пуговицами, бусами, галунами, стеклышками, кусочками зеркал, металлическими шариками. Щеголихи буквально сгибаются под тяжестью своего оригинального головного убора. У одной лопарки я видел его украшенным сплошь старинными серебряными рублями. Многие из них усвоили

себе русский костюм, но и они не могут расстаться с этою каской <...> Малорослых, хотя и красиво сложенных лапландок чрезвычайно портит этот громадный мавзолей, сооружаемый ими над головой» [7, с. 67–68].

Несмотря на то, что большинство авторов подробным образом изображают национальный саамский костюм, из письменных свидетельств очевидцев, имеющих опыт личного общения с саамами, становится понятно, что подобные описания сделаны главным образом по другим источникам, так как уже к середине XIX в. большинство саамского населения заимствовало многие предметы одежды у русских. По словам исследователей, современные им саамы оставляют свою национальную одежду и носят «что попадет: шляпы, шапки, немецкое платье и проч.» [22, с. 70], «что придется: русские кафтаны, куртки и даже сюртуки» [10, с. 32]. Д.Н. Островский рассказывает, как во время его визита к священнику К.П. Щеколдину в комнате собралось более десятка лопарей, ни один из которых не имел национального костюма, все они были одеты «в черного сукна сюртуки, такие же панталоны, ботинки и пуховые шляпы. Некоторые имели при себе серебряные часы» [23, с. 3].

Национальные костюмы, имеющие много общего со шведской и финской одеждой и воспринимающиеся как «красивые» [21, с. 8], сохраняются у тех саамов, которые проживают в глубине Кольского п-ова и не сталкиваются с русскими промышленниками [21, с. 8]. Распространенные посредством этнографической литературы представления о внешнем облике саамов, которые, судя по сложившимся стереотипам, и в XIX в. носят свой национальный костюм, приводят к тому, что, столкнувшись с повсеместным заимствованием русской одежды, этнографы испытывают даже некоторое разочарование: «Вы думали видеть странные национальные костюмы, а вместо того навстречу вам вышли мужички, правда очень маленькие, большею частью безбородые и узкоглазые, но одетые так, как одеваются все жители Беломорского побережья» [21, с. 6]. Восприятие аутентичной саамской одежды как «красивой», но «странной», экзотичной усиливается в характеристике внешнего облика саамов, сделанной архангельским губернатором А.П. Энгельгардтом, сравнившим их со сказочными персонажами: «Типичный лопарь – низкого роста, приземист, на ногах у него большие башмаки вроде колодок, ноги закутаны суконною тряпкою, перевязанною бечевкою, одет он в суконную серую куртку, на голове вязаный шерстяной колпак с кисточкою на конце, борода клином; в общем, фигура похожа на гнома, как их рисуют на картинках при изображении подземного царства» [22, с. 70].

Наряду с национальным костюмом, культурным символом саамов в представлении отечественных этнографов является традиционное жилище, которое становится одним из элементов этнического образа, а также показателем уровня культурного развития саамов. Как правило, в трудах исследователей XVIII–XX вв. встречаются описания *вежи* (жилища с усеченной вершиной и отверстием для дыма, построенного из кольев и покрытого корой, дерном и пр.), реже *тупы* (деревянного сруба) и *куваксы* (переносного жилья, используемого в период весенне-летних кочевок).

Чаще всего и наиболее подробно в этнографических источниках описывается устройство вежи. Между вежей и тупой этнографы проводят важное культурное различие. Тупа (или *пырт*) сменила вежу в качестве зимнего жилья. Если в прошлом вежа была зимним жилищем саамов, то уже в XIX–XX вв. саамы живут в ней преимущественно в летнее время, выстраивая в зимних погостах для себя деревянную тупу [5, с. 276]. Тупа представляет собой некое подобие русской избы, а потому в культурном отношении представляется российским исследователям более «цивилизованной», чем вежа – первоначальное постоянное саамское жилище. Н.Н. Харузин видит в тупе свидетельство перехода к полуседлости саамов [3, с. 96]. Если тупу исследователь называет постоянным домом, то вежу он характеризует как временное пристанище на местах промысла, а куваксу – как походное жилище [3, с. 97].

При описании вежи авторы прибегают к самым разным параллелям, позволяющим читателям лучше представить себе впечатление, которое она производит на очевидца. Вежа характеризуется как «землянка», четырехугольный или шестиугольный «шатер из жердей, крытый дерном» [5, с. 276], «шалаш» [3, с. 97], «маленькая пирамидка» [20, с. 265], большой шалаш «вроде самоедского чума» [22, с. 70]. В.И. Немирович-Данченко подчеркивает природное начало вежи, ее связь с местным ландшафтом. Он пишет, что летом, когда дерн, покрывающий вежу, зарастает травой, она издали кажется зеленым холмом [5, с. 276]. Согласно поговорке колян «в веже, что в бане – вениками пахнет» [5, с. 276].

Многие исследователи описывают тесноту, необустроенность, плохую вентиляцию в вежах: «В таком жилище холодно и копотно, дым ест глаза. Сидеть приходится, скорчившись на полу, на оленьих шкурах. В веже тесно и грязно; постели, домашний скарб, одежда, снасти лежат как попало» [6, с. 11], «Этот род землянки с вечно дымящимся костром посередине, вмещающий нередко семейство, состоящее из пяти-шести человек, составляет последнюю степень человеческого жилья. Только удивительно выносливая и неприхотливая натура лопаря в состоянии выносить весь смрад и ужас такого помещения. Несчастные избы в летнем погосте – дворцы в сравнении с этими вежами» [24, с. 13].

Представления о плохой вентиляции в саамском жилище, постоянном дыме и копоти распространены в большинстве этнографических источников, однако они неоднозначны. С одной стороны, авторитетные исследователи пишут о том, что «вежи всегда наполнены дымом, и надобно иметь особенную привычку, чтобы пробыть в ней несколько часов» [9, с. 6]. Н.Н. Харузин подтверждает эти сведения: «Лежит в веже в беспорядке и домашняя посуда, и одежда, и принадлежности лова, тут же и постели. Вся семья помещается здесь, в страшной грязи, копоти и вони. Дым, распространяющийся по веже и не сразу выходящий через отверстие, ест глаза – и неудивительно, что лопари страдают глазными болезнями, что у них часто глаза воспаленные» [3, с. 100]. С другой стороны, М.М. Пришвин, побывавший в саамской веже, утверждает, что воздух в ней хороший, а вентиляция превосходная [20, с. 265–266].

Тупа по сравнению с вежей представляла собой более удобный вид жилья и выглядела как простой бревенчатый дом с плоской крышей, отапливаемый *камельком* (подобием камина). Камелек считался очень практичным, так как он не дымит, быстро нагревает избу, отлично ее вентилирует и удобен для просушки мокрого платья, согревания воды и приготовления пищи [25, с. 85–86]. Если в веже семья располагалась на полу, то в тупе появляется деревянная мебель, полки с посудой. В этнографической литературе встречается мало информации о летних погостах (поселениях) саамов. Зато описания тупы часто сопровождаются характеристиками специфики устройства зимних погостов: «Лопарская деревня, или погост, как можете вы сами заключить, решительно не походит ни на какую, даже самую бедную из наших деревень. Пирамидальные вежи, или кубические тупы, разбросаны в величайшем беспорядке, по произволу хозяев; между ними нет ни плетней, ни заборов, потому что нет дворов и огородов; не возвышаются там, как в наших деревнях, куполы церквей» [19, с. 57–58], «Лопарские поселения называются погостами и обыкновенно располагаются по берегам рек и озер. Они бывают зимние и летние. В зимнем погосте у каждой семьи имеется теплая хижина, называемая пыртом или тупой» [10, с. 33]; «Да, это и есть лопарский погост. Полузаваленные снегом, сиротливо стоят четырехугольные деревянные срубы (тупа, пырт) с плоскими, односкатными крышами, засыпанными для тепла землей и снегом» [15, с. 223]. В источниках часто упоминается дистанционное расселение саамов: «Лопари все живут в одиночку, верст через 5–10 по 1 семье» [26, с. 1].

Одно из первых подробных описаний тупы было сделано Н.Н. Харузиным: «Пырт – четырехугольный бревенчатый сруб с плоской крышей, засыпанной землею; сквозь дверь входят в маленькие сени, из которых ведут две двери, направо в нежилое помещение, где держат обыкновенно овец; налево в жилую комнату, где и помещается вся лопарская семья. Размер этой комнаты не больше квадратной сажени, высота не более одной сажени, так что пырт представляет из себя почти что куб. в углу, у двери, поставлен камин (камелек), сложенный из неотесанных камней довольно грубо на глине или извести; камелек обыкновенно выбелен; от полукруглого отверстия, куда ставят дрова стоймя, идет широкая труба, выпускающая дым наружу» [3, с. 99]. Как видно из слов исследователя, это описание вполне нейтрально и не содержит отрицательных характеристик, однако в более поздних источниках текст Харузина был пересказан с добавлением новых подробностей, имеющих явно негативные коннотации. Жилая комната характеризуется как «грязная и полутемная» [10, с. 33–34], тупы в погосте стоят «сиротливо», сени – «крошечные» [15, с. 222], «в пырте грязно и душно» [там же, с. 223], «в углу иконы и иногда плохие картины» [там же], «одно, редко два окна пропускают мало света; вместо стекол в них вставлена слюда» [там же].

Описание вежи и тупы в этнографических текстах довольно стереотипно. В целом с помощью характеристик этих видов саамского жилья подчеркиваются бедность и плохие условия жизни. Об этом свидетельствуют внешний вид жилищ и расположение их в поселении. Д.Н. Бухаров, характеризуя пазрецких саамов, сопоставляет их «приниженный, убогий вид» с «жалкими жилищами –

тупами, в беспорядке разбросанными в некотором отдалении от церкви» [24, с. 3]. В изображении саамского жилища чаще всего подчеркиваются такие признаки, как бедность, разрушение, грязь: «Беспорядок и грязь, господствующие в лопарских жилищах, не поддаются описанию» [27, с. 69]. Из всех реалий саамского быта этнографы чаще всего подчеркивают грязь и запах, указания на эти атрибуты саамского жилища становятся едва ли не формульными.



*Семья саамов Кольского уезда на фоне куваксы (из книги В.Н. Харузиной «Лопари», 1902)*

Последний вид саамского жилья – кувакса, которая использовалась только во время сезонных перекочевок (рис.).

В этнографических источниках XVIII – начала XX вв. описание куваксы встречается довольно редко. Это понятно, если учесть, что авторы этих текстов не присутствовали во время промысловых перемещений саамов. Основу куваксы составляли жерди, которые ставились в круг и обтягивались парусиной или мехом. Посередине разводился огонь, вокруг него стелились олени шкуры. Парадоксальным образом исследователи саамской этнографии куваксе уделили мало внимания. На страницах этнографических источников встречались в основном словесные описания и фотографические изображения вежи, что свидетельствует об ее устойчивом ассоциировании с культурой саамов в

представлении российских исследователей. Именно она стала для них символом полукочевого образа жизни, хотя кувакса явно больше подходит на эту роль, так как в отличие от вежи, которая была для саамов постоянным домом, именно кувакса представляет собой кочевое жилище, которое «примирилось не только с ландшафтом, но и с дорогой» [1, с. 177]. Редко упоминаются в этнографических описаниях и оригинальные хозяйственные постройки саамов, располагающиеся высоко на стволах или корнях деревьев.

Итак, репрезентация визуальных аспектов образа саамов в российской этнографии имеет ряд особенностей. При описании своих впечатлений от знакомства с жизнью кольских саамов авторы этнографических источников сталкиваются с известными ограничениями: невозможностью лично засвидетельствовать многие культурные реалии из-за труднодоступности саамских погостов и проведения полевых исследований преимущественно в летний период. Изображение культуры саамов отличается высокой степенью стереотипии и клишированности в силу зависимости от письменной традиции. В своих текстах исследователи демонстрируют некоторую предвзятость к традиционному способу ведения хозяйства у северных народов и воспринимают многие факты культуры саамов как «дикие». Под этой характеристикой подразумевается как близость саамов к природным условиям, так и оценка их культуры как «примитивной», «варварской», противопоставленной по уровню развития европейской цивилизации. Так как визуально наблюдаемые факты саамской культуры разительно отличаются от привычных для российских исследователей собственных культурных образцов, их репрезентация в этнографических описаниях XVIII – начала XX вв. приводит к экзотизации образа кольских саамов, а также несет в себе не только этнографическую, но и идеологическую информацию в том, что касается вопросов колонизации Кольского Севера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чеснов Я.В. Лекции по исторической этнологии. М., 1998. 398 с.
2. Cornelia Rothfuchs-Schutz. Die Darstellung des Fremden in Ethnologischen Ausstellungen // *Etnologie als Sozialwissenschaft*. 1984. Sonderheft 26. S. 478–487.
3. Харузин Н.Н. Русские лопари. М., 1890. 472 с.
4. Пиге А.Е. Северное Поморье [Европейской России]: (лопари, самоеды, зыряне и рус. промышленники). М. 1873. 74 с.
5. Немирович-Данченко В.И. Страна холода: виденное и слышанное. СПб., М., 1877. 526 с.
6. Харузина В.Н. Лопари // Читальня народной школы. Журнал с картинками. СПб., 1902. Вып. 11, ноябрь. С. 1–38.
7. Немирович-Данченко В.И. Лапландия и лапландцы: публичные лекции, читанные в 1875 г. в Санкт-Петербургском педагогическом музее. СПб., 1877. 228 с.
8. Георги И.И. Описание

всех в Российском государстве обитающих народов: Также их житейских обрядов, вер, обыкновений, жилищ, одежд и прочих достопамятностей. Ч. 1. О народах финского племени. СПб., 177–1777. 89 с. **9. Козмин К.В.** Лапландия и лапландцы: (Из жизни Архангельского севера). Архангельск, 1915. 13 с. **10. Львов В.Н.** Русская Лапландия и русские лопари: Географический и этнографический очерк. М., 1903. 82 с. **11. Дурьлин С.Н.** За полярным солнцем. По Лапландии пешком и на лодке. М., 1913. 120 с. **12. Дергачев Н.** Русская Лапландия. Архангельск, 1877. 61 с. **13. Ломоносов М.В.** Труды по русской истории, общеэкономическим вопросам и географии. 1747–1765 гг. М.; Л., 1952. Т. 6. 690 с. **14. Пошман фон А.П.** Архангельская губерния в хозяйственном, коммерческом, философическом, историческом, топографическом, статистическом, физическом и нравственном обозрении, с полезными на все оные части замечаниями. Архангельск, 1866. Т.1. 196 с. **15. Спасский К.** Лопари // Русская земля. (Природа страны, население и его промыслы). Сборник для народного чтения. Т. 1. Область крайнего севера. СПб., 1899. С. 222–231. **16. Кастрен М.А.** Путешествие в Лапландию, Северную Россию и Сибирь. 1841–1844 // Собрание старых и новых путешествий. Ч. 2. Путешествие Александра Кастрена по Лапландии, северной России и Сибири (1838–1844, 1845–1849). М. 1860. С. 63–196. **17. Кельсиев А.И.** Антропологический очерк лопарей // Известия Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. М. 1879. Т. XXXV, 4.1. Вып. 4. **18. Шмаков И.Н.** Материалы для антропологии русских лопарей: Опыт этнографического и медико-антропологического исследования. СПб., 1909. 72 с. **19. Верещагин В.П.** Очерки Архангельской губернии. СПб., 1849. 415 с. **20. Пришвин М.М.** За волшебным колобком (Из записок на Крайнем Севере России и Норвегии) // Собр. соч.: В 8 т. М., 1982. Т. 1. С. 181–386. **21. Русские народы:** Нарисованы пером и карандашом. Ч. 1. Европейская Россия: Вып. 1–3. М., 1894. 14, VII с. **22. Энгельгардт А.П.** Русский Север: Путевые записки. СПб., 1897. 258 с. **23. Островский Д.Н.** Лопари и их предания. Сообщение Д.Н.Островского. (Читано в Отделении Этнографии 4 ноября 1888 г.). Перепечатано по распоряжению ИРГО из 25 тома «Известий Общества». СПб., 1889. С. 316–332. **24. Бухаров Д.Н.** Поездка по Лапландии осенью 1883 года. СПб., 1885. 345с. **25. Путеводитель по Северу России:** Архангельск. Белое море. Соловецкий монастырь. Мурманский берег. Новая земля. Печора. СПб., 1898. 146 с. **26. Кельсиев А.И.** Поездка к лопарям. Письма и предварительные отчеты Комитету. М., 1878. 13 с. **27. Гебель Г.Ф.** Наша Лапландия. СПб., 1909. 314 с.

### Сведения об авторе

*Бодрова Ольга Александровна* – к.и.н., научный сотрудник; e-mail: bodrovae@rambler.ru

УДК 620.9 (470.21)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОГЭС В УДАЛЕННЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРА

**В.А. Минин, О. Е. Коновалова, Е.А. Иванова**

Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН

### Аннотация

Дана гидрографическая и гидрологическая характеристика малых и средних рек Кольского п-ова. Рассмотрены преимущества и предпосылки строительства микроГЭС для удаленных потребителей региона. Приведены их технические и стоимостные показатели.

### Ключевые слова:

*гидроэнергетические ресурсы, современные отечественные и зарубежные микроГЭС.*



Мурманская область богата гидроэнергетическими ресурсами. Здесь насчитывается более 107 тыс. озер с общей площадью зеркала 8195 км<sup>2</sup>, 10 водохранилищ и около 21 тыс. рек общей протяженностью 60485 км. Большинство рек (19597) имеют длину менее 10 км и относятся к разряду малых. Они составляют 95.1% от общего числа

водотоков, а их суммарная длина 61.2% от общей длины всех рек. Только 15 рек Кольского п-ова имеют протяженность более 100 км. Их суммарная длина составляет 4% от общей длины водотоков. Рек, имеющих протяженность более 200 км, в области только 4 – Иоканьга (202 км), Стрельна (213 км), Варзуга (254 км) и самая длинная река Поной (426 км).

Реки Кольского п-ова относятся к бассейнам Баренцева и Белого морей. Водораздел проходит с запада на восток – от государственной границы с Финляндией к горлу Белого моря через Сальные, Хибинские, Ловозерские тундры и горную гряду Кейвы. Главные реки текут на север и на юг, в широтном направлении протекает лишь р. Поной и частично Иоканьга.

Население Мурманской области рассредоточено по территории неравномерно. Основная масса проживает в городах и поселках городского типа, вблизи железной дороги. Но в то же время, согласно последней переписи населения (2010 г.), в области насчитывается 112 сельских населенных пунктов, в 104 из них число жителей не превышает 1 тыс. чел., а в некоторых не доходит даже до сотни человек. Значительная часть этих поселков находится на побережье Белого и Баренцева морей, часть располагается в центре полуострова в Ловозерском и Кандалакшском районах. Все они входят в зоны децентрализованного электроснабжения. В табл. 1 приведена численность постоянно проживающего населения в некоторых из таких поселений.

Численность населения некоторых малых поселений Мурманской области (по данным переписи 2010 г.)

Название населенного пункта	Численность населения, чел.	Административный район
п.г.т. Умба	5532	Терский
с. Оленица	27	
с. Варзуга	363	
н.п. Маяк Никодимский	3	
с. Кузомень	84	

Окончание таблицы 1

с. Кашкаранцы	79	Терский
с. Тетрино	18	
с. Чаваньга	87	
с. Пялица	14	
с. Чапома	81	
с. Ловозеро	2828	Ловозерский
п.г.т. Ревда	8186 (2012 г.)	
с. Краснощелье	491	
с. Каневка	94	
с. Сосновка	58	
г. Островной	2038	ЗАТО Островной
н.п. Лумбовка	39	
н.п. Корабельное	12	
н.п. Святой Нос	4	
н.п. Мыс Черный	14	
н.п. Маяк Городецкий	16	
н.п. Маяк Терско-Орловский	5	
н.п. Ёнский	1700	Ковдорский
с. Ёна	400	
н.п. Риколатва	300	
н.п. Куропта	100	
н.п. Лейпи	400	

специального назначения, частные фермерские хозяйства, рыбопроизводные предприятия, туристические базы и т.д.

Электроснабжение большинства этих населенных пунктов осуществляется от дизельных электростанций, а теплоснабжение – от котельных. Постоянный рост цен на топливо и значительная удаленность от железной дороги приводят к снижению рентабельности энергетических установок и повышению себестоимости электрической и тепловой энергии. Поэтому малая гидроэнергетика для таких поселков, куда подача электроэнергии по ЛЭП экономически невыгодна из-за малочисленности населения и низкой потребляемой мощности, рассматривается как альтернативный источник энергии, способный если не полностью снять, то в значительной степени уменьшить проблему транспортировки дизельного топлива.

Потенциальными заказчиками малых и особенно микроГЭС могут стать удаленные поселки, геологические станции, метеостанции, объекты

Многие реки Кольского п-ова порожисты. Встречаются водопады. Очень развита гидрографическая сеть. Множество болот и озер замкнуто и соединено протоками в огромные системы. Благодаря своей доступности реки Кольского п-ова часто посещаются туристами. Особым успехом среди иностранных туристов пользуются рыболовно-охотничьи базы, расположенные на реках бассейна Баренцева моря (реки Рында, Харловка, Восточная Лица), Терском берегу (реки Кица, Хлебная, Индель, Умба) и бассейне р. Поной (реки Ача и Пача).

Гидрографические и гидрологические характеристики вышеперечисленных рек бассейна Белого и Баренцева моря, а также их потенциальная мощность приведены в табл. 2 и 3.

Стоимость гидроэнергетического оборудования в России колеблется от 300 до 1200 \$/кВт. На импортное оборудование действует таможенная пошлина. Поэтому его стоимость выше – 500–2000 \$/кВт, а для низконапорных микроГЭС – 1–5 тыс. \$/кВт.

Использование малых и микроГЭС для обеспечения электроэнергией отдаленных населенных пунктов Мурманской области значительно дешевле и выгоднее, чем строительство линий электропередач или эксплуатация дизельных установок. Малые и микроГЭС в настоящее время могут быть рентабельными за счет упрощения схемы их управления и работы в автоматическом режиме без обслуживающего персонала.

Среди микроГЭС особого внимания заслуживают погружные микроГЭС круглогодичного действия. Такие ГЭС разработаны, например, в межфакультетской лаборатории Красноярского государственного технического университета (КГТУ). Они используют кинетическую энергию водного потока. Стоимость электроэнергии, выработанной такой станцией, в 5–8 раз ниже стоимости электроэнергии дизельных электростанций, окупаемость такой ГЭС составит 1.2–1.8 года. При серийном производстве и минимизации всех издержек рыночная стоимость микроГЭС мощностью 5 кВт, по мнению разработчиков, может составить 650–700 тыс. руб. Наплавная свободнопоточная микроГЭС устанавливается на любых плавательных средствах и использоваться в летнее время геологическими партиями, туристическими группами и другими потребителями. Эта ГЭС может быть установлена и стационарно на дне реки на якорях. Свободнопоточная микроГЭС работает параллельно с дизельной станцией, сокращая расход дорогостоящего топлива. Отсутствие земляных и строительных работ является большим ее преимуществом.

Таблица 2

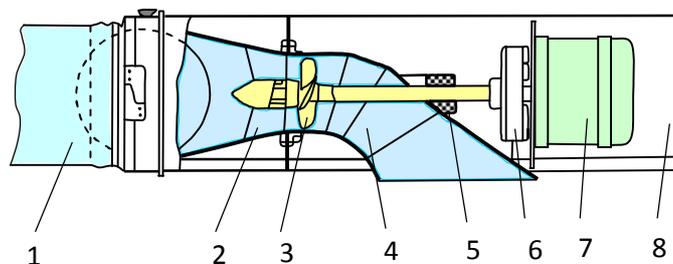
Гидрографические характеристики и потенциальная мощность некоторых малых и средних рек бассейна Баренцева моря, Белого моря и р. Поной [1–3]

Река	Начало реки, бассейн	Длина реки, км	Падение реки, м	Уклон Реки, ‰	Потенциальная мощность, МВт
Рында	оз. б/н., бассейн Баренцева моря	97.6	285.0	2.9	24.8
Харловка	оз. б/н., бассейн Баренцева моря	126.0	260.0	2.1 2.2	45.6
Восточная Лица	бассейн Баренцева моря	118.3	290.0	2.4 2.4	44.8
Индель	оз. Индель, бассейн р. Пана – притока р. Варзуга	23.4	37.2	1.6	2.5
Хлебная	между бассейнами рек Умба и Варзуга	28.7	111.0	3.9	2.3
Умба	оз. Умбозеро, бассейн Белого моря	124.8	151.6	1.2	79.8
Кица	бассейн оз. Умбозеро – р. Умба	36.8	54.3	1.5	0.5
Ача	бассейн р. Поной	79.5	131.2	1.6	6.7
Пача	бассейн р. Поной	26.1	–	–	–

Гидрологические характеристики малых и средних рек бассейна Баренцева, Белого морей и р. Поной

Река	Пост/ бассейн	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Среднегодовой		Годовой объем стока, млн м <sup>3</sup>
			модуль стока, л/с км <sup>2</sup>	расход воды, м <sup>3</sup> /с	
Рында	ст. Рында, 4.0 км от устья	1010	18.3	18.5	583
Харловка	ст. Харловка, 2.0 км от устья	1990	16.3	32.5	1025
Восточная Лица	с. Восточная Лица, 3.0 км от устья	1870	16.1	30.2	952
Индель	бассейн р. Пана – притока р. Варзуга	874	9.0	7.87	248,2
Хлебная	между басс. р. Умба и р. Варзуга	261	11.5	3.0	94,6
Умба	пор. Паялка, 3.7 км от устья	6470	12.5	81.0	2552
Кица	бассейн оз. Умбозеро – р. Умба	277	11.5	3.18	100,3
Ача	бассейн р. Поной, 5 км от устья	973	12.9	12.6	397
Пача	бассейн р. Поной	132	10.0	1.32	41.6

Для потребителей электроэнергии с передвижным характером работы могут применяться современные рукавные микроГЭС. В состав микроГЭС входят: водозаборник, напорный трубопровод и энергоблок. Напорный трубопровод состоит из нескольких быстроразборных секций, кроме того, микроГЭС комплектуется электрощитком, соединительными проводами и светильниками. Применение такой ГЭС ограничивается возможностью создания напора 3–6 м и расходом воды 50 л/с. Лучше всего она подходит для горных или холмистых местностей и водотоков с достаточно большим уклоном. Общая масса комплекта составляет 65 кг. Для работы станции в зимнее время трубопровод необходимо утеплять. Общая схема переносной рукавной микроГЭС представлена на рис. 1.



1 – водопровод напорный; 2 – направляющий аппарат; 3 – ротор;  
4 – проточная часть; 5 – уплотнение ротора; 6 – маховик;  
7 – генератор переменного тока со встроенным выпрямителем и  
регулятором напряжения; 8 – рама

Рис. 1. Рукавная переносная микроГЭС

Переносные рукавные микроГЭС выпускаются инженерно технической фирмой ОсОО "Гидропоника" (г. Бишкек), ИНСЭТ (г. Санкт-Петербург), АО Тяжмаш и другими. Характеристики некоторых рукавных микроГЭС приведены в табл. 4–6.

Из зарубежных разработок особенно интересными представляются гравитационно-водоворотная мини-ГЭС, предложенная австрийским изобретателем Францем Зотлётерером из

Оберграфендорфа, и модель портативной микроГЭС под названием Back Power Plant (BPP-1 и BPP-2) мощностью 500 и 600 Вт американской компании Bourne Energy.

Таблица 4

МикроГЭС фирмы ОсОО «Гидропоника»

	"Шар-Булак 1.0"	"Шар-Булак 1.7"	"Шар-Булак 5.0"
Мощность, кВт	1.0	1.7	5.0
Тип генератора	Асинхр. двигатель в генераторном режиме	Асинхр. двигатель в генераторном режиме	Асинхр. двигатель
Род тока	переменный	переменный	переменный
Напряжение, В	220	220	220/380
Частота, Гц	50	50	50
Расход воды, л/с	7-9	20	20-30
Напор, м	3.-4	6-7	8
Цена, \$	950	1500	2200

Таблица 5

Характеристики микроГЭС фирмы «ИНСЭТ»

Диапазоны			Стоимость пропеллерного агрегата, тыс. руб. (на 01.03.2012 г.)	Модель микроГЭС
мощностей, кВт	напоров, м	расходов, м <sup>3</sup> /с		
до 10	4-10	0.12-0.21	475	микроГЭС – 10Пр
до 15	6-12	0.12-0.303	525	микроГЭС – 15Пр
до 50	4-10	0.4-0.8	2500	микроГЭС – 50Пр

Таблица 6

Технические и стоимостные характеристики рукавных микроГЭС

	Луч-1	Луч-2	Луч-4	Луч-10
Мощность, кВт	1.0	2.0	4.0	10.0
Род тока	однофазный	однофазный	трехфазный	трехфазный
Напряжение, В	220	220	380	380
Частота, Гц	50	50	50	50
Масса энергоблока, кг	60	92	110	180
Габаритные размеры, мм	700x385x485	850x500x490	970x610x540	1155x850x750
Расход воды, л/с	40	50	85	145
Рабочий напор, м	5	6,5	8,5	10.0
Диаметр водовода, мм	150	180	210	270
Цена, тыс. руб.	50.4	90.7	172.9	390.0

Мини-ГЭС австрийского изобретателя состоит из специального канала, подводящего воду из русла реки по касательной к плотине, представляющей собой бетонный цилиндр. Далее вода падает в центр цилиндра, образуя водоворот, и закручивает турбину, находящуюся на глубине. Экспериментальный образец мини-ГЭС (рис. 2) имеет максимальную мощность 9.5 кВт, работает при напоре 1.3 м и расходе воды 1 м<sup>3</sup>/с. К.п.д. станции достигает 73%. Стоимость такой ГЭС составляет 75 тыс. \$. Скорость вращения турбины невысока, поэтому не представляет опасности для рыбы. Оптимальной изобретатель считает станцию мощностью до 150 кВт при напоре свыше 0.7 м.

Американская компания Bourne Energy разработала генераторы, по форме напоминающие торпеду. В ее корпусе размещается генератор, управляющая электроника с датчиками и система

охлаждения. Длина торпеды составляет 0.9 м, что позволяет ее легко переносить в рюкзаке. МикроГЭС крепится с помощью троса поперек реки или ручья с глубиной более 1.2 м. Также станция может подсоединяться к сети. Модель ВРР-1 разрабатывалась для гражданского населения, а ВРР-2 – для военных. Вес первой модели – 13.5 кг, второй – 11 кг. В целях маскировки ВРР-2 может монтироваться и на дне реки. При серийном выпуске таких агрегатов стоимость их может составить 3 тыс. \$.



*Рис. 2. Гравитационно-водооборотная мини-ГЭС*

В архиве компании Bourne Energy есть и более мощные генераторы: River Star, Tidal Star и Ocean Star, предназначенные для работы на реках, проливах и в открытом море соответственно. Проточный гидроагрегат River Star-50 мощностью 50 кВт (рис. 3) представляет собой капсулу с поплавком для удержания ротора на заданной глубине, плавником – стабилизатором, медленно вращающейся крыльчаткой, генератором и преобразователем напряжения. Устанавливается он на тросах, натянутых поперек реки под водой. Параллельно тросам идут кабели, передающие электроэнергию на берег. Компания Bourne Energy собирается запустить мелкосерийное производство таких агрегатов.



*Рис. 3. МикроГЭС фирмы Bourne Energy River Star-50*

Большинство малых и средних рек Мурманской области по своим гидрологическим характеристикам пригодны для эксплуатации на них микроГЭС. Они многоводны и скорость течения достаточна. К тому же микроГЭС не требуют создания больших напоров воды. На рис. 4 показаны возможные места для установки микроГЭС на рыболовных, охотничьих и туристических базах Мурманской области.

В зависимости от требуемой мощности и расхода реки можно подобрать множество вариантов микроГЭС для обеспечения необходимой выработки электроэнергии. Это достигается



## Сведения об авторах

*Минин Валерий Андреевич* – к.т.н., старший научный сотрудник, зав. лабораторией энергосбережения и возобновляемых источников энергии; e-mail: minin@ien.kolasc.net.ru

*Коновалова Ольга Евгеньевна* – старший инженер лаборатории энергосбережения и возобновляемых источников энергии; e-mail: konovalova@ien.kolasc.net.ru

*Иванова Елена Анатольевна* – старший инженер лаборатории энергосбережения и возобновляемых источников энергии; e-mail: ivanova@ien.kolasc.net.ru

УДК 004.9

## СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ АСПЕКТОВ БЕЗОПАСНОСТИ

**О.В. Фридман, А.Я. Фридман**

Институт информатики и математического моделирования  
технологических процессов КНЦ РАН

### Аннотация

На примере хвостохранилища обогатительной фабрики АНОФ-2 ОАО «АПАТИТ» и одной из задач диспетчерской службы энергетической системы региона кратко представлен ситуационный подход к управлению процессом моделирования на основе иерархической концептуальной модели объекта исследования. Разработанная ситуационная система моделирования включает встроенные специализированные ГИС и экспертную систему. Моделирование проводится в обобщенном пространстве состояний, включающем как строковые, так и числовые переменные, и позволяет использовать экспертные знания о степени опасности различных состояний объекта моделирования.

### Ключевые слова:

*динамический пространственный объект, ситуационное управление, концептуальная модель, ситуационное моделирование, принятие решений.*



В [1–3] описана ситуационная система моделирования (ССМ), разработанная в рамках технологии структурного анализа и конструирования с целью анализа и прогноза состояния природно-технических комплексов (ПТК), которые рассматриваются как многоуровневые иерархические системы в стиле общей теории систем [4]. Любая современная система моделирования ПТК должна включать в себя ГИС и поддерживать исследование динамики поведения ПТК. Более того, принципиальная неполнота знаний об объектах класса

ПТК существенно ограничивает применимость аналитических моделей и требует наличия средств использования экспертных знаний. По той же причине любая модель ПТК должна допускать оперативную модификацию для учета результатов уже проведенных этапов моделирования. Таким образом, необходимо интегрировать упомянутые формы представления знаний о ПТК в единую интеллектуализированную систему моделирования, сопровождающую открытую модель предметной области.

Ситуационная система моделирования функционирует на основе интегрированной концептуальной модели нестационарного природно-технического комплекса, ориентирована на автоматизацию всех этапов моделирования, широкое применение экспертных знаний, использование ГИС-технологии для графического представления составных частей объекта, постановки задачи и представления результатов моделирования, а также для выполнения пространственно-зависимых расчетов. ССМ предоставляет лицу, принимающему решения (ЛПР), алгоритмическую поддержку для обоснования его решений об изменении или сохранении структуры подчиненного ему объекта и в этом смысле является альтернативой экспертному совету.

При концептуальном моделировании ПТК допускается изменение понятий предметной области и связей между ними, что приводит к необходимости реконструкции модели и исключает априорное планирование вычислений. При этом возникают определенные трудности по адекватному преобразованию модели исследуемой системы от декларативного к программно-алгоритмическому представлению. Для решения таких проблем используют технологии типа CASE и CAD. Соответственно, системное наполнение средств поддержки моделирования должно предоставлять возможности оперативной корректировки состава программной системы и хода вычислительного процесса при изменении модели. С технологической точки зрения ССМ должна заполнить имеющийся пробел в средствах моделирования организационных систем в рамках структурного подхода к построению модели предметной области.

Опишем кратко основные части и принципы функционирования ССМ.

Для использования ССМ ПТК необходимо представить в виде иерархически упорядоченного множества *объектов* (составных частей). Эта иерархия должна отражать организационные взаимоотношения объектов. По положению в дереве объектов и на карте выделяются три категории объектов концептуальной модели предметной области (КМПО): примитивы, структурно неделимые с точки зрения глобальной цели моделирования, элементарные объекты, географически связанные с одним ГИС-элементом (полигоном, дугой или точкой какого-либо покрытия), и составные объекты, состоящие из элементарных и/или составных объектов.

После формирования иерархии объектов необходимо задать *ресурсы* (данные), которыми обмениваются объекты (сформировать списки входных и выходных ресурсов объектов). Множество ресурсов включает настроечные ресурсы, передаваемые вдоль дуг графа объектов и обеспечивающие корректность иерархии объектов, и "материальные" ресурсы, описывающие другие типы взаимодействий между объектами. Каждый входной ресурс должен либо порождаться другим объектом, либо помечаться как внешний, что означает его реализацию из некоторой базы данных или на выходе некоторой функции, заданной пользователем.

Подлежащие сопоставлению альтернативы реализации ПТК вносятся в модель на этапе ее конструирования либо путем декомпозиции некоторого объекта на подобъекты по типу "или", либо заданием альтернативных наборов ресурсов на входе некоторого объекта или процесса.

*Процессы* в КМПО отображают преобразования данных и реализуются различными способами в зависимости от типа исполнителя процесса. *Исполнитель* можно задать либо непосредственно (в виде разностного уравнения), либо косвенно – ссылкой на имя реализующего этот процесс программного модуля или встроенных в ССМ геоинформационной и экспертной систем. Логическая обработка данных реализуется посредством встроенной экспертной системы (ЭС), которую можно назначить исполнителем любого ресурса или процесса. Тогда этот ресурс или все выходные ресурсы этого процесса должны присутствовать в правых частях некоторого набора правил экспертной системы ССМ.

При построении интегрированных систем наиболее часто используется принцип взаимодействия по данным [5], который предполагает объединение двух и более самостоятельных систем в интересах решения одной прикладной задачи. В этом случае каждая подсистема выполняет собственные специфические функции, а взаимодействие между разными подсистемами реализуется путем обмена данными или доступа к одним и тем же информационным ресурсам. Взаимодействие по данным позволяет объединять практически самостоятельные подсистемы в интегрированную прикладную систему путем объединения функциональных возможностей разных подсистем. Однако в рассматриваемой задаче такой подход возможен, только если функции ГИС и ЭС независимы, то есть в процессе функционирования ГИС не задействуется ЭС, а в процессе логического вывода ЭС не задействуется ГИС.

Применения только принципа взаимодействия по данным в ССМ недостаточно, необходимо реализовать более сложный и гибкий принцип интеграции КМ взаимодействие по событиям, которое основывается на наличии управляющего ядра системы. В ССМ функции ядра выполняет КМПО. В таком случае схема функционирования интегрированной системы, которой является ССМ, выглядит следующим образом (рис. 1):

Здесь управляющее ядро системы в зависимости от события, связанного обычно с состоянием сценария функционирования системы в целом, инициирует работу нужной подсистемы.

Теперь рассмотрим разработанные приложения ССМ.

Хвостохранилище обогатительной фабрики АНОФ-2 ОАО «АПАТИТ» – территориально-распределенный ПТК, относящийся к классу систем с высокой потенциальной опасностью развития чрезвычайных ситуаций, которые могут вызвать серьезные последствия для природной и социально-экономической среды региона. На рис. 2 приведена упрощенная схема объекта исследования.

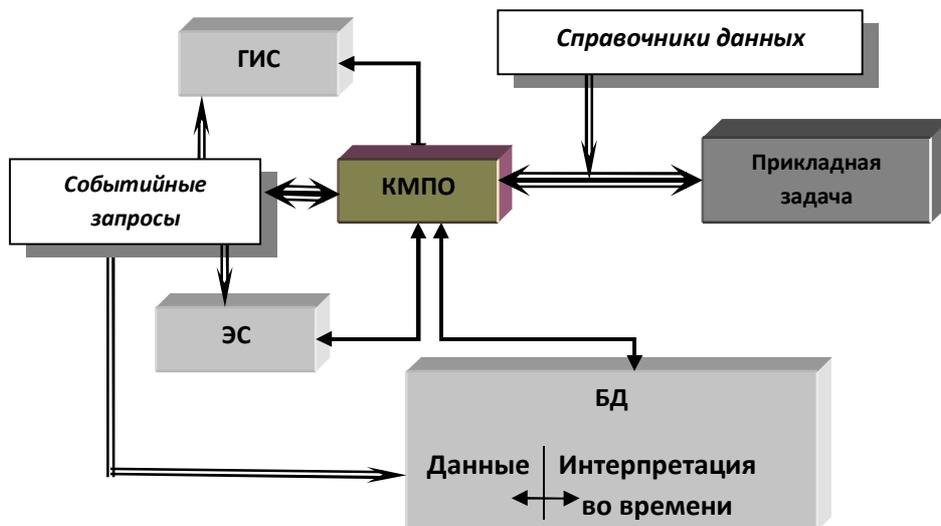


Рис. 1. Схема функционирования интегрированной системы

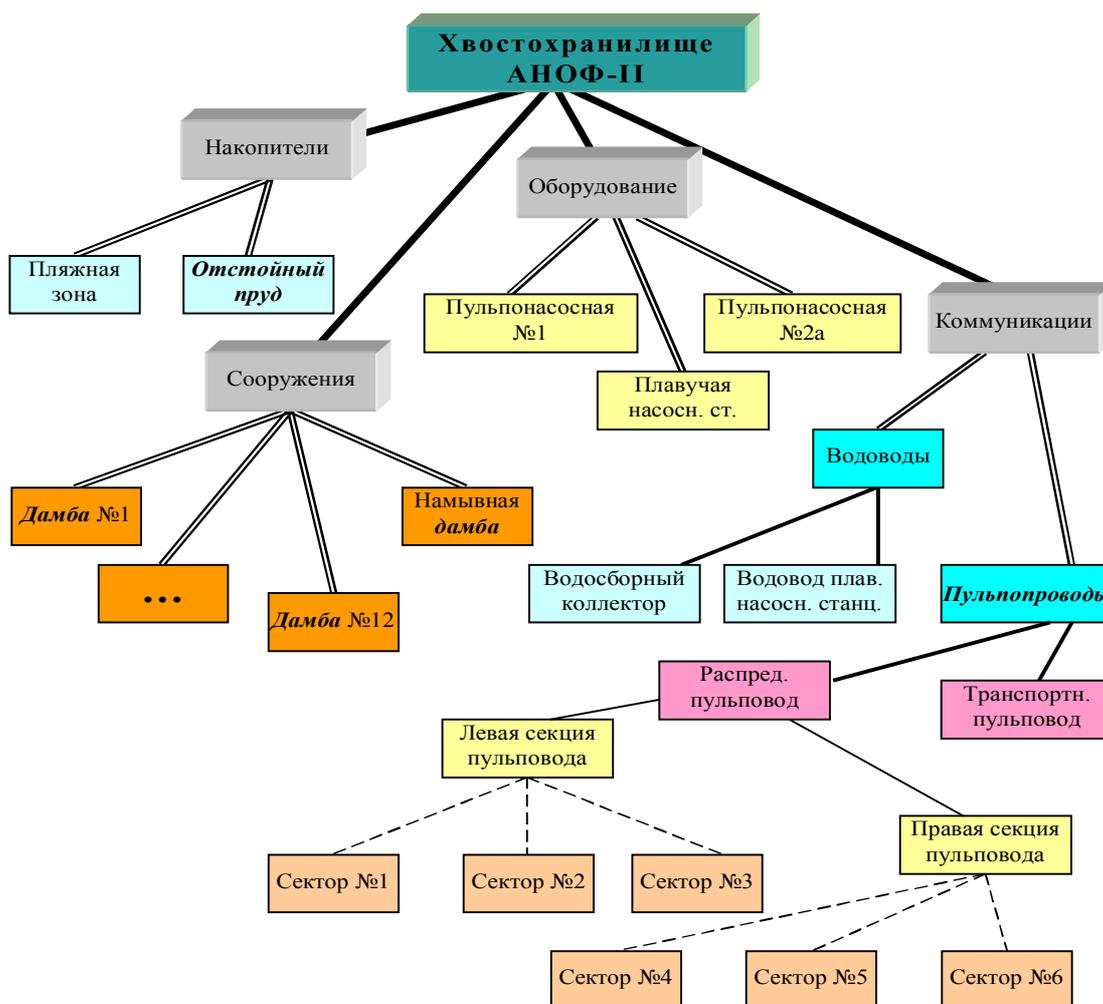


Рис. 2. Фрагмент концептуальной модели хвостохранилища АНОФ-2 ОАО «АПАТИТ»

Основными зонами риска хвостохранилища являются такие объекты, как отстойный пруд, окружающая его дамба, пульпопровод, которые находятся под постоянным воздействием природной среды. Перечислим основные характеристики этих объектов и связанных с ними опасностей.

*Отстойный пруд* имеет форму конусообразной чаши глубиной 170 м и площадью 4.96 км<sup>2</sup>. Поступающая в него пульпа подвергается разложению на воду и оседающую часть. Под воздействием факторов окружающей среды происходит испарение с поверхности пруда, а также увеличение уровня воды за счет атмосферных осадков. Вследствие водопроницаемости пород, образующих дамбы, возникает просачивание воды из пруда. Кроме того, часть воды уходит по водосборным колодцам на повторную обработку. Объект «Отстойный пруд» имеет привязку к ГИС-карте, поэтому вычисление площади поверхности и глубины пруда производится отдельным ГИС-процессом.

Основой *дамбы* (средняя высота 10–17 м) является крупнообломочный материал. Поверхностная часть ее образована намывными хвостами средней крупностью 0.128 мм. Намывные породы распределяются по дамбам пропорционально их площади. Все необходимые для расчета характеристики считываются с ГИС-карты. В случае превышения уровня воды в пруду над уровнем дамбы и/или вследствие прорыва пульповода, проходящего по ее гребню, происходит повреждение дамбы с возможной потерей ее работоспособности. Объем фильтрованных вод также рассчитывается с использованием ГИС-характеристик (протяженность дамбы, уровень воды в пруду, коэффициент фильтрации).

*Пульповод* представляет собой металлический трубопровод диаметром 1200–1400 мм, по которому осуществляется гидротранспорт хвостов от АНОФ-2 до хвостохранилища и по территории хвостохранилища. Распределительный пульповод оборудован выпусками диаметром 125 мм и оснащен шланговыми затворами, регулирующими слив пульпы. Вследствие оседания тяжелых частиц со временем внутренние стенки пульповода заиливаются, они также подвергаются коррозии, что приводит к разрушению трубопровода и возникновению аварийных ситуаций.

Климатические и погодные условия оказывают сильное влияние на объект исследования. В частности, в районе хвостохранилища выпадает значительное количество осадков, что создает дополнительную угрозу превышения объема воды в пруду над уровнем дамбы с последующим ее размывом и затоплением окружающей территории. На рис. 3 приведена схема распределения основных факторов, влияющих на изменение объема воды. Чтобы обеспечить безаварийное функционирование объекта, необходимо регулярно отслеживать изменение уровня воды в отстойном пруду.

Для решения этой задачи целесообразно использовать стандартные функции ГИС для работы с геометрией пространственных объектов. Параметры сооружений (геометрическая форма, глубина и площадь пруда, высота и протяженность дамбы и т.д.) известны и содержатся в базе данных ГИС-приложения. Для определения уровня и площади зеркала воды необходимо получить данные о ее объеме, находящемся в чаше пруда в данный момент времени. Чтобы определить текущий объем воды, находящейся в отстойнике, требуется учесть целый ряд постоянно изменяющихся производственных и климатических факторов. Такая задача для ГИС непосильна, но она вполне разрешима для экспертной системы.

В ЭС ССМ используется продукционное представление знаний. В описываемом приложении применяется детерминированный логический вывод [6, 7].

ГИС-приложение позволяет формировать ответы на запросы экспертной системы, которые используются для проведения экспертного анализа. В качестве ответов выступают значения необходимых географических и геометрических параметров пространственных объектов. Текущую информацию о работоспособности исследуемой системы, данные о плановых объемах поступающей пульпы и оборотной воды, а также об имеющихся местах атмосферных осадках экспертная система получает из общего справочника ССМ.

При проведении экспертизы ЭС определяет, к какой из возможных аварийных ситуаций относится та, которую описывают поступившие данные. Возможны следующие варианты: разрыв пульповода, прорыв дамбы и переполнение отстойного пруда. При анализе любой из этих ситуаций необходимо учитывать климатические факторы, влияющие на изменение уровня воды в пруду. Ниже приводится пример правила ЭС ССМ.

**ЕСЛИ** влажность воздуха  $< 90\%$  **И**  $T_{\text{возд}} > 0^\circ$   
**ТО**  $K_{\text{испар.}} = k_1 * T_{\text{возд}} + k_2 / \text{влажность воздуха} + k_3 * V_{\text{ветра}}$   
**ИНАЧЕ**  $K_{\text{испар.}} = 0$

Это правило вычисляет коэффициент испарения жидкости из водоема ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ), который используется в дальнейшем для вычисления объема испарений: ( $V_{\text{испар}} = K_{\text{испар}} * S_{\text{зеркала воды}} / \rho_{\text{воды}}$ ).

ГИС-приложение обеспечивает пользовательский интерфейс ССМ, позволяя визуализировать на экране монитора результаты работы других компонентов системы. Из расчетного модуля ГИС получает числовое значение, соответствующее объему воды в отстойнике. Из общего справочника ССМ поступают сведения о текущем состоянии технологических объектов и окружающей среды. Информация экспертной системы может содержать номер/номера участков дамбы (секторов пульпопровода), где имеет место аварийная ситуация или наиболее вероятна угроза ее возникновения.

В условиях штатного режима функционирования объекта исследования ГИС-приложение, используя полученные данные, производит расчет уровня воды в чаше пруда и сравнивает его с допустимым. Если допустимый уровень не превышен, ГИС формирует для пользователя стандартное сообщение, содержащее описание текущих технологических и природных процессов. В случае, когда по результатам расчетов необходимо обновить картографическое отображение хвостохранилища, оно перерисовывается с соответствующими цветовыми обозначениями и текстовыми отметками.

Необходимо отметить, что объекты, являющиеся основными зонами риска хвостохранилища, находятся в непосредственной территориальной близости один относительно другого: отстойный пруд окружен защитной дамбой, по гребню которой проложен пульпопровод. Поэтому неблагоприятное развитие аварийной ситуации на одном из этих объектов может привести к возникновению аварийной ситуации на других. Например, разрыв пульпопровода и аварийный сброс пульпы в отстойник может явиться причиной переполнения пруда, что, в свою очередь, при определенных погодных-сезонных условиях повлечет за собой повреждение дамбы с возможной потерей ее работоспособности.

К переполнению отстойного пруда может привести одновременное или длительное превышение объема поступающей в него воды над суммарным объемом уходящей воды (рис. 3). Высота и ширина защитных сооружений хвостохранилища на всем их протяжении различны. Состав образующего их материала также неоднороден. По этой причине в базе данных ГИС соответствующие дамбе графические объекты разбиты на ряд смежных участков, для каждого из которых может быть определен параметр, характеризующий вероятность разрушения.

Как уже отмечалось выше, природный фактор оказывает значительное влияние на функционирование хвостохранилища. Климатические условия данной территории отличаются резкой изменчивостью, вызываемой частой сменой воздушных масс, перемещением циклонов и фронтов, что вызывает распыление пляжной зоны и поверхности дамбы.

ГИС-приложение получает из справочника ССМ данные о преимущественном направлении ветра, которые наносятся на служебный слой карты, содержащий розу ветров, в виде вектора соответствующего направления. По запросу пользователя ГИС-приложение моделирует на карте аварийную ситуацию с разрушением дамбы на критическом участке/участках и затоплением примыкающей территории. Площадь затопления рассчитывается средствами ГИС, исходя из данных о рельефе окружающей местности и наличии в зоне затопления водосборных колодцев и каналов водоотвода. При этом скорость разрушения дамбы и прогнозируемый объем вылившейся воды определяется во внешних модулях с учетом технологических и метеоусловий. Ведение наблюдений за природно-климатическими процессами позволяет на базе накопленных фактических данных за ряд лет делать более достоверные прогнозы о дальнейшей безопасной эксплуатации объекта исследования.

В качестве следующего примера применения ССМ рассмотрим одну из подзадач, решаемых **диспетчерской службой энергетической системы региона**.

Энергетическую систему региона можно определить как сложный природно-технический пространственный динамический комплекс с переменной структурой, множественными внешними и внутренними связями (финансовые, материальные, энергетические потоки и т.д.).

Для каждого административного района средствами ГИС может быть представлена карта соответствующих энергетических объектов.

Рассмотрим ситуацию, когда на вход экспертной системы подан сигнал о наличии в заданном регионе аварийных обрывов ЛЭП, которые произошли, например, в результате стихийного бедствия.

ЭС имеет доступ к справочной базе данных, в которой перечислены объекты заданного региона с приписанными им значениями весов, характеризующих степень важности объекта с точки зрения его функционирования в единой энергетической системе, и соответствующие им идентификаторы, понятные ГИС. ЭС формирует запрос к ГИС на визуальное отображение на карте мест аварий.

При этом требуется найти объект(ы), удовлетворяющий(е) одному или нескольким следующим условиям:

- ближайший к данному;
- полностью попадающий внутрь заданной зоны;
- пересекающий границы заданной зоны;
- отстоящий на заданное расстояние;
- имеющий заданную величину или диапазон некоторого графического ресурса.

Общий формат команды применения операции имеет вид:

<логический запрос> = <код\_логического запроса><код\_ГИС-элемента><код\_ГИС-покрытия> <параметры\_логического запроса> [<легенда>].

где:

<код\_логического запроса> – код, определяющий имя логического запроса ГИС;

<код\_ГИС-покрытия> – код тематического ГИС-слоя, объекты которого будут выбраны в результате выполнения логического запроса;

<код\_ГИС-элемента> – код объекта, для которого выполняется условие;

<параметры\_логического запроса> – список кодов ресурсов – параметров операции;

<легенда> – строка, используемая для надписи на ГИС-изображении результата операции.

Обмен информацией между ЭС и ГИС осуществляется через временную базу данных.

На первом этапе ГИС считывает из запроса ЭС код объекта, состоящий из имени покрытия и уникального номера объекта на этом покрытии. После проведения внутренней идентификации ГИС распознает линейный графический объект – ЛЭП служебными средствами геокодирования.

Далее ГИС формирует ответ в виде карты, пример которой приведен на рис. 3, и записывает во временную базу данных список идентификаторов объектов, попадающих в заданную зону, или зависимых от ЛЭП, на которой произошел обрыв. ЭС после получения списка объектов производит классификацию имеющихся аварийных ситуаций. На рис. 2 отображен фрагмент карты Кировско-Апатитского района. Показаны зоны, внутри которых произошли обрывы ЛЭП, ближайшие к местам обрывов объекты, дороги.

В описываемом приложении различаются три вида аварийных ситуаций [8]:

- пространственно-порожденные;
- время-порожденные;
- функционально-порожденные.

Внутри каждой из категорий существует деление на уровни опасности, которые присваиваются в зависимости от рассчитанного суммарного веса важности и/или опасности объектов, затронутых данной ситуацией и определяемых с помощью ГИС по запросу ЭС.

Для того, чтобы оценить степень опасности той или иной аварийной ситуации и выработать соответствующие рекомендации для ЛПР, применяется описанный в [1, 2] алгоритм расчета обобщенных удельных затрат.

После того, как аварийным ситуациям присвоены соответствующие степени опасности, ЭС формирует следующий запрос к ГИС о той ситуации, степень опасности которой выше. На основе информации, предоставленной ГИС, вырабатываются рекомендации для ЛПР. Например, имеется два варианта разрешения аварийной ситуации – переключить связанные с местом обрыва объекты на резервный или временный источник питания, или производить ремонтные работы, оставив объекты временно без энергии. На основе анализа данных, полученных от ГИС, принимается решение о предпочтительном варианте действий. На рис. 4 представлен укрупненный фрагмент карты, приведенной на рис. 3, отображен обрыв ЛЭП, степень опасности которого (по расчетам, проведенным ЭС) выше.

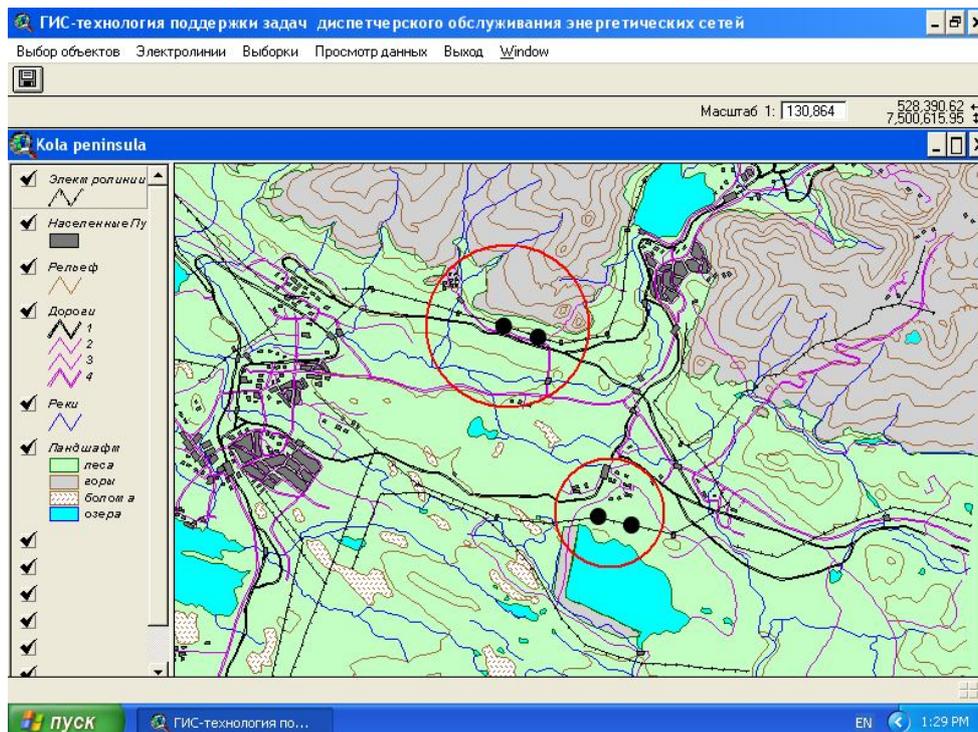


Рис. 3. Карта Кировско-Апатитского района

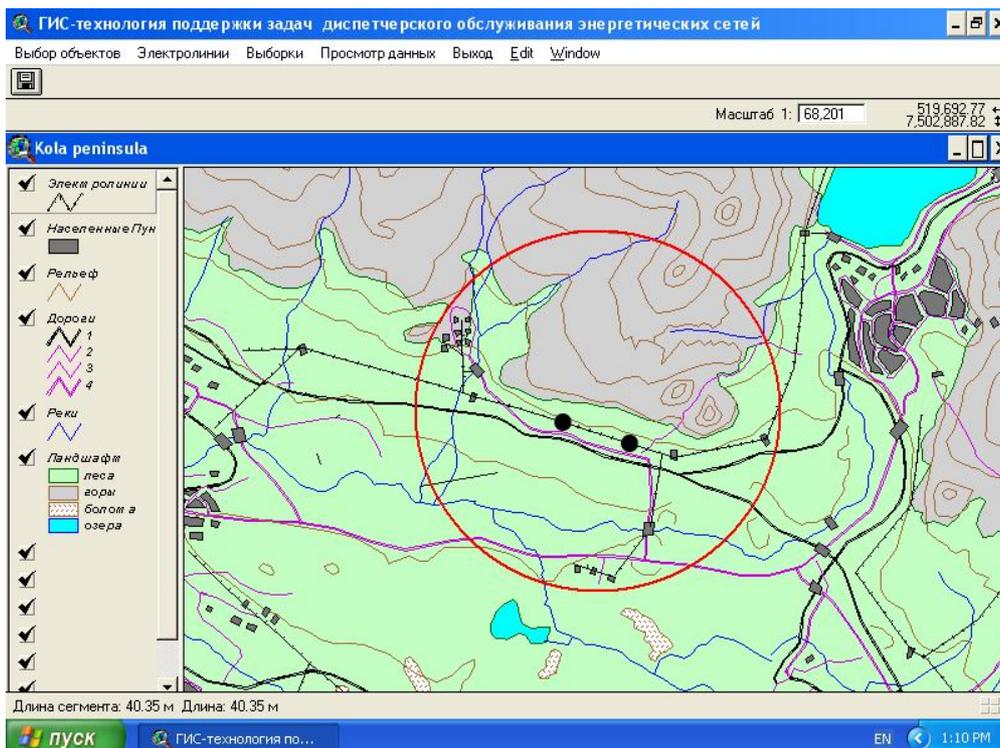


Рис. 4. Обрыв ЛЭП с высокой степенью опасности

Поскольку в зоне влияния, очерченной вокруг зоны обрыва (рис. 4), не оказалось энергетических объектов, на которые можно временно переключить питание, и имеются удобные подъезды к месту аварии (дороги подходят близко к участку обрыва), ЭС выработала рекомендации по проведению ремонтных работ поврежденного участка.

## Выводы:

Разработана технология ситуационного моделирования на базе специализированной концептуальной модели ПТК. К основным преимуществам этой технологии относятся следующие.

1. Автоматизация всех этапов моделирования.
2. Широкое применение экспертных знаний.
3. Использование семантически значимых понятий предметной области для построения ее формального описания.
4. Использование ГИС-технологии не только для графического представления составных частей объекта и результатов моделирования, но также для постановки задачи и выполнения пространственно-зависимых расчетов.
5. Поддержка современных сценарных подходов к моделированию.
6. Наличие средств детального формального анализа модели.
7. Развитый аппарат сопоставительного анализа ситуаций в статике и динамике.
8. Автоматический синтез исполнительных сред моделирования.
9. Использование единой инструментальной среды и методологии для моделирования как нормальных, так и критических режимов функционирования ПТК.
10. Возможность интеграции знаний экспертов по различным аспектам функционирования ПТК для обоснования принятия решений.

Проведенные исследования выявили перспективность изложенного подхода для анализа состояния и прогноза поведения сложных промышленно-природных комплексов. Разработанные методы и алгоритмы использованы при создании проблемно-ориентированных приложений ССМ, практическое применение которых показало, что указанный подход позволяет решать специфические задачи в различных предметных областях, таких, как оценка влияния техногенных воздействий на лесные массивы, оценка удароопасности горного массива, моделирование энергетической системы региона, моделирование задачи комплексного использования минерального сырья, моделирование гидротехнических комплексов и сооружений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 13-07-00318-а, 12-07-00689-а, 12-07-000550-а, 12-07-00302-а), Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 16), ОНИТ РАН (проект 2.3 текущей Программы фундаментальных научных исследований).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фридман А.Я. Ситуационный подход к моделированию состояния пространственного объекта // Системы информационной поддержки регионального развития. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. С. 45–49.
2. Фридман А.Я. Классификация ситуаций и сопоставление альтернативных структур модели в ситуационной системе вычислительного эксперимента // Имитационное моделирование в исследованиях проблем регионального развития. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. С. 14–24.
3. Фридман А.Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 436 с.
4. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. М.: Мир, 1978. 312 с.
5. Ноженкова Л.Ф. Гибридные информационные технологии: направления развития и применения; Красноярск: Вестник КрасГУ. 2004. С. 99–107.
6. Фридман А.Я. Ситуационный подход к моделированию промышленно-природных комплексов и управлению их структурой. Труды IV Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления". Москва, 25–28 января 2005 г. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2005.
7. Fridman A. Knowledge Integrating in Situative Modelling System for Nature-Technical Complexes / A. Fridman, A. Oleynik, O. Fridman. Proceedings of the 2004 European Simulation and Modelling Conference (ESMc2004), Paris, France, October 25–27.
8. Фридман А.Я. Оценка вариантов структуры сложной промышленно-природной системы по критериям надежности и безопасности функционирования / А.Я. Фридман, С.Ю. Яковлев // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты: КНЦ РАН, 2003. С. 104–110.

## Сведения об авторах

Фридман Ольга Владимировна – к.т.н., старший научный сотрудник;

e-mail: ofridman@iimm.kolasc.net.ru

Фридман Александр Яковлевич – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник;

e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru

С 5 по 14 ноября 2013 г. в Кольском научном центре РАН с визитом находился профессор Университета науки и технологий Хуажонг (Huazhong University of Science and Technology, HUST) КНР Хэ Менбинг (He Mengbing). Он ознакомился с российским опытом исследований электроимпульсного способа разрушения материалов, а более конкретно в тех направлениях, которые выбраны для научно-технического сотрудничества между HUST и КНЦ РАН.

Авторский коллектив ГИ и ИХТРЭМС КНЦ РАН (Н.Н. Гришин, В.Т. Калинин, А.Г. Касиков, Ю.Н. Нерадовский, Е.Ю. Ракитина) удостоен диплома I степени и золотой медали Петербургской технической ярмарки, а также диплома и бронзовой медали XVI Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед 2013» за разработку «Термохимическое обогащение железосодержащих руд и концентратов». Разработка защищена авторским свидетельством на изобретение.

На открытии X Всероссийской Ферсмановской научной сессии вручены золотые медали им. акад. А.Е. Ферсмана Российского геологического общества:

- Ю.М. Кирнарскому, вед. инженеру Геологического института КНЦ РАН и преподавателю кафедры геологии и полезных ископаемых АФ МГТУ за создание кружка юных геологов при ДДТ им. акад. А.Е. Ферсмана в г. Апатиты и руководство им в течение 50 лет.

- проф. Ю.Л. Войтеховскому, директору Геологического института КНЦ РАН за изучение геологии медно-никелевых месторождений Кольского п-ова, преподавание геологических дисциплин в АФ МГТУ и КФ ПетрГУ, создание и руководство ежегодной Всероссийской Ферсмановской научной сессией, издание журнала «Тьетта» и активную популяризацию геологических знаний (4 проекта по изданию научно-популярных статей получили финансовую поддержку РФФИ).

Д.х.н. И.Н. Толстихин, гл. научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН удостоен премии Гарольда Юри за 2013 г. – ежегодной премии Европейской геохимической ассоциации (EAG), присуждаемой за выдающийся вклад в развитие геохимии и вручаемой на международной конференции В.М. Гольдшмидта. Премия носит имя Г.К. Юри – американского физикохимика, чьи пионерские работы в области изотопии были отмечены Нобелевской премией по химии 1934 г. и позднее привели его к построению теории планетарной эволюции.

### ***Геологический институт КНЦ РАН***

По результатам новых изотопно-геохимических исследований *установлены* главные этапы докембрийской эволюции Фенноскандии. Развитие континентальной коры в пределах Фенноскандинавского щита было дискретным, основные эпохи корообразования происходили в неогарее, но отдельные ядра кратонизации формировались в мезо- и палеогарее. Установлены две эпохи формирования ранне-докембрийских обогащенных резервуаров в мантии Лаврентий-Балтики: 2.1–2.3 млрд лет (в ходе деламинирования и последующего рециклинга литосферных килей) и 2.8–3.0 млрд лет (в ходе субдукции терригенных осадков). Они были источником древнейших в мире магматогенных редкометалльных (Zr-REE-Y-Nb) и апатитовых месторождений.

*Установлен* высокий металлогенический потенциал кианитовых сланцев Больших Кейв (Кольский п-ов) в отношении редких металлов и редкоземельных элементов. *По предварительной* оценке, ресурсы РМ и РЗЭ в контурах кианитовых руд до глубины 100 м составляют порядка нескольких миллионов тонн. Определены минералы–носители РМ и РЗЭ, экспериментально доказана возможность их выделения в концентрат (совместно с ИХТРЭМС КНЦ РАН).

*Построена* 3D модель Ковдорского фоскорит-карбонатитового комплекса, отражающая закономерности размещения и характера выделений, извлекаемых в концентрат (магнетит, апатит и бадделейт) и сопутствующих (шпинель, гейкилит, пирохлор, цирконолит, пирротин) минералов. Трехмерное минералогическое картирование выявило закономерное изменение состава всех минералов в естественной последовательности пород. Карбонатсодержащие фоскориты осевой зоны рудной трубки обогащены легкими лантаноидами и скандием.

*На основе* детального исследования месторождений кианита в метаморфических комплексах Урала, Карелии и Кольского полуострова *выделены* три морфогенетических типа кианитов: метаморфогенные, метаморфогенно-метасоматические и метасоматические. Изучены закономерности размещения месторождений высокоглиноземистого сырья на Урале, Карелии и Кольского полуострова (кианита, силлиманита, андалузита). Показано, что кианиты месторождений Урала по качеству не уступают кианитам Кольского п-ова (свита Кейв) и являются высокоперспективными рудами на огнеупорное сырье (совместно с ИГТ УрО РАН, ИГ Кар НЦ РАН, УГГУ).

*Разработана* инновационная технология электроразведочных работ с применением контролируемых источников и промышленных ЛЭП для прогнозно-поисковых изысканий на нефть и газ в условиях Ямало-Ненецкого автономного округа (совместно с ПГИ, ЦФТПЭС, СПБФ ИЗМИ РАН).

### ***Горный институт КНЦ РАН***

*Обоснована* экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли, заключающаяся в повышении эффективности добычи и переработки минерального сырья при снижении техногенной нагрузки на природную среду за счет: прироста запасов и уменьшения среднего коэффициента вскрыши; повышения комплексности и полноты извлечения полезных компонентов; уменьшения отходов производства; вовлечения в эксплуатацию техногенных месторождений, сокращения складированных отходов; уменьшения объемов сточных вод, сбрасываемых в природные водоемы, восстановления техногенно-нарушенных объектов природной среды. Для реализации стратегии разработаны новые реагенты и реагентные режимы, новые технологии и оборудование (на примере Кольского горнопромышленного комплекса).

*Разработана* информационная система, предназначенная для моделирования и выбора параметров технологии добычи и обогащения твердых полезных ископаемых по стадиям производственного процесса. В основе системы лежат программные средства трехмерного моделирования горно-геологических и технологических процессов, а также инструменты и средства формирования распределенных баз данных и баз знаний.

*На основании* комплексного исследования накопления радиотоксичных долгоживущих актинидов и осколков деления в активных зонах реакторных установок ОК-150, ОК-900 и ОК-900А атомных ледоколов «Ленин», «Арктика» и «Сибирь» оценен изотопный состав и  $\beta$ -,  $\gamma$ - и  $\alpha$ -активности отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), хранящегося на плавучей технической базе «Лепсе», признанной одной из самых опасных объектов в Северо-Западном регионе России и на Севере Европы. Полученные данные могут быть использованы при выполнении предстоящих в 2013–2016 гг. работ по утилизации «Лепсе», а также в оценках безопасности долговременного хранения неперерабатываемого ОЯТ на Кольском полуострове.

*Установлена* взаимосвязь параметров электромагнитных характеристик георадарного зондирования с состоянием и структурой пород уступов карьера. Комплексный анализ данных высокочастотного электромагнитного зондирования, натуральных измерений методом разгрузки и компьютерного моделирования напряженно деформированного состояния позволил выявить существенное изменение амплитудных характеристик электромагнитного сигнала вблизи контура уступов карьера, что хорошо коррелируется с данными измерений в глубоких скважинах: возрастание в приконтурной зоне (до 4–5 м), некоторое снижение в зоне уплотнения (4–20 м) и в зоне разгрузки (20–40 м).

*Разработан* способ извлечения тонкодисперсных частиц полезных компонентов из сливов сгустителей обогатительных фабрик флотацией флокул, образующихся в результате коагуляции неорганическими коагулянтами. По изменению формы полос ИК-поглощения, идентифицирующих минералы, установлен нижний предел крупности при их извлечении. Способ обеспечивает получение дополнительных объемов готовой продукции и исключает операцию осаждения, требующую больших площадей и используемую при извлечении тонкодисперсных частиц.

*Разработан* способ флотации руд с использованием труднорастворимых низкоокисилированных изонилфенолов, основанный на увеличении их растворимости за счет эффекта солиubilизации в мицеллярных дисперсиях ионогенных ПАВ, изменении условий их применения и, как следствие, более эффективном проявлении их специфических флотационных свойств. На примере труднообогатимых апатитсодержащих руд Ковдорского месторождения показано, что применение способа позволяет повысить стабильность флотационного процесса и извлечение апатита на 1.5–2.0%, уменьшить затраты на реагенты на 25%, снизить энерго- и трудозатраты. Разработка реализуется на ОАО «Ковдорский ГОК».

*Разработана* комбинированная флотационно-магнитная технология обогащения апатит-магнетит-бадделеитовых руд глубоких горизонтов Ковдорского месторождения, отвечающая задачам комплексного выделения концентратов высокого качества в условиях полного оборотного водоснабжения.

*Разработана* комбинированная технология переработки кианитовых руд, включающая тяжело-среднюю сепарацию и флотацию в щелочной среде на оборотной воде с использованием сочетания полиалкилбензолсульфонатов и жирнокислотных собирателей. Предложенная схема позволяет значительно упростить технологию переработки кианитовых руд по сравнению с ранее разработанной технологией, более чем на 10% повысить извлечение, снизить в 1.5 раза себестоимость концентрата.

*Предложен* способ флотации кианита из руды, содержащей графит и сульфиды, в кислой среде с предварительным их выделением на основании естественной гидрофобности графита и флотиремости сульфидов, что позволило упростить технологию, исключив предварительное обесшламливание, сократив потери кианита и повысив до 58% глинозема качество кианитового концентрата. Предложенная технология позволяет получить кианитовый концентрат при высоком извлечении глинозема ~ 90%.

*Для повышения* промышленной безопасности при ведении открытых горных работ разработана технология создания полимерного покрытия, обеспечивающая снижение интенсивности выветривания горных пород на два порядка.

*Разработана* информационная система, предназначенная для моделирования и выбора параметров технологии добычи и обогащения твердых полезных ископаемых по стадиям производственного процесса.

*Разработан* комплексный методический подход по обоснованию границы перехода с открытого на подземный способ разработки мощных глубокозалегающих рудных месторождений.

*Выявлен* краткосрочный предвестник возникновения серии сейсмических событий при ведении горных работ в Хибинском массиве, заключающийся в росте значений комплексной оценки (от 0.50 до 0.55) по ряду отдельных прогностических критериев (фрактальный, угол наклона графика повторяемости, концентрационный, суммарная длина трещин) и в увеличении площади сейсмоактивной зоны более чем в 1.5 раза в течение суток за 3 дня до основного события.

*Установлен* механизм разрушения горных пород с трещиной на границе раздела геологических блоков, отличающийся тем, что образование вторичных трещин отрыва в окрестности исходной трещины происходит не симметрично, а только в одном из концов (справа или слева). При этом трещины прорастают либо в сторону более жёсткого блока, либо в сторону более мягкого – в зависимости от угла ориентации границы раздела блоков относительно направления действия наибольшего сжимающего напряжения.

Создан экспериментальный полигон для мониторинга гидротехнического сооружения «хвостохранилище–ограждающие дамбы» ГОК «Олений ручей» с широким комплексом наблюдений. Проведены первые циклы измерений для целей мониторинга состояния ограждающих дамб при выводе хвостохранилища на рабочий режим.

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

*Применительно* к квантовохимическому моделированию процессов переноса заряда в расплавах неорганических солей разработан новый подход, позволяющий рассчитать для единого электрохимического процесса соотношение скоростей переноса электрона на частицы с различным составом второй координационной сферы. Данный подход позволяет выявить истинную электроактивную частицу и провести расчет присущих ей параметров, в т.ч. энергии активации переноса заряда. Эти данные, в свою очередь, позволяют углубить понимание механизма электрохимического переноса заряда. Практическим результатом применения разработанного подхода явилось выявление различия в механизме переноса заряда в чисто хлоридных и хлоридно-фторидных расплавленных системах и соответствующая интерпретация, основанная на сравнении рассчитанных теоретических значений энергии активации с экспериментальными аналогами для реальных систем.

*Разработан* способ геотехнологической переработки некондиционного сульфидного рудного материала, содержащего цветные металлы, преимущественно медь, никель, кобальт, и железо (совместно с ИППЭС).

*Разработаны* керамические материалы на основе хвостов обогащения медно-никелевых руд без использования первичного сырья с теплопроводностью 0.33-0.36 Вт/м °С и морозостойкостью более 40 циклов (совместно с ИППЭС).

*Разработаны* условия синтеза и составы наноструктурированных композитов, образованных двумя полупроводниками с различным типом проводимости - диоксидом титана, легированным иновалентным компонентом (алюминием, железом, ниобием, вольфрамом и другими элементами) и простыми или сложными оксидами легирующего компонента, содержащими катион титана. Найдены составы, проявляющие высокую фотокаталитическую активность при облучении светом с длиной волны свыше 900 нм, демонстрирующие в отличие от известных коммерческих образцов устойчивый рабочий ресурс в циклическом процессе фотокатализа в водной среде. Доказана перспективность их использования в качестве анодных материалов высокой емкости литиевых ионных аккумуляторов (до 470 мА·ч·г<sup>-1</sup>).

*Установлен* высокий металлогенический потенциал кианитовых сланцев Больших Кейв (Кольский п-ов) в отношении редких металлов и редкоземельных элементов. *По предварительной* оценке, ресурсы РМ и РЗЭ в контурах кианитовых руд до глубины 100 м составляют порядка нескольких миллионов тонн. Определены минералы–носители РМ и РЗЭ, экспериментально доказана возможность их выделения в концентрат (совместно с ГИ КНЦ РАН).

В целях выполнения приоритетных задач создания инновационных технологий комплексного извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из минерального сырья и техногенных образований *обоснованы подходы* к вскрытию и переработке хибинского апатитового концентрата и фосфогипса.

Переработка хибинского апатитового концентрата, совместимого с основным производством минеральных удобрений, включает экстракционное извлечение РЗЭ из фосфорнокислых сред с последующим получением карбонатного концентрата с удельной эффективной радиоактивностью 50 Бк/кг и содержанием суммы РЗЭ в пересчете на оксиды примерно 60%, существенно большим, чем в лопаритовом концентрате – единственном перерабатываемом в России сырьевым источником РЗЭ. С применением разработанного подхода на предприятиях России может быть произведено ежегодно около 1950 т оксидов РЗЭ из производственной ЭФК и более 4000 т из оборотной ЭФК, что обеспечит, в частности, потребности атомной промышленности в гадолинии, самарии, эрбии.

### ***Полярный геофизический институт КНЦ РАН***

*Выполнен* анализ воздействия чрезвычайно мощной солнечной вспышки в октябре-ноябре 2003 г. на земную термосферу с использованием результатов измерений аэродинамического торможения низкоорбитальных спутников. Показано, что корональные выбросы массы вызвали заметно более сильные возмущения плотности атмосферы, чем те, которые обусловлены увеличением потока EUV-излучения во вспышке. Данный результат указывает, что вторжение энергичных частиц в верхнюю атмосферу могло иметь гораздо более сильный эффект на эволюцию ранних атмосфер планет солнечной системы, чем интенсивные потоки EUV-излучения раннего Солнца. Это может приводить

к значительным изменениям тепловой структуры, плотности и химического состава верхней атмосферы. Такие эффекты могли быть особенно сильными внутри зон обитания звезд М-класса (совместно ИНАСАН, Институт космических исследований Австрийской академии наук, Институт физики Университета Граца, Институт космических исследований Каталонии, Испания).

*Разработана* инновационная технология электроразведочных работ с применением контролируемых источников и промышленных ЛЭП для прогнозно-поисковых изысканий на нефть и газ в условиях Ямало-Ненецкого автономного округа (совместно с ГИ, ЦФТПЭС, СПбФ ИЗМИ РАН).

*Создана* и внедрена система мониторинга геоиндуцированных токов, наведенных возмущениями магнитного поля Земли в системообразующих линиях и подстанциях энергосистем северо-запада России. Данные длительного мониторинга использованы для анализа устойчивости оборудования энергосистемы к геомагнитным воздействиям, разработки системы предупреждения развития аварий, вызываемых геомагнитными бурями, и средств защиты энергосистем от них (совместно с ЦФТПЭС).

### ***Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН***

*Установлено*, что при эвтрофикации арктических эстуарных водоемов в пелагических альгоценозах на фоне сохранения базовой структуры сукцессионного цикла происходит расширение спектра массовых форм за счет развития отдельных, ранее малочисленных видов микроводорослей.

*В результате* 10-летних экспедиционных исследований определен современный состав и структура ихтиофауны северо-восточной Гренландии. В данном районе встречается 56 видов рыб, относящихся к 31 роду, 17 семействам, 10 отрядам, 2 классам. Установлено, что глубоководный пролив Фрама между Шпицбергом и Гренландией не является барьером в распространении рыб, как считалось ранее, что подтверждено находками на шельфе северо-восточной Гренландии неполовозрелых особей нескольких видов, воспроизводство которых осуществляется у берегов северо-западной Европы.

Издана книга «Кубанский паводковый кризис. Климат, геоморфология, прогноз. Крымск, июль 2012 г.». По результатам экспедиционных работ установлены причины и последствия катастрофического паводка в Краснодарском крае 6–7 июля 2012 года, определены параметры водного потока в бассейнах основных рек пострадавшей территории (Абин, Адагум, Адерба, Яшамба, Цемес) и выявлены следы прохождения паводковой волны. Основной причиной масштабных разрушений в г. Крымск и ст. Нижнебаканская явилось большое количество осадков, выпавших на водосборах рек Адагум и Баканка, и особенности орографии долин (совместно с ЮНЦ РАН, ИАЗ ЮНЦ РАН).

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

*Обобщены* многолетние результаты изучения разнообразия цианопрокариот в пресноводных и наземных экосистемах российской Арктики и Субарктики, составлен список видов, насчитывающий 448 таксонов. Наибольшим видовым богатством характеризуются флоры Мурманской области (310 видов), Большеземельской тундры (191 вид) и Полярного Урала (119 видов). Выявлены новые для России виды.

*Проведена* координация между существующими единицами эколого-флористической классификации старовозрастных лесов Мурманской области и типами местообитаний Палеарктики, предложена типология лесов для дальнейшего совмещения с данными дистанционного зондирования.

*Составлен* аннотированный список цианопрокариот Лапландского заповедника, проанализирована структура флоры резервата и горных массивов, входящих в его состав. Флора цианопрокариот Лапландского заповедника насчитывает 140 видов, что составляет 45% флоры Мурманской области. Выявлено 29 новых для России из 59 новых для Мурманской области видов.

### ***Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН***

*Установлено*, что в условиях современных изменений окружающей среды структурные перестройки пресноводных экосистем Евро-Арктического региона проявляются в снижении видового разнообразия гидробионтов, смене доминирующих комплексов, замещении реликтовых и олигосапробных видов эврибионтными с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения и формирования сообществ из устойчивых к загрязнению форм.

*Расширены* современные представления о структурных перестройках рыбной части сообществ пресноводных экосистем Евро-Арктического региона в условиях их трансформации под

воздействием природных и антропогенных факторов. В стрессовых для аборигенных стенобионтных видов условиях доминируют виды рыб, обладающие широкой экологической валентностью, включая вселенцев, сокращаются доли лососевых и сиговых видов, снижается ресурсный потенциал.

*Методом* физико-химического моделирования найдены оптимальные условия цементации меди и селективного осаждения железа из никельсодержащих сульфатных растворов термоактивированным карбонатитом, что необходимо для разработки способа геотехнологической переработки некондиционных медно-никелевых продуктов. Предложен метод геотехнологической переработки некондиционного сульфидного концентрата.

*Разработана* стратегия восстановления естественных водоёмов, расположенных в зоне влияния горно-металлургических предприятий путём создания благоприятных условий для развития сульфид-редуцирующих бактериальных сообществ как на территории водосбора, так и в толще донных отложений. Это обеспечит переход цветных и тяжёлых металлов в нерастворимые формы (сульфиды) и будет препятствовать их миграции в водную среду.

*Разработаны* композиционные материалы на основе природных карбонатитов путём модифицирования их поверхности углеродсодержащими соединениями переходных металлов для создания защитных геохимических барьеров в местах поступления технологических стоков или природных водотоков в условиях Субарктики.

*Разработан* способ геотехнологической переработки некондиционного сульфидного рудного материала, содержащего цветные металлы, преимущественно медь, никель, кобальт, и железо (совместно с ИХТРЭМС).

*Разработаны* керамические материалы на основе хвостов обогащения медно-никелевых руд без использования первичного сырья с теплопроводностью 0.33-0.36 Вт/м °С и морозостойкостью более 40 циклов (совместно с ИХТРЭМС).

*Для озера Евро-Арктического региона* экспериментально выявлены устойчивые долговременные тренды накопления в их экосистемах ряда тяжёлых металлов, как следствие процессов глобального и регионального загрязнения окружающей среды, повышающие токсичность вод, отрицательно сказывающиеся на состоянии водной биоты и снижающие ресурсный потенциал поверхностных вод.

*В результате* исследований закономерностей формирования качества поверхностных вод фоновых районов Евро-Арктического региона выявлена роль природных (морские аэрозоли, тип ландшафта, геохимия подстилающих пород) и антропогенных (региональное и глобальное загрязнение) факторов. Установлены региональные фоновые уровни содержания ряда тяжёлых металлов в поверхностных водах и донных отложениях для оценки степени трансформации водоемов импактных зон региона.

*С помощью* физико-химического моделирования (ПК Селектор) определены особенности взаимодействия «нефть-вода» с морскими и пресными водами. Выявлены сходства и различия во взаимодействии «вода-нефть» в морских и пресных системах относительно основных гидрогеохимических показателей.

*Выявлена* биогенная деструкция минералов, входящих в состав несulfидных руд, под действием метаболитов кислотообразующих бактерий и грибов. Показано образование оксалатов кальция и алюминия на поверхности апатита, нефелина и кианита, что вызывает уменьшение контрастности поверхностных свойств минералов и приводит к негативным последствиям при доизвлечении полезных элементов из техногенных месторождений.

*Для измерения* ширины годичных колец деревьев создан программно-аппаратный комплекс, состоящий из сканера с высокими оптическими характеристиками, компьютерной системы и соответствующего программного обеспечения. Этот комплекс позволяет обрабатывать образцы различного типа (керны, спилы), в том числе трудно поддающиеся обработке образцы можжевельника, имеющие сложную древесную структуру (неоднородность роста в различных направлениях, пропущенные кольца и т.д.). Созданный комплекс универсален и может быть использован для решения различных проблем в экологии, климатологии и биологии.

*Завершены и обобщены* исследования выявленных закономерностей трансформации состава атмосферных выпадений, почвенных вод и почв под действием доминирующих растений и лишайников в лесах на северном пределе их распространения, формирующихся в различных экологических условиях (совместно с ЦПЭПЛ РАН).

*Исследовано* изменение состава и структуры сообществ микроорганизмов (бактерии, грибы) в почвах, загрязнённых углеводородами в высокой концентрации.

*Изучено* воздействие нефтепродуктов (бензин, дизельное топливо, стабильный газовый конденсат, топочный мазут) на биоразнообразие грибов в условиях полевых опытов, на окультуренном и лесном гумусовом подзоле.

*На основе* аборигенных видов бактерий составлен эффективный консорциум углеводородокисляющих микроорганизмов (за 3 сут. разлагается около 70% нефти от исходной величины).

*Проведены* численные эксперименты с целью оценки влияния высоты пляжа хвостохранилища на потенциальное загрязнение воздушной среды при переносе сдуваемой сильным ветром мультидисперсной примеси. С ростом высоты пляжа прогнозируется существенное (от 50 до 150%) возрастание концентрации загрязнения в приземном слое атмосферы.

*Разработана стратегия* восстановления естественных водоёмов, расположенных в зоне влияния горно-металлургических предприятий, путём создания благоприятных условий для развития сульфат-редуцирующих бактериальных сообществ как на территории водосбора, так и в толще донных отложений. Это обеспечивает переход цветных и тяжёлых металлов в нерастворимые формы (сульфиды) и препятствует их миграции в водную среду, береговая линия и мелководье засаживается многолетними растениями, концентрирующими цветные металлы (Co, Ni, Cd, Fe, Pb, Zn и др.).

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

*Определены* основные инновационные факторы, тенденции и проблемы индустриализации промышленности Севера России с выходом сырьевых отраслей на инновационный уровень развития.

*Обоснованы* экономические и институциональные меры, стимулирующие переход рыбохозяйственного комплекса от экспортно-сырьевого к инновационному типу развития.

*Активизация* инвестиционных процессов в регионах Севера возможна при условии разрешения противоречий между государством и крупным бизнесом и между финансовым и реальным сектором экономики.

*Разработана* система модернизации учета и управления затратами на горнопромышленных предприятиях Севера России, обеспечивающая повышение эффективности и конкурентоспособности сырьевой продукции.

*Определены* стратегическая цель и приоритетные направления муниципальной социальной политики на Севере и в Арктике РФ – рост и ожидаемая продолжительность жизни населения.

*На основе* системного анализа методологии районирования территорий Севера России предложен метод комплексного природохозяйственного районирования с выделением южной границы российской Арктики.

*Дана комплексная* оценка и теоретическое обоснование системных проблем развития российской Арктики, с учетом изменений в глобальной расстановке сил последнего двадцатилетия.

### ***Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН***

*Создана* и внедрена система мониторинга геоиндуцированных токов, наведенных возмущениями магнитного поля Земли в системообразующих линиях и подстанциях энергосистем северо-запада России. Данные длительного мониторинга использованы для анализа устойчивости оборудования энергосистемы к геомагнитным воздействиям, разработки системы предупреждения развития аварий, вызываемых геомагнитными бурями, и средств защиты энергосистем от них (совместно с ПГИ).

*Разработана* инновационная технология электроразведочных работ с применением контролируемых источников и промышленных ЛЭП для прогнозно-поисковых изысканий на нефть и газ в условиях Ямало-Ненецкого автономного округа (совместно с ГИ, ПГИ, СПбФ ИЗМИ РАН).

**Научно-практический семинар, посвящённый 130-летию со дня рождения академика А.Е. Ферсмана.**

**ЦГП КНЦ РАН, 11 ноября 2013 г.**

Семинар собрал учёных, архивистов, библиотекарей, музейных работников – тех, для кого имя Ферсмана значит очень много, для кого текущий год стал особенным. Участники семинара подчеркнули, что мы живем под знаком двух юбилеев: В.И. Вернадского (150 лет со дня рождения) и А.Е. Ферсмана, вспомнили о существовании многих фотографий, где они – учитель и ученик – запечатлены вместе.

Многие реликвии можно было увидеть здесь же, в Центре гуманитарных проблем. Вот уже 38 лет существует музей-архив истории изучения и освоения Европейского Севера, в экспозиции которого бережно хранятся экспонаты, связанные с именем Ферсмана. Академик всегда уделял большое внимание музейной работе, считая, что музеи Академии наук, еще согласно старым академическим традициям, не являются просто местом хранения научного материала, а представляют такие научно-исследовательские институты, в которых сочетается научная работа с просветительскими и научными выставками. Организаторы музея в 1974 году обратились к вдове академика Екатерине Матвеевне с просьбой предоставить оригиналы экспонатов, опасаясь, что экспозиция серьезно пострадает, если яркая деятельность Александра Евгеньевича на Кольском полуострове будет представлена исключительно в копиях материалов. Ответ был получен незамедлительно: «Конечно, помогу вашему музею всем, чем располагаю». Так в музее появились 5 фотоальбомов, иллюстрировавших первые годы строительства и работы треста «Апатит», личные вещи академика – фотоаппарат и барометр, документы (письмо по вопросу снабжения экспедиции Ферсмана теплыми вещами, машинописная рукопись статьи «Хибины – школа хозяйства и науки», опубликованной в «Известиях» 12 марта 1934 года, рукопись некролога на смерть тов. Серго Орджоникидзе), фотоматериалы 1935–1936 годов.

Отдавая дань научным предвидениям и организаторскому таланту великого энтузиаста раскрытия богатств земных недр, выступающие удивлялись неукротимой энергии Александра Евгеньевича. Благодаря именно ей, а еще любви к камню, наверное, и произошло открытие самого «полуострова сокровищ». Часто вспоминают такой эпизод из жизни ученого: весной 1920 года по едва скрепленному полотну Мурманской железной дороги на Кольский полуостров прибыла специальная правительственная комиссия Совета труда и обороны, в задачу которой входило определение срочных мер по восстановлению народного хозяйства края. Во время стоянки поезда на станции Хибины входивший в состав комиссии академик А.Е. Ферсман совершил небольшую экскурсию на западные склоны гор. Этого похода к склонам Тахтарвумчорра хватило для того, чтобы обнаружить в горах редкие щелочные минералы, не известные в других районах страны. Позже экспедиции, организованные А.Е. Ферсманом, привели к открытию богатейших залежей апатита и медно-никелевых руд.

Сколько должностей он занимал одновременно: 26 или 28? Да это и не важно. Важно, что брался он за неподъемные дела и доводил их до конца. Способствовало этому умение ученого находить взаимопонимание с властью на всех уровнях: от руководителей Мурманской области до наркома тяжелой промышленности.

Ферсман давал имена географическим объектам. Теперь мы называем его именем гору, минералы (ферсмит и ферсманит), Дом детского творчества и улицу в Апатитах с единственным пока в стране памятником минералогу на ней. Вскоре еще один памятник появится в Кировске: в преддверии юбилея академика с такой инициативой выступил Кировский историко-краеведческий музей. Кроме того, в честь этого знаменательного события коллектив музея подготовил спецвыпуск «Горного журнала».

Этому выдающемуся человеку будет посвящён и 4-й номер научно-популярного журнала «Тиетта» Геологического института КНЦ РАН и Кольского отделения Российского минералогического общества. Выпуск – 100 страниц о Ферсмане – замкнет череду юбилейных мероприятий геологов: они провели ферсмановскую сессию, математическую школу, летом вместе с руководителем Геологического кружка Дома детского творчества Ю.М. Кирнарским восстановили знак на тропе Ферсмана. Обложку журнала украсит ферсманит из коллекции институтского музея,

найденный в жиле Лабунцова. Номер будет содержать статью в ферсмановском стиле, доклад Ферсмана на заседании Полярной комиссии 4 октября 1931 года, найденный в архивах «Центрально-Кольской экспедиции» в Мончегорске и не публиковавшийся ранее, переписку А.Е. Ферсмана с профессором Д.П. Григорьевым, подборку фотографий из архива последнего и многие другие материалы. Выступая на семинаре, директор Геологического института Ю.Л. Войтеховский сказал: «До чего же была насыщена жизнь академика Ферсмана, если и через 70 лет можно легко написать о ней 100 ярких страниц». С этим трудно не согласиться.

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

10–11 октября 2013 г. в Геологическом институте КНЦ РАН (г. Апатиты) при поддержке Кольского отделения Российского минералогического общества, Совета молодых учёных и специалистов ГИ КНЦ РАН, а также при финансовой поддержке Комиссии РАН по работе с молодёжью была проведена IX Всероссийская научная школа «Математические исследования в естественных науках». В научной школе приняли участие научные сотрудники из 8 городов: Апатиты, Благовещенск, Владимир, Долгопрудный, Екатеринбург, Москва, Санкт-Петербург, Тольятти, представляющие следующие 14 организаций: Институт химии силикатов РАН (Москва), Институт элементоорганических соединений РАН (Москва), Горный университет (СПб.), Санкт-Петербургский Государственный университет, Московский физико-технический институт, Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Геологический институт КНЦ РАН, Научный отдел медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике, КНЦ РАН, Полярный геофизический институт, Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Владимирский государственный университет, Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН и Тольяттинский государственный университет. Почётным гостем научной школы стала неоднократная участница Математической школы М.Е. Раменская (МГУ). В качестве пленарного докладчика выступил д.т.н., проф., чл.-корр. Российской Экологической Академии, в.н.с. Геннадий Владимирович Жижин. Доклады научной школы были разделены на две секции: геологическую и геофизическую (по одному дню на секцию). По окончании для участников научной школы были организованы две экскурсии: в Музей геологии и минералогии им. И.В. Белькова ГИ КНЦ РАН и Музей истории изучения и освоения Европейского Севера России (г. Апатиты).

#### **XXIV Молодежная научная школа-конференция, посвященная памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца, «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии северо-запада России» ГИ КНЦ РАН, 7–10 октября 2013 г.**

Конференция молодых ученых традиционно посвящена памяти выдающегося ученого-геолога, члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца. Начиная с 1985 г., она ежегодно проводится в разных городах северо-запада России (Апатиты, Петрозаводск, Санкт-Петербург, Сыктывкар). В работе конференции приняли участие молодые ученые, аспиранты и студенты центров и отделений РАН, университетов и институтов России, ближнего и дальнего зарубежья. Конференция проходит под эгидой Советов молодых ученых ГИ КНЦ РАН, ИГ КарНЦ РАН, ИГГД РАН, ИГ Коми НЦ УрО РАН и др.

В работе конференции принимали участие студенты и аспиранты высших учебных заведений геологического и экологического профиля: АФ МГТУ, Геологических факультетов ПетроГУ, СПбГУ, Коми ГУ, молодые геологи научных и производственных организаций.

Работа конференции началась с приветственного слова участникам и гостям конференции акад. РАН Ф.П. Митрофанова, основателя Молодежной конференции.

В программе конференции прозвучали 35 устных докладов по нескольким секциям:

1. Месторождения полезных ископаемых.
2. Региональная геология, петрология и геофизика.
3. Геохимия и геохронология.
4. Минералогия и кристаллография.

С пленарным докладом «О законах природы: симметрия или асимметрия?» выступил д.г.-м.н., проф. Ю.Л. Войтеховский. Лекцию для молодых ученых «Two noble families display what happened in their early days» прочитал д.х.н. И.Н. Толстухин.

В последний день работы конференции была проведена экскурсия «Морошковое озеро – участок Южносопчинский» в Мончегорском районе (организаторы: к.г.-м.н. Т.В. Рундквист, к.г.-м.н. П.В. Припачкин, аспирант Я.А. Мирошникова).

По итогам конференции лучшие доклады были отмечены дипломами, все молодые учёные получили свидетельства участников и ценные подарки. Изданы Труды в виде сборника, в который вошло 45 полнотекстовых статей (Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии северо-запада России: труды XXIV Молодёжной научной конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца. Апатиты, 7–10 октября 2013 г. / под ред. акад. Ф.П. Митрофанова). В статьях, представленных к публикации, рассматриваются не только проблемы, указанные в тематических частях, но и общего научного, прикладного и методического значения. Сборник будет интересен и полезен учёным, аспирантам, студентам, ведущим исследования в области геологии, геохимии, геохронологии, геоэкологии и других геологических дисциплин. Опыт проведения подобных конференций показывает, что они плодотворны для роста квалификации молодых исследователей, расширяя круг их научных интересов.

**Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ»  
ГоИ КНЦ РАН, 24–27 сентября 2013 г.**

Конференция организована и проведена Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Горным институтом Кольского научного центра РАН, Отделением наук о Земле РАН, Научным советом по проблемам горных наук РАН при финансовой поддержке Отделения наук о Земле РАН и РФФИ.

В работе конференции приняли участие 85 чел. из 18 научно-исследовательских и проектных организаций, вузов, горных предприятий Российской Федерации: Горный институт (ГоИ) КНЦ РАН, Геологический институт (ГИ) КНЦ РАН, ОАО "Мурманская ГРЭ" (Апатиты), ОАО "Апатит" (Кировск), ЗАО "СЗФК" (Коашва), ОАО "Ковдорский ГОК" (Ковдор), ШтокманДевелопмент АГ, (Мурманск), ФГУП УС-30 (Межгорье-1, Башкортостан), Горный институт УрО РАН (Пермь), Институт горного дела УрО РАН (Екатеринбург), Алтае-Саянский филиал геофизической службы СО РАН (Новосибирск), ОАО "ВИОГЕМ" (Белгород), Институт физики Земли РАН, ООО "ДассоСистем" Дшеовил Рус", ЗАО "МСС" BASF (Москва). Зарубежные участники – Пекинский главный научно-исследовательский институт горного дела и металлургии (Пекин, Китай), Северное отделение Геологической службы Финляндии (Рованиemi, Финляндия), Лапландский образовательный колледж Института Соданкюля (Соданкюля, Финляндия), Калотт Центр (Ивало, Финляндия). В составе участников 14 докторов и 20 кандидатов наук. Заслушано 6 пленарных и 43 секционных доклада.

Были рассмотрены принципы и различные варианты организации мониторинга природных и техногенных процессов геологической среды при освоении минерально-сырьевых ресурсов Кольского п-ова, Урала, Сибири, Китая, проблемы и задачи мониторинга технологических процессов и геоэкологического мониторинга, затронуты геомеханические проблемы обеспечения безопасности разработки месторождений полезных ископаемых. На секции «Геомеханический мониторинг геологической среды природно-технических систем» заслушано 23 доклада, которые были посвящены вопросам организации и проведения геомеханического мониторинга горнодобывающих объектов для обеспечения безопасной отработки рудных месторождений открытыми и подземными способами при действии в массиве тектонических напряжений; анализу результатов различных видов мониторинга процессов, происходящих в массиве пород; разработке программного обеспечения и средств анализа результатов; созданию новых приборов, а также методов анализа, обеспечивающих получение надежной информации о состоянии массива горных пород.

Отмечено, что для решения затронутых вопросов необходимы дальнейшие комплексные исследования, включающие изучение напряженного состояния массива, разработку современных методов прогноза и профилактики горных ударов, развитие систем мониторинга состояния массива с переходом на организацию комплексных геополлигонов, более активное применение информационных и компьютерных технологий, а также расширение опыта международного сотрудничества в области мониторинга природной среды при техногенном воздействии на массив.

На секции «Мониторинг технологических процессов. Геоэкологический мониторинг» заслушано 20 докладов, посвященных вопросам экологического мониторинга состояния окружающей природной среды при разработке месторождений, геоэкологических проблем захоронения жидких радиоактивных отходов, методов и средств мониторинга технологических процессов, визуализации

результатов комплексного мониторинга техногенных процессов различными программными средствами, научного сопровождения и методологии решения данных задач.

Важными представляются результаты совместных работ в рамках международного сотрудничества (например, Горного института КНЦ РАН, Геологической службы Финляндии и Университета технологий г. Лулео (Швеция), связанных с проведением комплексных исследований в рамках Международного проекта Envimine "Экологическая и геодинамическая безопасность закрытия рудников в Баренц-регионе" по программе приграничного сотрудничества "Кола-Арктик").

Отмечено, что в последнее время возросла координация исследований между различными институтами и предприятиями горного профиля по решению проблем рационального и безопасного освоения георесурсов. Необходимо подчеркнуть, что доклады, представленные на конференции, затронули ряд насущных проблем горного производства, таких как: разработка рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях, применение современных информационных и компьютерных технологий в горном деле, геомеханическое обоснование и обеспечение безопасности ведения горных работ в высоконапряженных скальных массивах, создание систем мониторинга геодинамического режима и инструментальных средств измерения характеристик массива горных пород, проблем мониторинга технологии ведения горных работ и подземного строительства специальных объектов государственного назначения, мониторинга долгосрочного захоронения радиоактивных отходов, а также вопросы экологического мониторинга состояния окружающей природной среды при разработке месторождений.

Высказано мнение, что проведение регулярных (1 раз в 2–3 года) конференций по этой тематике и более широкое привлечение для участия в их работе представителей горных предприятий и контролирующих организаций (Ростехнадзор РФ, МЧС РФ) позволит более обоснованно решать проблему организации систем комплексного мониторинга природно-технических систем в зонах ведения крупномасштабных горных работ.

#### **Заседание РАМЕ II – 2013 Рабочей группы по защите морской среды Арктики (РАМЕ) Азовский филиал ММБИ КНЦ РАН, 24–26 сентября 2013 г.**

Проведено в Ростове-на-Дону на базе Азовского филиала Мурманского морского биологического института и Южного научного центра РАН. Является очередным рабочим заседанием, которое традиционно проводится участниками рабочей группы 2 раза в год для оценки продвижения и степени выполнения работ, рассмотрения программных приоритетов и разработки двухгодичных рабочих планов. В заседании приняли участие 44 чел. – представители Канады, Дании, Финляндии, Исландии, Норвегии, России, Сингапура, Швеции, США, а также сотрудники Международной ассоциации алеутов, Международной ассоциации маячных служб, Всемирного фонда дикой природы, Секретариата коренных народов, Циркумполярного союза охраны окружающей среды, Европейской комиссии. Основной темой заседания было освоение Северного ледовитого океана в условиях внутривековых вариаций климата и экосистем. В рамках заседания широко обсуждались следующие вопросы: проект «Оценка арктического морского судоходства (AMSA)»; обновление Арктического морского стратегического плана действий; отчет экспертной группы по морским охраняемым территориям (МРА); Руководство по нефтегазодобыче на арктическом шельфе; Обзор работ по Северному Ледовитому океану.

#### **II Всероссийская молодежная полевая школа-семинар «Современные проблемы озеленения урбанизированных территорий в Северных регионах» ПАБСИ КНЦ РАН, 19–23 августа 2013 г.**

Полевая школа-семинар проходила при поддержке двух программ Президиума РАН – «Общеакадемические мероприятия» и «Поддержка молодых ученых» («Поддержка проведения научных школ молодых ученых»).

В полевой школе приняли участие 20 представителей из ФГБОУ ВПО "Сибирского государственного технологического университета", лесохозяйственного факультета, каф. селекции и озеленения; Международного университета природы, общества и человека «Дубна», кафедра экологии; Ботанического сада Уральского федерального университета, Московского Государственного Университета Леса, каф. селекции, генетики и дендрологии, МГУ им. Ломоносова, КФ ПетрГУ, ИППЭС КНЦ РАН.

В теоретической части участники полевой школы получили знания о современных приемах цветочного оформления объектов озеленения, ассортименте однолетних, многолетних травянистых растений для озеленения северных городов; современных технологий создания древесно-

кустарниковых композиций; ассортименте деревьев и кустарников для озеленения городов Севера; проблемах содержания зеленых насаждений в условиях Севера; особенностях ландшафтного проектирования на Севере; технологиях садовой терапии и специализированного ландшафтного дизайна; особенностях формирования почв на Кольском п-ове и пр.

В последующие дни участники школы-семинара ознакомились с приемами озеленения, которые использовались в городах Кольского п-ова. Организованы поездки по городам: Оленегорск, Мончегорск, Полярные Зори, Апатиты, Кировск. Также была проведена ознакомительная экскурсия с коллекционным фондом, полями размножения и дендрарием древесных и кустарниковых видов экспериментального участка ПАБСИ с подробными лекциями об агротехнике, применяемой для выращивания растений. Все полученные теоретические знания участники полевой школы-семинара смогли применить на практике: поучаствовать в процессе озеленения сквера г. Кировска.

В завершающий день полевой школы-семинара организован круглый стол, на котором участники делали доклады о своих достижениях в сфере ландшафтного проектирования и озеленения. Все участники по окончании обучения получили сертификаты участников

## **II Всероссийская научная конференция «Биоразнообразие и культуросонозные в экстремальных условиях»**

**ПАБСИ КНЦ РАН, 15–19 августа 2013 г.**

Работа конференции проходила по 5 направлениям:

- Проблемы сохранения биоразнообразия. Методы изучения и сохранения биоразнообразия на Севере.
- Интродукция растений и ландшафтная архитектура.
- Механизмы адаптации организмов к экстремальным условиям.
- Плодородие почв и рекультивация нарушенных территорий.
- Эколого-биологическое образование, социальные и медицинские аспекты экологических проблем.

Участие в конференции было в очном и заочном форматах. Заслушано 21 устный доклад и 3 стендовых. В заочной форме в конференции приняли участие 71 автор с 43 материалами для публикации.

На секционных заседаниях представлены доклады, освещающие большой спектр научных интересов: состояние старовозрастных интродуцентов в насаждениях г. Сортавала (Т.Г. Махрова), сравнительный анализ изменчивости признаков продуктивности тритикале вдоль высотного градиента (М.Д. Дибиров), влияние удобрений, метеорологических и гелиогеофизических факторов на продуктивность многолетних трав в условиях Кольского Севера (В.И. Костюк), эколого-физиологическое состояние растительного покрова в районах интенсивного аэротехногенного воздействия Мурманской области (А.Н. Кизеев), особенности накопления металлов в листьях городских древесных насаждений Мурманской области (Н.В. Салтан), а также мобилизация кормовых видов диких родичей культурных растений Кольского п-ова с целью их сохранения ex- in situ и др. (Л.Ю. Шипилина).

## **Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Уникальные геологические объекты Кольского полуострова».**

**ГИ КНЦ РАН, июнь – август 2013 г.**

17–19 июня в г. Кировске прошла международная встреча по проекту «Arctic, Biological, Cultural, Geological Heritage», поддержанному Евросоюзом. Половина проекта – за плечами. Целью встречи была тщательная проверка состояния дел в девяти рабочих группах, чем и были заняты два дня. От этого зависело дальнейшее финансирование участников. Приятно было получить высокую оценку нашего главного результата – электронного макета геотуристической карты по Хибинам, которая должна быть закончена к концу года с сопроводительным буклетом. Неприятно было видеть некоторое удивление на лицах зарубежных коллег – российские партнёры всё ещё рассматриваются в совместных проектах как группы риска. В последний день при замечательной погоде состоялась экскурсия в Хибины. Зарубежные гости получили представление о трёх геотуристических маршрутах в окрестностях оз. М. Вудъявр (плато Тахтарвумчорр, хр. Поачвумчорр, молибденитовый рудник, тингуаитовые дайки) и долины Кукисвум.

6–9 августа проф. Ю.Л. Войтеховский провел экскурсию для сотрудников Геологической службы Финляндии (P. Johansson, L. Lauri, J. Kupila, J. Pihlaja, M. Melamies) в рамках международного проекта

«ABCG heritage», поддержанного Евросоюзом. Цель – создание кольцевого геотуристического маршрута по России, Финляндии и Норвегии. На российской территории гости ознакомились более чем с 25 геологическими объектами в следующих районах: Печенга (подушечные лавы и вариолиты, Cu-Ni карьер Котсельваара, СГ-3, г. Генеральская, дайки нясюкского комплекса), Ура-губа (турмалин-лепидолитовые пегматиты), Мончегорск (массивы Н-К-Т, Сопча, Музей цветного камня им. В.Н. Дава), Имандра (Имандровский лополит, геодинамический полигон Воче-Ламбина, эклогиты Широкой Салмы), Апатиты-Кировск (долина Кукисвум с моренами и водопадом на р. Рисйок, долина оз. М. Вудъявр с историческим молибденитовым рудником и декоративными тингуаитовыми дайками, Музей геологии и минералогии им И.В. Белькова, Геологический музей ОАО «Апатит»), Ревда-Ловозеро (мурманит-уссингитовые пегматиты и эвдиалитовые луювриты г. Аллуайв), Терский берег (Музей аметиста пос. Умба, карьер декоративных гранитов пос. Кузрека, месторождение глендонитов пос. Оленица, Аметистовый берег, движущиеся пески пос. Кузомень). Добавлен список культурных достопримечательностей по тому же маршруту: Музей-квартира Ю.А. Гагарина в пос. Корзуново, Печенгский монастырь в пос. Луостари, мемориал в пос. Печенга, этнографические музеи в поселках Ревда и Ловозеро, Музей Кандалакшского заповедника, Музей поморского быта в пос. Умба, ансамбль древних деревянных церквей в пос. Варзуга. И это, конечно, не всё. Гости убедились, что российская часть маршрута не менее интересна, чем финская и норвежская.

7–10 августа состоялась экскурсия для участников международного конгресса «Mineral deposit research for a high-techworld», проходившего в Уппсале, Швеция 12–15 августа с.г. Она была организована по просьбе оргкомитета конгресса. Участники экскурсии – в основном геологи из Канады и Австралии (35 человек, руководители E. Hanski и W. Maier, университет Оулу, Финляндия), занятые поисками месторождений Cu, Ni и ЭПГ. Понятно, что для посещения ими были заказаны геологические объекты Печенгского и Мончегорского районов. Пользуясь случаем, благодарю за отличную работу гидов: д.г.-м.н. В.Ф. Смолькина (Геологический музей им. В.И. Вернадского, Москва), к.г.-м.н. Ю.Н. Нерадовского, к.г.-м.н. П.В. Припачкина и переводчицу Т.А. Мирошниченко (Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты), а также руководство и геологическую службу рудника «Северный» комбината «Печенганикель». Путеводитель экскурсии опубликован ограниченным тиражом [Ni-Cr-PGE deposits of Finland and the Kola Peninsula. Excursion guidebook FinRus. Excursion held 5–11 August 2013 / Eds. E. Hanski & W. Maier, Oulu University, Finland. Geological Survey of Sweden, 2013. 85 p.]. Приняли участие 32 геолога, в основном из Канады и Австралии.

#### **V Всероссийская научная конференция «Теория и практика системной динамики» ИИММ КНЦ РАН, 26–29 марта 2013 г.**

В работе конференции приняли участие 30 чел. Конференция поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 13-07-06006).

Были представлены работы по традиционным тематическим секциям:

- «Теоретические вопросы системной динамики»;
- «Имитационное моделирование в исследовании социально-экономических систем»;
- «Применение методов имитационного моделирования в исследовании промышленно-природных систем»;
- «Информационные системы поддержки управления региональным развитием».

Используемый в работах научной школы системно-динамический подход является мощным инструментом, широко применяемым для анализа и моделирования сложных объектов и процессов, в том числе в специализированных информационно-аналитических системах поддержки принятия решений. Представленные на конференции доклады дополнили заявленную тематику новым видением проблем исследования системной динамики. В работах участников конференции направления исследований, задаваемые системно-динамическим подходом, обобщались и рассматривались в более широком контексте. Демонстрировались различные методики построения моделей и исследования динамики моделируемых систем. Моделирование систем на концептуальном уровне представлялось логичным делать в виде онтологических конструкций. Также участники конференции продемонстрировали использование традиционных аналитических методов исследования динамики систем с помощью моделей в виде совокупности дифференциальных уравнений. В моделировании систем предлагалось активно применять мультиагентный подход, который позволяет сочетать различные способы описания динамики элементов гетерогенных систем. Одним из универсальных способов визуализации результатов моделирования в промышленно-природных системах предлагалось использовать трехмерные модели в ГИС-пространстве, а также современные мультимедийные возможности web-технологий.

Тематика исследований, результаты которых представлялись на конференции, имеет очень широкий спектр. Участники конференции в своих докладах продемонстрировали и решение фундаментальных задач, и практическую реализацию таких решений. На общетеоретическом уровне рассматривались проблемы, возникающие при исследовании скачкообразных процессов и систем уравнений с полиномиальной правой частью, динамики различных популяций и социально-экономических процессов. На прикладном уровне рассматривались такие вопросы, как: объективная оценка результатов научно-технической деятельности, разработка специализированных систем поддержки принятия решений, разнородная оптимизация структуры сайтов, пожарная безопасность объектов промышленной среды, поддержка деятельности органов местного самоуправления, исследование проблемы инвалидизации населения Мурманской области, формирование планов по предупреждению и ликвидации промышленно-экологических аварий, анализ кадровой безопасности региона и др.

В основном представляемые доклады содержали результаты текущих этапов исследований, которые проводятся исследователями уже не первый год. Зачастую научные коллективы, занятые в этих исследованиях, являются представителями устоявшихся научных школ. Ежегодный формат мероприятия позволяет участникам конференции видеть динамику исследовательского поиска и непосредственно знакомиться с новыми интересными результатами.

По результатам работы конференции оргкомитет отдельно отметил работы молодых научных работников, ведущих исследования в рамках своих диссертационных работ.

Труды V Всероссийской научно-практической конференции "Теория и практика системной динамики" будут опубликованы в ежегодном сборнике "Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии".

**Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейн Баренцева моря, Белого моря и Ботнического залива Балтийского моря): в 2 ч. / Н.А. Кашулин [и др.].** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. Ч. 1. 298 с.

Дана систематизированная экологическая характеристика озер Евро-Арктического региона. Приведены основные гидрографические, морфометрические, гидрохимические и гидробиологические характеристики 210 водоемов на водосборах рек Белого моря, дающие представление об озерном фонде восточной и юго-восточной частей Мурманской области. По каждому водоему дана следующая информация: название реки, вытекающей из озера или протекающей через озеро, координаты водоема, высотные отметки водоема, площадь озера и его водосборной территории, наибольшая длина и ширина, период исследований, гидрохимическая характеристика вод и донных отложений, а также оценка и состояние основных биологических сообществ (фитопланктон, зоопланктон, бентос, ихтиофауна).

Каталог предназначен для специалистов в области изучения пресноводных экосистем, лиц, осуществляющих хозяйственную деятельность на территории восточной части Мурманской области, учащихся учебных заведений, природоохранных служб.

**Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейн Баренцева моря, Белого моря и Ботнического залива Балтийского моря): в 2 ч. / Н.А. Кашулин [и др.].** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. Ч. 2. 253 с.

Дается систематизированная экологическая характеристика озер Евро-Арктического региона. В этой части каталога приведены основные гидрографические, морфометрические, геохимические, гидрохимические и гидробиологические характеристики 208 водоемов на водосборах Баренцева моря, Белого моря и Ботнического залива Балтийского моря, дающие представление об озерном фонде центрального и юго-западного районов Мурманской области. По каждому водоему дана следующая информация: название реки, вытекающей из озера или протекающей через озеро, координаты водоема, высотные отметки водоема, площадь озера и его водосборной территории, наибольшая длина и ширина, период исследований, гидрохимическая характеристика поверхностных вод и донных отложений, а также оценка и состояние основных биологических сообществ (фитопланктон, зоопланктон, зообентос, ихтиофауна).

Каталог предназначен для специалистов в области изучения пресноводных экосистем, местного населения, лиц, осуществляющих хозяйственную деятельность на территории центрального и юго-западного районов Мурманской области, учащихся учебных заведений, природоохранных служб.

**Костюк В.И. Влияние солнечной активности, инсоляции, температуры воздуха и атмосферных осадков на продуктивность культурных растений в условиях Кольского Севера / В.И. Костюк, С.Н. Травина, М.И. Вихман.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 79 с.

На основе системного подхода изучены особенности формирования урожаев культурных растений в зависимости от колебаний метеорологических условий в период вегетации растений и вариаций солнечной активности. Выполнен анализ каузальных связей между данными факторами и продуктивностью картофеля и многолетних трав, выращиваемых в Мурманской области. Построены статистические модели влияния метеорологических величин и гелиогеофизического фактора на продуктивность культурных растений. Показано, что учет солнечной активности позволяет лучше понять причины годовых колебаний урожайности картофеля, овощных и зерновых культур на территориях различных областей и республик Северо-Западного региона Российской Федерации.

Книга рассчитана на агроэкологов, агрометеорологов, агрохимиков, растениеводов, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

**Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: материалы VII Межрегиональной молодежной научно-практической конференции.** Апатиты, 10–12 апреля 2013 г. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 108 с.

Содержит тексты докладов научно-практической конференции. Посвящен изучению актуальных проблем переработки и применения минерального сырья Кольского полуострова.

Доклады включают описание исследований по физико-химическим основам и практике переработки минерального сырья, металлургическим и химическим процессам в технологии новых материалов.

Сборник представляет интерес для молодых ученых и специалистов в области химии.

**Переверзев В.Н. Почвообразование на рыхлых и кристаллических породах в Северной Фенноскандии / под ред. д.б.н. Г.М. Кашулиной.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 158 с.

Книга подготовлена к печати сотрудниками лаборатории почвоведения на основе последнего отчета В.Н. Переверзева, где он впервые на основе обобщения материалов многолетних почвенно-генетических исследований выявил географические и экологические закономерности формирования почвенного покрова Северной Фенноскандии, а также представил современную классификацию почв Северной Фенноскандии, сформированных на рыхлых и кристаллических породах. Показал, что основными факторами зональной и ландшафтной дифференциации почвенного покрова, а также формирования гидрологического режима почвенно-грунтовой толщи являются: климатический, орографический, литологический и биологический. Согласно современной классификации почв, на территории Северной Фенноскандии автором выделено 9 типов почв (подбуры, подзолы, торфяно-подзолы, глееземы, серогумусовые, литоземы перегнойные, торфяно-литоземы, сухоторфяно-литоземы и криоземы) из 5 отделов, принадлежащих к постлитогенному стволу. Выявлены закономерные изменения свойств почв в зависимости от климатических, ландшафтных и литологических особенностей местности. Показано, что основным типом почв в регионе – подзолы, сформированные на песчаных породах разного происхождения и разной степени гидроморфности. Вместе с торфяными почвами подзолы составляют основу почвенного покрова территории. Другие типы почв занимают ограниченные ареалы или входят в состав комбинаций с основными типами почв.

**Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием,** Апатиты, 12–15 ноября 2013 г. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 210 с.

В сборнике представлены результаты исследований по актуальным проблемам рационального природопользования, включая утилизацию отходов горнопромышленного комплекса, и получению эффективных строительных и технических материалов. Значительное внимание уделено возможностям использования местных природных и техногенных ресурсов на макрорегиональном уровне – в рамках Баренц-региона. Обсуждены результаты работ, имеющие фундаментальное и прикладное значение, касающиеся изучения перспективных видов минерального сырья, обоснования технологий переработки, получения строительных и технических материалов с заданными свойствами, экологической безопасности и экономической эффективности.

**Региональная экономика и вопросы североведения / коллектив авторов; под науч. ред. д.э.н., проф. В.С. Селина, д.э.н. Т.П. Скуфьиной: монография.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 200 с.

Представлены теоретические основы североведения и региональной экономики в аспекте специфических проблем развития и управления северными и арктическими территориями России.

Особое внимание уделено методическим вопросам отражения проблемы межрегиональной дифференциации, специфике планирования и прогнозирования социально-экономического развития Севера и Арктики в зональном, региональном, муниципальном, отраслевом контексте, а также формированию стратегических направлений развития и управления этими территориями.

Книга предназначена для специалистов в области экономики и управления, студентов и преподавателей гуманитарных вузов. Может применяться как учебное пособие для аспирантов и студентов специальностей экономического направления.

**Север и рынок: формирование экономического порядка. Научно-информационный журнал. 2/2013 (33).** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 120 с.

**Север и рынок: формирование экономического порядка. Научно-информационный журнал. 3/2013 (34).** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 89 с.

Представлены научные статьи, подготовленные на Международной научно-практической конференции «Европейский Север: инновационные освоение морских ресурсов (образование – наука – производство)» 13 – 18 марта 2013 г. Мурманск, г. Апатиты.

**Север и рынок: формирование экономического порядка. Научно-информационный журнал. 4/2013 (35).** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 138 с.

**Север и рынок: формирование экономического порядка. Научно-информационный журнал. 5/2013 (36).** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 128 с.

Тематический выпуск – Финансовые, экономические, институциональные процессы и их регулирование на Севере России.

**Север и рынок: формирование экономического порядка. Научно-информационный журнал. 6/2013 (37).** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 110 с.

Тематический выпуск – Социальные аспекты развития Российского Севера и Арктики.

**Транспортно-инфраструктурный потенциал Российской Арктики / Е.П. Башмакова [и др.]; под науч. ред. д.э.н. В.С. Селина: монография.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 279 с.

Рассматривается комплекс проблем формирования и развития транспортно-инфраструктурного потенциала российской Арктики. Исследуются ее пространственные характеристики, размещение и развитие производительных сил, арктических регионов, в совокупности определяющие особенности требований к транспортной доступности. Проведена диагностика специфических особенностей формирования и регулирования транспортного потенциала Арктики, включая регионы с ограниченными сроками завоза продукции (северного завоза). На основе зарубежного опыта развития транспортной инфраструктуры в Арктике намечены пути ее модернизации в отечественной практике на железнодорожном, автомобильном, трубопроводном и других видах транспорта.

В соответствии со Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2020 года особое внимание уделено системообразующим элементам морской транспортно-логистической системы, включая Северный морской путь. В заключительной части монографии рассмотрены перспективные направления развития транспортно-инфраструктурного потенциала российской Арктики.

Работа рассчитана на широкий круг специалистов, включая научных работников и преподавателей, государственных и муниципальных служащих. Она может быть также использована как учебное пособие по специальностям "Экономика и управление на транспорте", "Региональная экономика", "Логистика" и некоторым другим.

**Труды КНЦ РАН. Энергетика. Вып. 6.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 114 с.

**Труды КНЦ РАН. Океанология. Вып. 1.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 223 с.



## ГОДНЕВА Мария Моисеевна

к.х.н. (1960), старший научный сотрудник. В Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН с 1953 г.

Признанный специалист в области фазообразования в многокомпонентных системах элементов подгруппы титана с исследованием состава и свойств твердых фаз. За время научной

деятельности Годневой получено более 100 новых соединений: оксо(гидроксо)сульфатов, сульфатометаллатов, фторосульфатов, фторо- и фторосульфатометаллатов элементов подгруппы титана, для которых охарактеризованы области их образования в физико-химических системах и установлены закономерности изменения свойств. Все полученные соединения описаны с использованием физико-химических методов анализа и классифицированы на основе их химических композиций, включая структурные особенности. Примененный подход позволяет прогнозировать новые, до сих пор не выделенные экспериментально типы соединений.

Синтезированные Марией Моисеевной сульфатные, фторидные и фторосульфатные соединения элементов подгруппы титана обладают уникальными прикладными (например, дубящими для кожи, огнезащитными для шерсти) и физическими свойствами (рентгенолюминесцентными, оптическими, ионопроводящими и др.). Новизна тридцати соединений подтверждена тремя Сертификатами Международного центра дифракционных данных (ICDD).

Круг научных интересов М.М. Годневой не ограничивается исследованиями в области фазообразования. Она изучала химическую стойкость цветных металлов и сталей в жидком цезии и в растворе кремнефтористого аммония; разделяла цирконий и фтор методом электролиза, цирконий и гафний методом растворимости в присутствии различных добавок. Участвовала в разработке технологии получения антипиренов из Ковдорского бадделеита. Данные о физико-химических свойствах титанового и комплексных дубителей для кож использованы при составлении документации на лицензионные соглашения с двумя итальянскими и австралийской фирмами, которые признаны самыми большими по величине выплаченных сумм в истории Российской академии наук. Мария Моисеевна является автором около 300 работ, в том числе 69 авторских свидетельств, патентов (из которых 37 зарубежных), 5 монографий. Эти монографии широко известны как в нашей стране, так и за рубежом. Лауреат Премии Международной академической издательской компании «Наука/Интерпериодика» за лучшую публикацию в издаваемых ею журналах (2003). Награждена медалью «За доблестный труд, в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», бронзовой медалью ВДНХ (1983), знаком «Изобретатель СССР».

Как по-настоящему талантливый человек, Мария Моисеевна умело совмещает научную работу с воспитанием внуков и правнуков. Глава большой семьи, которая насчитывает 14 человек, она всегда готова прийти на помощь близким и родным, поделиться своей душевной щедростью и мудростью. Ответственность, искренность, отзывчивость Марии Моисеевны покоряет сердца ее коллег и друзей.

Несмотря на долгий творческий и жизненный путь, Мария Моисеевна и сегодня остается на передовых позициях науки, стараясь шагать в ногу со временем, осваивать современные методы исследований и синтезировать новые перспективные материалы.



Юбилеи



*Юбилары*



### **ОСЕПЯН Алевтина Петровна**

к.ф.-м.н.(1984), старший научный сотрудник. В Полярном геофизическом институте КНЦ РАН с 1960 г.

Она является общепризнанным специалистом по теоретическому моделированию электронной плотности и ионного состава области D полярной ионосферы в различных гелиогеофизических условиях. Ею исследованы ионосферные эффекты рентгеновских вспышек Солнца и корпускулярных вторжений высокоэнергичных частиц. Установлена связь появления сильных полярных мезосферных зимних эхо (PMWE) с вторжениями высокоэнергичных солнечных протонов. Произведен расчёт модельных спектров некогерентно рассеянных радиоволн в пылевой плазме и выполнены количественные оценки концентраций малых нейтральных составляющих в полярной мезосфере во время этих событий.

Алевтина Петровна – ответственный исполнитель научных исследований в рамках ряда совместных международных проектов. Она тесно сотрудничает с Институтом космической физики в Кируне (Швеция), с профессором Шейлой Кирквуд (S. Kirkwood) по проблеме изучения структуры полярной мезосферы и нижней ионосферы и мезосферных эхо в Арктике и Антарктике. Является одним из авторов модели ПГИ нижней ионосферы и успешно использует ее для интерпретации радиолокационных данных ПГИ и Института космической физики.

Автор более 100 научных публикаций в отечественных и зарубежных изданиях.



### **БАШМАКОВА Елена Петровна**

к.э.н. (1998); ученый секретарь Института экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН. В Кольском научном центре РАН Елена Петровна работает с 1975 г., в Институте экономических проблем с 1978 г.

В 1961 г. окончила Ленинградский горный институт им. Г.В. Плеханова по специальности «техника разведки месторождений полезных ископаемых».

В качестве ученого секретаря организует формирование планов научно-исследовательских работ института и принимает непосредственное участие в их реализации. Формулирует направления исследований, организует составление заявок, программ и планов работ, координирует деятельность структурных подразделений института, анализирует и обобщает полученные научные и практические результаты исследований.

Елена Петровна успешно совмещает научную деятельность с преподавательской: доцент филиала Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета в г. Апатиты и Кольского филиала Петрозаводского государственного университета.

Блестяще реализует свой талант в области научно-организационной и образовательной деятельности, проявляя себя как широкоэрудированный и инициативный менеджер, умело сочетая академическую науку, общественную работу и просветительскую активность.

Является непрекаемым авторитетом для коллег по «цеху», к работе подходит творчески. Отзывчива, дружелюбна, самокритична.

За достижения в научной, научно-организационной, педагогической и общественной деятельности Елена Петровна неоднократно поощрялась грамотами и благодарственными письмами.



### **ПОБЕДОНОСЦЕВА Галина Михайловна**

научный сотрудник (с 2001). В Кольском научном центре работает с 1975 года, в Институте экономических проблем с 1986 г.

Окончила Ленинградский финансово-экономический институт в 1979 году. Специалист в области региональной экономики. Автор более 30 опубликованных работ, в том числе две монографии (в соавторстве).

Награждена Почетной грамотой Президиума РАН (1999).

Награждена Почетной грамотой Президиума РАН (1999).



### **ПРЕДОВСКИЙ Александр Александрович**

д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник, профессор. В Геологическом институте работает с 1965 г.

30 лет он руководил лабораторией литологии и геохимии метаморфических комплексов. За время работы в ГИ КНЦ РАН им опубликовано более 200 научных работ, в том числе 12 монографий (одна из них подготовлена

норвежскими коллегами и издана в Норвегии в 1999 г.), подготовлено более 15 научных отчетов, он автор 20 изобретений. А.А. Предовский – один из основателей нового направления в геологии докембрия – распознавания на геолого-геохимической основе первичной природы метаморфизованных супракрустальных комплексов и выявления эволюционных закономерностей древнейших процессов седиментогенеза и вулканизма. В круг задач этого направления входит и прогнозирование полезных ископаемых на базе сопоставительного анализа процессов пороодо- и рудообразования в докембрии и фанерозое. А.А. Предовский много внимания уделяет подготовке научных кадров и пропаганде научных знаний. Им непосредственно подготовлено 4 кандидата наук, а всего с его прямым участием – 10 кандидатов наук. Среди его учеников 3 доктора наук. А.А. Предовский разработал курсы лекций по геохимии и по истории геологических наук и читает их студентам геологических специальностей МГТУ.

А.А. Предовский продолжает активную творческую деятельность, направленную, в частности, на выявление роли докембрийских процессов в формировании Баренцевоморской нефтегазоносной провинции. Полученные им данные позволили сформулировать ряд принципиально новых критериев прогноза крупных нефтегазоносных областей в зонах перехода континент-океан.



*Юбилеи*



Юбилеи

А.А. Предовский – первооткрыватель крупнейшего в пределах Кольского региона Палвинского месторождения флюсовых кварцитов в рифейских толщах полуострова Среднего.

80



#### **КИРНАРСКИЙ Юлий Мордухович**

ведущий инженер, в Геологическом институте КНЦ РАН работает с 1956 г.

Основная сфера научных интересов – минералогия и геохимия массивов щелочных пород и карбонатитов Карело-Кольского региона. Юлий Мордухович – автор более 50 опубликованных научных работ по минералогии и геохимии щелочных пород и карбонатитов.

Первым из сотрудников ГИ он начал целенаправленно изучать карбонатиты, исследовал массивы Гремяха-Вырмес, Ковдор, Вуориярви, Себлявр, Маврагубский, Песочный, Тикшеозерский и др. Он участвовал в создании рабочего атласа и банка данных по геологии и полезным ископаемым наиболее значительных и интересных щелочных массивов мира.

Неоценимый вклад Ю.М. Кирнарский внес в воспитание и подготовку молодых специалистов в области геологии. Является педагогом высшей квалификационной категории и старшим преподавателем кафедры геологии и полезных ископаемых Апатитского филиала Мурманского государственного университета. Увлеченно работает над воспитанием юных геологов, руководит геологическим кружком школьников в Апатитском городском доме детского творчества. Многие его «кружковцы» успешно окончили геологические вузы и работают геологами, среди них 4 кандидата наук. Организатор городских и областных геологических олимпиад школьников, руководитель областных команд на Всероссийских олимпиадах и слетах юных геологов. Создатель постоянно действующей выставки, посвященной академику А.Е. Ферсману.

Награжден знаком "Отличник народного просвещения СССР", педагог высшей квалификационной категории (2004).

75



#### **КОНУХИН Владимир Пантелеймонович**

д.т.н., профессор, заведующий лабораторией физико-технических проблем освоения и рационального использования подземного пространства ГИ КНЦ РАН. В Горном институте КНЦ РАН с 1986 г.

После окончания в 1962 г. Тульского политехнического института в течение 9 лет работал на строительстве высокогорных туннелей и гидротехнических

сооружений в Азербайджане и Армении, пройдя путь от горного мастера до заместителя главного инженера Закавказского спецуправления.

С 1971 по 1986 гг. его производственная деятельность была продолжена в качестве начальника Североморского управления «Гидроспецстрой» на строительстве военно-морских баз и судоремонтных заводов для ВМФ, ремонтно-технической базы атомного ледокольного флота и объектов атомной промышленности и гидроэнергетики в Мурманской, Архангельской и Ленинградской областях и Эстонии.

В Горном институте КНЦ РАН он занимается разработкой технологий скоростного строительства подземных и морских сооружений различного назначения в условиях Арктического региона, а также созданием научных основ проектирования, строительства и эксплуатации подземных комплексов для размещения объектов атомной энергетики.

Научно-исследовательские работы, выполненные возглавляемым им научным коллективом, послужили основой для развития международного сотрудничества Горного института с зарубежными партнерами. Совместно с российскими и западноевропейскими учеными и специалистами разработаны концептуальные проекты подземных хранилищ и могильников для радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива.

Плодотворная научно-организационная деятельность В.П. Конухина получила признание в профессиональных кругах. Он является руководителем и экспертом международных проектов по программам ООН, Европейской комиссии, Международного научно-технического центра и межправительственных соглашений, связанных с обеспечением ядерной и радиационной безопасности на Севере Европы в проектах: ENVIMINE – «Экологическая и геодинамическая безопасность при закрытии рудников в Баренц-регионе»; на строительстве Пункта долговременного хранения реакторных отсеков утилизируемых атомных подводных лодок и Центра кондиционирования и долговременного хранения радиоактивных отходов в Сайда-Губе.

В.П. Конухин является почетным академиком Академии горных наук, РАЕН, МАНЭБ, Нью-Йоркской академии наук. Входит в состав ряда научно-технических советов и комитетов федерального и регионального уровня, где участвует в выработке стратегии и принятии решений, направленных на повышение безопасности атомной энергетики и улучшение экологической ситуации в северо-западном регионе России.

Владимир Пантелеймонович является членом ученого и диссертационного советов Горного института и Национального минерально-сырьевого университета «Горный», автором и соавтором более 200 научных трудов, в том числе 18 монографий и имеет более 100 авторских свидетельств СССР и патентов РФ.

За многолетний и плодотворный труд на научном и производственном поприще он отмечен орденом «Знак почета», медалями «За доблестный труд» и «Ветеран труда». В 1986 г. В.П. Конухину присвоено почетное звание «Заслуженный строитель РСФСР», в 2012 г. – «Заслуженный деятель науки РФ», в 2013 г. – «Почетный гражданин Мурманской области».



Юбилеи



Юбилеи



### **КАЗАКОВ Лерий Александрович**

к.с.-х.н., с.н.с., зав. лабораторией дендрологии, заведующий Варзугского биосферно-геосферного стационара. В Полярно-альпийском ботаническом саде-институте КНЦ РАН с 1973 г. Окончил Всесоюзный заочный лесотехнический институт (1964). Специалист в области интродукции, лесоведения, агролесомелиорации, разработки научных и практических основ интродукции древесных растений на Крайний Север. Как автор и руководитель проекта участвовал в создании Дендрария северных и высокогорных видов, а также ряда отделов дендрологической коллекции, что позволило в 2 раза расширить состав коллекционного фонда деревьев и кустарников. С 1985 г. занимается решением проблем фитомелиорации эродированных земель побережья Белого моря (кузоменские пески). При его непосредственном участии создано более 70 га защитных насаждений сосны, из них 27 га уже переведены в лесопокрывную площадь. Победитель конкурса НИР по КФАН СССР (1980). Член ученого совета ПАБСИ. Доцент АФ МГТУ (2002–2008). Организатор Апатитского отделения Общества российско-финляндской дружбы Naapurit. Автор более 150 научных работ.



### **КАМЕНСКИЙ Игорь Леонидович**

к.х.н. (1970), старший научный сотрудник. В Геологическом институте КНЦ РАН с 1982 г. С 1961 г. после окончания геофизического факультета Ленинградского горного института Игорь Леонидович работал в поисковых геолого-разведочных партиях Сосновской экспедиции (г. Иркутск). С 1965 по 1966 гг. был младшим научным сотрудником института Земной коры Ленинградского государственного университета. С 1971 по 1980 гг. был младшим научным сотрудником ВНИГРИ.

Основные направления научной работы – геохимия изотопов гелия, благородных газов, геохронология. Занимается экспериментальными работами, связанными с изучением изотопного состава благородных газов (в основном гелия и аргона) в природных материалах земного происхождения, производством изотопных анализов гелия (и других благородных газов) на масс-спектрометрах МИ-1201 № 22-78 и МИ-1201 ИГ № 6-91-IV для горных пород и минералов девонских щелочно-ультраосновных интрузий Кольского п-ова, ксенолитов типа лерцолитов из разных мест Земли, природных газов Евразии, природных вод. Игорь Леонидович – один из высококвалифицированных исследователей и аналитиков России в области изучения и анализа благородных газов на масс-спектрометрической аппаратуре.

Игорь Леонидович участвовал во многих международных (INTAS, IGCP) и отечественных (РФФИ, ОНЗ РАН) научных проектах, а также является соавтором открытия в 1968 г. мантийного гелия. Опубликовал более 100 научных статей.



### **САВЧЕНКО Степан Николаевич**

д.т.н., ведущий научный сотрудник. В Горном институте КНЦ РАН работает с 1965 г. после окончания Новосибирского государственного университета по специальности «механика».

Специалист в области механики горных пород, владеющий современными аналитическими и численными методами исследования

напряженно-деформированного состояния массивов горных пород сложного геоморфологического и тектонического строения в условиях действия гравитационно-тектонических силовых полей.

Им поставлена и решена крупная научная проблема по исследованию закономерностей формирования напряженного состояния массивов, характеризуемых тектоническими неоднородностями типа трещин, разломов, блочностью различных масштабных уровней от литосферных плит до геолого-структурных образований и блоков на глубоких горизонтах различных месторождений Кольского п-ова. Обоснована одна из возможных моделей формирования блочных структур в процессе эволюционного развития земной коры, исследованы закономерности распределения напряжений в массивах с гористым рельефом.

Исследования, выполненные математическими методами, легли в основу практических рекомендаций по безопасной отработке и технических условий на проектирование отработки глубоких горизонтов на рудниках ОАО «Апатит».

Как специалист высокой квалификации с университетским механико-математическим образованием в течение длительного периода преподавал математические дисциплины в Кольском филиале Петрозаводского государственного университета.

За время работы им самостоятельно или в соавторстве опубликовано около 120 работ, в том числе 3 монографии, более 10 статей в зарубежных изданиях. С.Н. Савченко систематически выступает с научными докладами и принимает участие в работе совещаний, конференций и международных симпозиумов.

Является полным кавалером знака «Горняцкая слава». Награжден Почетными грамотами Президиума Российской академии наук в 1999 и 2010 гг.



### **БЕЛОГЛАЗОВ Михаил Иванович**

к.т.н., заведующий лабораторией атмосфера Арктики. В Полярном геофизическом институте КНЦ РАН с 1968 г.

Круг научных интересов очень широк – динамические и физико-химические процессы в атмосфере, радиофизические методы исследования ионосферы, особенности формирования атмосферного электрического и

электромагнитного полей естественного происхождения в высоких широтах.



*Юбилей*



Юбилеи

На основе проведенных М.И. Белоглазовым наземных экспериментов в диапазоне километровых радиоволн впервые в мире получены доказательства вторжения в нижнюю атмосферу Земли т.н. ультрарелятивистских электронов с энергиями более 100 МэВ. Выполненные под его руководством измерения атмосферного озона в приземном слое на территории Кольского п-ова и на арх. Шпицберген, позволили создать достаточно адекватную картину условий образования и динамики этой чрезвычайно важной малой газовой составляющей в зависимости от метеоусловий для разных временных и пространственных масштабов.

Михаил Иванович является автором и соавтором около 300 научных публикаций, в т.ч. 3 монографий и более 100 статей.



#### **ЗВЕРЕВ Владимир Леонидович**

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник (с 2004). В Полярном геофизическом институте КНЦ РАН с 1968 года после окончания физического факультета Ленинградского государственного университета.

Всю свою научную деятельность Владимир Леонидович посвятил изучению загадочного и интересного явления – полярных сияний. Он наблюдал сияния как в северном, так и в южном полушариях Земли, участвуя в высокоширотных арктических экспедициях ПГИ на архипелагах Земля Франца-Иосифа (1987–1990) и Шпицберген (1991–1992), а также в 14-й Советской антарктической экспедиции (1969–1970). Владимир Леонидович является специалистом в области изучения полярных сияний, их связей с геомагнитной активностью, параметрами солнечного ветра, межпланетным магнитным полем, процессами в магнитосфере Земли. Долгие годы (1986–1995) Владимир Леонидович руководил Субцентром МЦД-Б2 – полярные сияния, был членом Межведомственной антарктической комиссии по приему и оценке материалов наблюдений полярных сияний, полученных в Антарктиде.

Автор и соавтор более 50 научных публикаций в отечественных и зарубежных изданиях. Награжден медалью «За трудовое отличие».



#### **ТЕРЕЩЕНКО Владимир Дмитриевич**

к.ф.-м.н., с.н.с. (1997), доцент (1997). В Полярном геофизическом институте КНЦ РАН с 1968 г.

Окончил Ленинградский государственный университет (1967). Специалист по развитию теории радиофизических методов исследования ионосферной плазмы, а также по практическому применению этих методов для изучения структуры и динамики ионосферы высоких широт. Им была разработана теория методов некогерентного рассеяния и частичного отражения радиоволн с учётом особенностей поведения полярной ионосферы, обусловленных наличием в ней сильного электрического поля и потоков высокоэнергичных частиц. Развита теория генерации и распространения магнитогидродинамических волн в атмосфере и

ионосфере Земли с учетом совместных эффектов гравитации и магнитного поля. Экспериментально методом частичных отражений зафиксированы особые события: подводный взрыв на АПЛ Курск (2000 г.); Витимский и Челябинский метеориты (2002 и 2013 гг.); гамма-всплеск магнитара (2004 г.); сильнейшие землетрясения в Юго-Восточной Азии, Японии, Турции и Норвежском море (2004–2012 гг.); две мощные солнечные вспышки (январь 2005 г. и декабрь 2006 г.); пуски легких ракет из акватории Баренцева моря и Плесецка (2007–2011 гг.). Предложены способы определения концентрации малых составляющих и заряженной пыли в мезосфере во время появления интенсивных отражений средних радиоволн. Возглавляемое в настоящее время направление исследований – изучение эффектов крупномасштабных воздействий на атмосферу и ионосферу Земли.

Председатель научно-технического совета и член ученого совета ПГИ КНЦ РАН.

Владимир Дмитриевич является автором и соавтором свыше 160 публикаций, в том числе четырех монографий и двух учебных пособий по электродинамике и распространению радиоволн.

Награжден медалью "За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина" и медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, Почетной грамотой Президиума Академии наук СССР, Благодарственным письмом Президиума Российской академии наук, дипломами Кольского научного центра РАН за научно-технические достижения, включенные в важнейшие итоги деятельности Российской академии наук в 2003 и в 2004 гг., почетной грамотой и благодарностью губернатора Мурманской области.



*Юбилеи*

65



**САХАРОВ Ярослав Алексеевич**

к.ф.-м.н. (1986), зав. лабораторией (с 2003). В Полярном геофизическом институте с 1973 г. Основная область научных интересов – исследование магнитосферных возмущений. Принимал участие в серии международных азростатных экспериментов "САМБО" (1974–1982). Прошел научные стажировки в Германии, Швеции, Франции. В настоящее время занимается организацией геофизических наблюдений на Кольском п-ове и арх. Шпицберген. Автор более 20 научных публикаций. Доцент (1996), зав. кафедрой прикладной математики КФ ПетрГУ (с 2005).

Награжден Почетной грамотой РАН (1999).

2013. № 3

*Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences*

ISSN 2307-5228

ISBN 978-5-91137-259-0

**NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**

A.A. Predovsky, I.V. Chickiryov, D.A. Nekipelov	Main Features of Aulocogenes, Syncline Troughs and Depressions.....	3
N.N. Melnikov, V.P. Konukhin, V.A. Naumov, S.A. Gusak, A.V. Naumov, E.V. Karavayeva, S.I. Pechenyuk	Study of Long-lived Radionuclides Accumulation in the Cores of Reactor Facilities of Nuclear Icebreakers.....	9
	Investigation of Sorption Properties of Metals Amorphous Oxyhydroxides with Regard to Anions.....	20
<i>E.D. Tereshchenk,</i> <i>V.F. Grigoriev,</i> <i>P.E. Tereshchenko</i> <i>, R.Yu. Yurik</i>	The Effect of Faulting on the Structure of the Natural Magnetic Field in the Kola Bay.....	34
T.A. Kornilova, I.A. Kornilov	THEMIS Observations of Three Similar Dipolarization Events.....	40
<i>V.A. Masloboyev,</i> <i>A.A. Baklanov,</i> <i>S.I. Mazukhina,</i> <i>P.V. Amosov</i>	Computer Modelling of Dusting Processes in Tailings Impoundment.....	44
I.A. Razumova	Gender Stereotypes in the Context of Ethnocultural Situation: Saami Women in Russian Ethnography.....	50
<i>O.A. Bodrova</i>	The Visual Aspects of the Kola Sami Culture and its Characteristics of Presentation (a Case Study of Ethnographic Sources in the 18 <sup>th</sup> – Beginning 20 <sup>th</sup> Centuries).....	56
V.A. Minin, O.E. Konovalova, E.A. Ivanova	Prospects of Using MicroHPP in Remote Areas of the North.....	62
O.V. Fridman, A.Ya. Fridman	Situational Modelling of Complex Nature-Technical Systems Considering Safety Facets.....	69
	<b>CHRONICLE</b> .....	78
	<b>SCIENTIFIC ISSUES OF KSC RAS INSTITUTIONS INCLUDED INTO THE LIST OF RAS SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS IN 2012</b> .....	79
	<b>CONFERENCES, WORKSHOPS</b> .....	85
	<b>NEW BOOKS</b> .....	91
	<b>ANNIVERSARIES</b> .....	94
	<b>CONTENTS</b> .....	103

**A.A. Predovsky, I.V. Chickiryov, D.A. Nekipelov**

#### **MAIN FEATURES OF AULOCOGENES, SYNCLINE TROUGHS AND DEPRESSIONS IN CONNECTION WITH THE PROBLEM OF TYPOLOGY OF CRUST STRUCTURES**

The study is based on the model of mantle-crust interaction and on morphostructural analysis. The formation features of synform crust structures (aulocogenes, linear syncline troughs and depressions) are characterized. It is shown that the ruling factors of the process are the activated long-living deep lineament zones (DLZ).

*Keywords: mantle-crust interaction, aulocogenes, troughs, depressions, typology of crust structures.*

**N.N. Melnikov, V.P. Konukhin, V.A. Naumov, S.A. Gusak, A.V. Naumov, E.V. Karavayeva**

#### **STUDY OF LONG-LIVED RADIONUCLIDES ACCUMULATION IN THE CORES OF REACTOR FACILITIES OF NUCLEAR ICEBREAKERS**

The article contains a brief description of the problem related to nuclear and radiation-hazardous facilities dismantling at the former coastal bases of Northern Fleet and the floating technical bases (FTB) of the nuclear icebreakers fleet located in the Kola Peninsula. The paper presents the methodology and main results of study of long-lived radionuclides accumulation in the reactor cores of "Lenin", "Arctica" and "Sibir" nuclear icebreakers, of which the spent nuclear fuel (SNF) was reloaded into the FTB "Lepse" during the period from 1963 to 1981. Based on the study results, the assessment has been carried out of  $\alpha$ - и  $\beta$ - activity of SNF in the "Lepse" storage facility at present period of time.

*Keywords: radiation-hazardous facilities, nuclear icebreakers, dismantling, spent nuclear fuel, long-lived radionuclides.*

**S.I. Pechenyuk**

#### **INVESTIGATION OF SORPTION PROPERTIES OF METALS AMORPHOUS OXYHYDROXIDES WITH REGARD TO ANIONS**

The main results of systematical fundamental research of anions that are environment pollutants (arsenate, phosphate, oxalate) with amorphous oxyhydroxides of iron, zirconium, aluminium and chromium are briefly expounded. The sorption mechanisms are presented in the light of the modern view on the interaction of ions with an electrically charged surface and the formation of sorption complexes.

*Keywords: sorption, sorption complex, surface charge, sorption isotherm, extraction, sorption mechanism, point of zero charge.*

**E.D. Tereshchenko, V.F. Grigoriev, P.E. Tereshchenko, R.Yu. Yurik**

#### **THE EFFECT OF FAULTING ON THE STRUCTURE OF THE NATURAL MAGNETIC FIELD IN THE KOLA BAY**

The results of simultaneous studies of electromagnetic noise on the bottom of the Kola Bay and on the island near point of the equipment dipping, as well as at the observatory, located at a considerable distance from the place of measurements in the bay are presented. It is presented the description of the equipment used in the experiment which includes: an upgraded receiving equipment of the marine receiving and transmitting complex, the electromagnetic fields mobile and stationary meters. It is shown the effect of faulting on the structure of the natural magnetic field, which leads to the vertical component enhancement in the bay.

This work was supported by the RFBR (grant no. 11-05-12015-офи-м-2011). The authors wish to thank A.N. Milichenko and F.S. Polyakov for their help in marine experiments.

*Keywords: Kola Bay, fault tectonics, natural magnetic field, the magnetic field meters.*

**T.A. Kornilova, I.A. Kornilov**

#### **THEMIS OBSERVATIONS OF THREE SIMILAR DIPOLARIZATION EVENTS**

During one-hour time interval (11.02.2008, 00:00-01:15 UT) THEMIS spacecraft (X=-6 Re, Y=4 Re) detected three almost identical dipolarization events coupled with very similar auroral activity of pseudobreakup type and rather different dispersionless particle injections.

In the first event, both electron and proton spectra are strongly oscillating (period about 2.5 minutes) and anticorrelating. Electron spectrum also demonstrates anticorrelation of electron fluxes with energies 10-500 eV and 2-20 keV correspondingly, so in this case all electrons are accelerated from the local cold plasma background by some active processes at the front of dipolarization wave, and in this case dipolarization is a primary event.

In the second event, electron fluxes were sharply increased without noticeable changes in electrons energy. Fine details of dipolarization (Bz components variations) for several seconds delayed of electron flux variations, so we can suppose that dipolarization is a secondary process.

In the third event, there was no substantial changes in the total electron flux, but the average electron energy increased from 2 keV up to 12 keV.

Different electrons and ions energy spectra behavior and different time delays between particles injection and dipolarization demonstrate that magnetospheric plasma can release redundant energy by different ways having rather similar external appearance in aurora and dipolarization.

*Keywords: magnetosphere, substorm, dipolarization, electron and ion acceleration.*

**V.A. Masloboyev, A.A. Baklanov, S.I. Mazukhina, P.V. Amosov**

#### **COMPUTER MODELLING OF DUSTING PROCESSES IN TAILINGS IMPOUNDMENT**

Based on the analysis of numerical 2D modelling results of dusting processes of multi-disperse admixture through variation of dusting surface height the authors have to conclude that it is necessary to build 3D digital models of aerogasdynamics of "ANOF-2 – Apatity town" area. Such models will provide for reasonable assessment of potential pollution of atmosphere surface layer when the design height of tailings impoundment ANOF-2 is increased from height 180m to 200m.

*Keywords: dusting, tailings impoundment, pollution, atmosphere, modelling.*

**I.A. Razumova**

#### **GENDER STEREOTYPES IN THE CONTEXT OF ETHNOCULTURAL SITUATION: SAAMI WOMEN IN RUSSIAN ETHNOGRAPHY**

Notions of ethnic gender and family roles are examined in the article. Author dwells upon ethnic groups which has been subjects of ethnic situation in Kola Peninsula in different historical periods: Saami and Russians. She based on results of current researches by Barents Centre of Humanities, Kola Research Center RAS. Main attention is given to the reception of gender sexual and conjugal relations among aboriginal Saami inhabitants by representatives of Russian culture in different times. Written Ethnography statements are the sources. Texts demonstrate the correlation between ethnical and sexual stereotypes. Saami culture is represented as feminine one. Variability and historical dynamics of these stereotypes are indices of the state of social environment in the region evidence. They indicate changes in cultural distances between ethnic groups with different statuses.

*Keywords: Saami, Russian Ethnography, Genders roles, sexuality, stereotypes, ethnic contacts.*

**O.A. Bodrova**

#### **THE VISUAL ASPECTS OF THE KOLA SAMI CULTURE AND ITS CHARACTERISTICS OF PRESENTATION (A CASE STUDY OF ETHNOGRAPHIC SOURCES IN THE 18<sup>TH</sup> – BEGINNING 20<sup>TH</sup> CENTURIES)**

The paper reviews characteristics and ways to present the visual aspects of the Kola Sami image in the Russian ethnography in the 18<sup>th</sup> – beginning 20<sup>th</sup> centuries. The concepts of Lapland's nature, anthropologic data, traditional habit and house form main components of the Sami image. The characteristics of presentation of these elements are revealing the Sami culture as a "barbaric", "aborbgenal", exotic by contrast to the Russian culture.

*Keywords: Sami people, ethnic image, Russian ethnography, anthropology, traditional habit, traditional house.*

**V.A. Minin, O.E. Konovalova, E.A. Ivanova**

#### **PROSPECTS OF USING MICRO HPP IN REMOTE AREAS OF THE NORTH**

The paper presents the hydrographic and hydrological feature of small and medium rivers of the Kola Peninsula. It also discusses the advantages and preconditions for the construction of the micro hydropower plants (HPPs) for remote consumers in the region. Technical and cost indicators for such plants are given.

*Keywords: hydropower resources, modern domestic and foreign micro-HPPs.*

**O.V. Fridman, A.Ya. Fridman**

#### **SITUATIONAL MODELLING OF COMPLEX NATURE-TECHNICAL SYSTEMS CONSIDERING SAFETY FACETS**

The paper briefly introduces a situational approach to modelling complex spatial dynamic objects based on a hierarchical conceptual model of the object. This model incorporates a GIS and an expert system. The approach is exemplified with modeling a tailing pit of an apatite-nepheline ore-dressing plant and one of the tasks of the dispatcher service in the regional power supply system. The modelling process is implemented in a generalized state space comprising both numerical and string variables. This way the modelling system provides usage of expert knowledge regarding danger degrees for different states of the object under investigation.

*Keywords: Spatial dynamic object, situational control, conceptual model, situational modelling, decision making.*