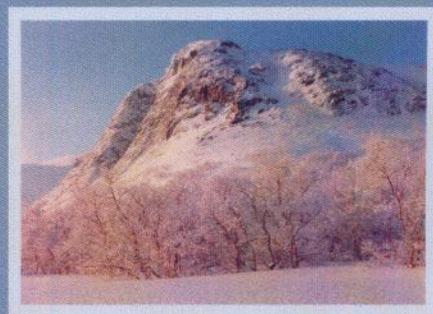


*Российская Академия Наук*

# ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

1/2013



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

**1/2013** (12)

издается с декабря 2009 года

ISBN 978-5-91137-239-2

ISSN 2307-5228

*Российская Академия Наук*

# ВЕЕСТНИК

## Кольского научного центра РАН

**Учредитель - Учреждение Российской академии наук Кольский научный центр РАН**

Главный редактор - академик В.Т. Калинин

Заместители главного редактора  
д.г.-м.н. В.П. Петров,

д.т.н. А.Я. Фридман (руководитель редакции)

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, 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**

Ю.А. Балашов, Т.Б. Баянова	Окислительно-восстановительные параметры разновозрастных формаций Балтийского щита.....	3
В.К. Каржавин	Роль концентрации углерода кианита в образовании алмазов.....	6
А.А. Козырев, М.М. Каган, К.Н. Константинов, И.Г. Панасенко	Результаты мониторинга напряжений и деформаций блоковых структур массива горных пород по данным деформационных измерений на геодинамическом полигоне Кировского рудника ОАО «Апатит».....	11
В.М. Бусырев, О.Е. Чуркин	Оценка эффективности освоения перспективных месторождений с соблюдением интересов владельца и недропользователя.....	16
В.М. Бусырев	Стоимость минерально-сырьевых ресурсов в месторождениях и ее свойства.....	20
А.И. Калашник, Н.А. Калашник	Исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия.....	27
Н.А. Калашник	База геомеханических данных и геодинамических проявлений на морских нефтегазопромислах.....	31
Е.Д. Терещенко, В.А. Любчик, А.Н. Миличенко, С.В. Пильгаев	Использование электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона для аварийной связи в шахтах.....	36
В.Г. Дворецкий, А.Г. Дворецкий	Особенности биологии ракообразных, ассоциированных с морским льдом в Арктике (обзор).....	43
И.В. Блинова	Краткий обзор исследований по фауне насекомых и паукообразных Мурманской области в XX–XXI столетиях.....	58
Н.Р. Кириллова	Исследования водной растительности в Мурманской области.....	66
О.В. Фридман, А.Я. Фридман	Координация управлений в сложных системах с помощью нейронных сетей.....	73
А.А. Зуенко, А.Я. Фридман	Управление ограничениями при концептуальном моделировании сложных организационно-технических систем: контекстный подход.....	79
	<b>ХРОНИКА</b> .....	85
	<b>АКТУАЛЬНОЕ ИНТЕРВЬЮ</b> .....	87
	<b>КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ</b> .....	89
	<b>НОВЫЕ КНИГИ</b> .....	90
	<b>ЮБИЛЯРЫ</b> .....	93
	<b>CONTENTS</b> .....	99

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: Л.А. Тимофеева, З.А. Уланова.

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

Верстка, фото В.Ю. Жиганов

## ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ФОРМАЦИЙ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

Ю.А. Балашов, Т.Б. Баянова  
Геологический институт КНЦ РАН

### Аннотация

На территории Балтийского щита сосредоточены разновозрастные и разнотипные интрузивные, вулканогенные и метаморфические комплексы пород, для которых до сих пор отсутствуют системные данные по вариациям летучести кислорода, хотя подобная информация является одним из важнейших факторов геохимического и петрологического анализа при расшифровке условий генерации отдельных массивов и связанных с ними типов рудоносности. Сделана попытка обобщения окислительно-восстановительных параметров становления и преобразования рудоносных систем Кольского п-ова и других регионов и сопоставления с современными знаниями о летучести кислорода в разновозрастных мантийных и коровых комплексах других регионов Балтийского щита.

### Ключевые слова:

*литосфера, породы коры и мантии, редкоземельные элементы, летучесть кислорода.*



Как уже указывалось [1–3], вариации отношения четырех- и трехвалентного церия ( $Ce^{+4}/Ce^{+3}$ ) в цирконах (геохимический буфер – «CeB») являются удобным параметром для измерения летучести кислорода в породах коры и мантии. Особый интерес представляет переходная зона между верхней частью мантийной литосферы и перекрывающей ее нижней частью коры. Эта зона несет признаки интенсивного окисляющего влияния летучести кислорода на исходные породы и цирконы.

Публикация новой информации по цирконам для Балтийского щита [1, 4, 5 и др.] позволяет более детально проследить взаимодействие пород мантии и коры с процессами привноса кислорода в переходной части литосферы. Ниже представлены результаты для ряда пород Балтийского щита в развертке по геохронологическому времени.

Нижняя часть коры в районе Беломорского подвижного пояса (Кандалакша, юго-восточная зона Кольского п-ова) имеет мощность 10–20 км и возраст слагающих ее пород 2.84–0.26 млрд лет [4]. Здесь преобладают архейские и протерозойские цирконы, среди которых отмечаются магматические и метаморфические разности в базальтовых и гранулитовых слоях. По уровню отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  (рис. 1) архейские цирконы отличаются резко пониженными значениями, тождественными с наблюдаемыми в цирконах нижних частей литосферы, если сопоставлять с цирконами других регионов в перидотитах и кимберлитах [2]. Беломорские цирконы протерозоя разделяются на две группы. Часть цирконов имеют отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  с восстановительными параметрами нижней части мантийной литосферы, что тождественно архейским аналогам данного района. Другие цирконы обогащены  $Ce^{+4}$ , что согласуется с цирконами, формировавшимися в резко окислительных условиях [2]. То же касается кандалакшинского циркона палеозоя.

Следует напомнить, что вдоль северного побережья Белого моря отмечаются многочисленные трубки взрыва с геохимическими признаками генерации в мантии.

Приведенные данные о значительных вариациях отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  более определенно уточняют контрастность глубин генерации мафитовых мантийных источников пород.

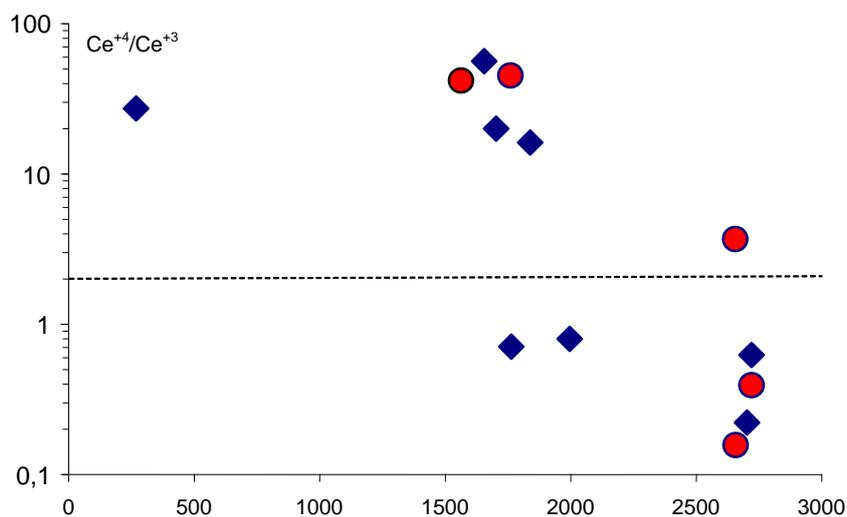


Рис. 1. Вариации отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  в магматических (квадраты) и метаморфических (округлые т.) цирконах, Беломорский подвижный пояс. Пунктиром отмечена пограничная зона между параметрами  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  нижней и верхней частей мантийной литосферы согласно [2]

Вторая группа пород, относящаяся к нижней части коры, представлена разновозрастными полиметаморфическими комплексами, несущими признаки вторичной перекристаллизации под влиянием изменений Р-Т параметров коры: амфиболитовые, гранулитовые и эклогитовые типы пород [5]. Цирконы из этих пород различаются по ряду признаков – размеру, форме, зональности и цвету кристаллов, а также по геохимическим особенностям [5]. Так, например, в междуречье р. Юрийоки и оз. Явр (район пояса Тана) выделены три типа гранулитов: гранат-амфиболовые гнейсы (Тан-2), кислые гранулиты (Тан-3) и основные гранулиты (Тан-4) с возрастом метаморфизма  $1915 \pm 3$  лет. Для них отмечаются следующие вариации отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  в цирконах: 37.4–46, 11.3–13.5 и 22.9–45.9 (рис. 2). Это в целом определенно соответствует резкому преобладанию окислительных по кислороду условий перекристаллизации исходных пород в условиях гранулитового метаморфизма.

Третья группа пород относится к громадной провинции щелочных гранитов восточной части Кольского п-ова [6], среди которых измерение отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  проведено для Понойского массива (рис. 2) [1]. Возраст массива равен  $2667 \pm 8$  лет, а метаморфические цирконы формировались в интервале 1838–1741 лет.

Очевидно, что магматические цирконы характерны в окислительных по летучести кислорода условиях, а метаморфические цирконы – при нестабильных режимах, сильно варьирующих по отношению  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  примерно в интервале магматической системы.

Самостоятельные группы представляют собой щелочные агапитовые интрузии центральной части Кольского п-ова и щелочные пегматиты Норвегии.

Для Хибинского и Ловозерского щелочных массивов данных по цирконам нет. Но для петрологического буфера FMQ приближенная оценка близка к нулю [7], что при пересчете на буфер CeV соответствует  $\sim 3.8$ , т.е. означает существование слабо окисленной среды. Для магматических цирконов из карбонатитового ядра Ковдора в этих же координатах отмечается интервал от + 0.3 до + 2 [2], что близко к данным для Хибинского щелочного массива. Для щелочных пегматитов Норвегии района Осло [2, 8, 9] выявлены чрезвычайно высокие отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  вплоть до 506 по буферу CeV, что свидетельствует об экстремально окисленных по кислороду условиях преобразования цирконов.

Особый интерес представляют первые данные по отношению  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  в цирконах из расслоенных мафических платиноносных интрузий центральной части Кольского п-ова. По данным для трахитоидных габроноритов Мончетундры с возрастом 2470 лет (Sm-Nd метод, данные В.Ф. Смолькина и Т.Б. Баяновой), по буферу CeV отмечается резкое окисленное состояние для цирконов (от +6.7 до +18.1).

Наконец, отметим первые данные для гнейсов и кварцитов Оленегорского и Кировогорского месторождений центральной части Кольского п-ова с сильно варьирующим отношением  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  от 0.1 до 26.13, что отражает многократное преобразование кислых пород региона.

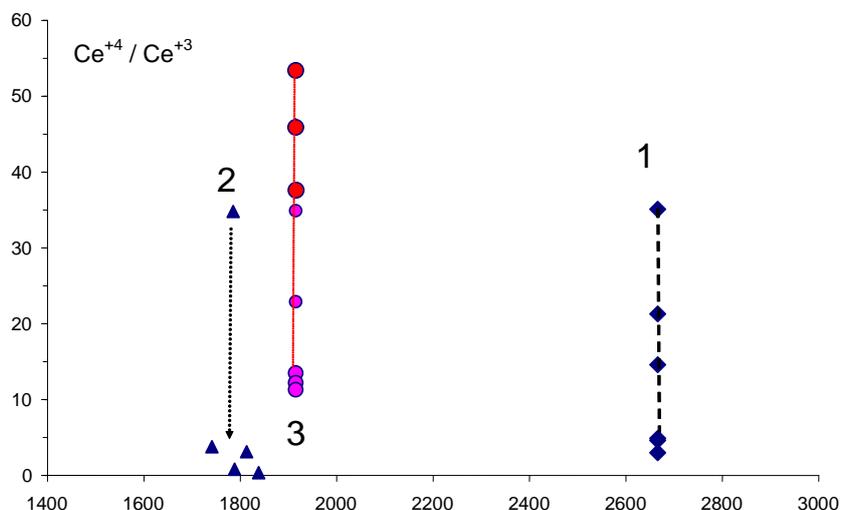


Рис. 2. Вариации отношения  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  в магматических цирконах щелочных гранитов Понойского массива (1) и его метаморфической фашии (2), а также в гранулитах пояса Тана (3)

Этот обзор по Балтийскому щиту следует рассматривать как первую попытку описать достаточно серьезные масштабы геохимического преобразования мантийных и коровых систем в пограничных зонах перехода от мантийных к коровым разрезам литосферы, о чем до последнего времени отсутствовали какие-либо четкие представления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов Ю.А. Контрастность геохимии магматических и вторичных цирконов / Ю.А. Балашов, С.Г. Скублов // Геохимия. 2011. № 6. С. 622–633.
2. Balashov Yu.A. Correlation of oxygen fugacity in the mantle lithosphere between  $Ce^{+4}/Ce^{+3}$  relation of zircons and petrological buffer FMQ / Yu.A. Balashov, E.V. Martynov // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 2. Р. 311–329.
3. Балашов Б.А. Процессы конденсации и аккреции допланетного облака / Б.А. Балашов, Г.Б. Ферштатер, А.А. Краснобаев, Ф. Беа, П. Монтеро // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 3–8.
4. Ветрин В.Р. Этапы формирования нижней коры Беломорского подвижного пояса (Кольский полуостров) / В.Р. Ветрин, Е.Н. Лепехина, И.П. Падерин, Н.В. Родионов // ДАН. 2009. Т. 424, № 5. С. 676–681.
5. Каулина Т.В. Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты, 2010. 144 с.
6. Ветрин В.Р. Геология и геохронология неархейского анорогенного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров / В.Р. Ветрин, Н.В. Родионов // Петрология. 2009. Т. 17, № 6. С. 578–600.
7. Рябчиков И.Д. Окислительно-восстановительный потенциал Хибинской магматической системы и генезис abiогенных углеводородов в щелочных плутонах / И.Д. Рябчиков, Л.Н. Когарко // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51, № 6. С. 475–491.
8. Belousova E.A. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type / E.A. Belousova, W.L. Griffin, S.Y. O'Reilly, N.I. Fisher // Contrib. Mineral. Petrol. 2002. Vol. 143. P. 602–622.
9. Belousova E.A. Trace elements in zircon and apatite: application to petrogenesis and mineral exploration. PhD Thesis, 2000, Macquarie University, Australia.

#### Сведения об авторах

Балашов Юрий Андреевич – д.г.-м.н, главный научный сотрудник, профессор;

e-mail: balashov@geoksc.apatity.ru

Баянова Тамара Борисовна – д.г.-м.н, зав. лаб.; e-mail: Tamara@ geoksc.apatity.ru

## РОЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕРОДА КИАНИТА В ОБРАЗОВАНИИ АЛМАЗОВ

В.К. Каржавин

Геологический институт КНЦ РАН

## Аннотация

Представлены результаты физико-химического моделирования процесса образования графита и алмаза в широком интервале температуры и давления в области существования кианита. Для исследования использовались данные химического анализа кианита с различным содержанием углерода. Установлено, что образование алмаза возможно при определенных величинах  $T$ ,  $P$  и концентрации углерода. Выявлены характерные изменения в составе твердой фазы в присутствии восстановительных условий с флюидом, который содержит незначительные концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и др. Показана возможность кристаллизации и существования обеих полиморфных модификаций углерода в системе  $\text{Ky-Sil-And}$  и области метастабильного алмаза с графитом. Это позволило считать, что совместная кристаллизация алмаза и графита в алюмосиликатной системе свидетельствует об относительно низкотемпературных условиях их образования (при температуре ниже 1 тыс.  $^\circ\text{C}$ ).

## Ключевые слова:

углерод, алмаз, физико-химическое моделирование, кианит,  $P$ - $T$  диаграмма, термодинамические параметры, состав, твердая фаза, флюидная фаза.



Принято считать, что алмазы кимберлитовых трубок образуются из углерода в условиях чрезвычайно высоких давлений и температуры (мантийная (высокобарическая) гипотеза). Основанием для такого предположения явилась первая попытка определения полей устойчивости полиморфных модификаций углерода термодинамическими расчетами превращения углерода в алмаз [1]. В дальнейшем появился ряд уточняющих теоретических работ по определению равновесных условий графит – алмаз (рис. 1) [2, 3].

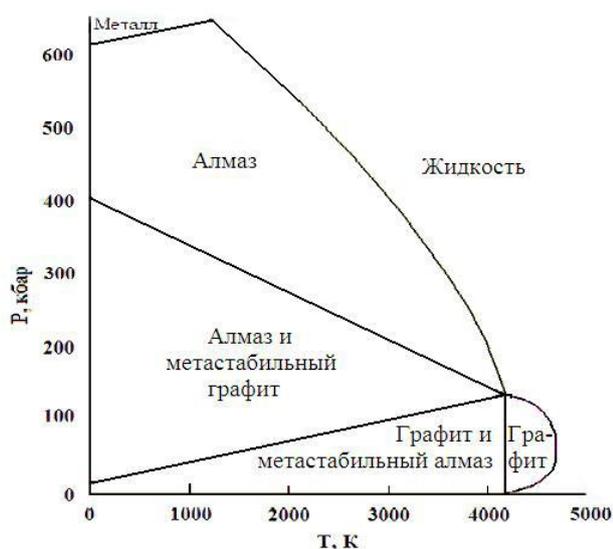


Рис. 1. Фазовая диаграмма состояния углерода [2, 3]

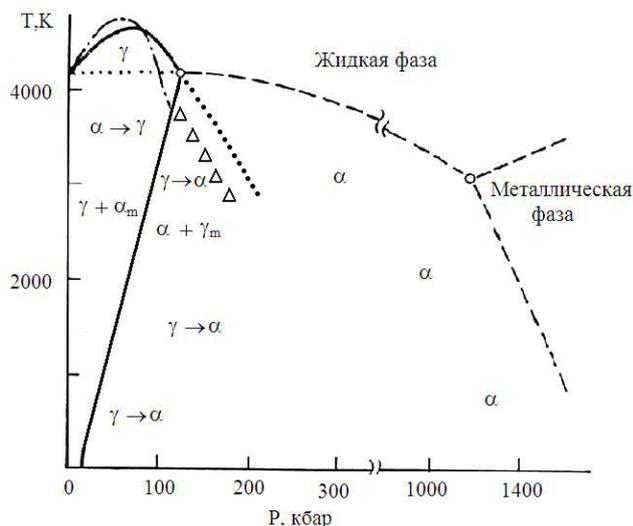


Рис. 2. Фазовая диаграмма графит-алмаз [4], где  $\alpha$ ,  $\gamma$  – области стабильности алмазной и графитовой фаз;  $\alpha_m$ ,  $\gamma_m$  – метастабильные алмазная и графитовая фазы

На рис. 2 на основании различных немногочисленных экспериментальных данных (точки, треугольники) была уточнена и предложена одна из последних версий фазовой диаграммы углерода

[4]. Представленные диаграммы (рис. 1, 2) были созданы на основании теоретического исследования фазового равновесия графит–алмаз. При этом не учитывалась возможность использования для синтеза алмаза вместо углерода различных углеродсодержащих твердых, жидких и газообразных соединений. Поэтому, анализируя возможные механизмы образования алмазов, следует отметить, что существует несколько предполагаемых теорий: магматическая, мантийная, флюидная, метеоритная, метаморфическая, импактная и др. Единого мнения по данному вопросу так и не найдено.

Действительно, экспериментально подтверждено, что образование углеродсодержащих веществ (и алмаза в том числе), согласно установленным и подтвержденным многочисленным механизмам, возможно в широком диапазоне термодинамических параметров: давления и температуры – от  $10^{-7}$  до  $10^6$  бар и от  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $4\text{ тыс. }^{\circ}\text{C}$  [5], взрывных (детонационных) алмазов при давлении до 150 кбар [6]. Напротив, газофазный синтез алмазов имеет несколько иные параметры давления: от  $10^{-3}$  до 2500 бар в интервале температур  $600\text{--}2500\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7, 8], а также даже взрывное происхождение [9, 10]. Некоторые исследователи считают, что определяющим для образования алмазов в графитсодержащей системе является не только давление, а скорее – мгновенный рост температуры [7, 11] в неокислительной среде с отрицательным кислородным балансом [12–14]. Кроме того, установлено, что на процесс синтеза алмазов могут оказывать влияние некоторые специфические особенности строения углеродсодержащих веществ (соединений) и условия, способствующие разрыву химических связей в исходной молекуле [15].

Изложенный материал явился основанием для постановки многочисленных экспериментальных работ, которые подтвердили возможность синтеза алмазов не только посредством углерода, но также карбонатов и различных органических соединений [6, 16, 17]. В нашей предыдущей работе была показана возможность образования алмаза именно за счет карбонатов при их мгновенном нагревании [18]. Модельные исследования физико-химических условий образования алмазов позволяют установить и дать принципиально новую, обоснованную информацию о возможной среде синтеза алмаза с более углубленным пониманием природы этих процессов в сложной природной системе.

Во многих разновозрастных массивах Кольского п-ова, подверженных метаморфическим преобразованиям, установлено присутствие различных углеродсодержащих соединений [19]. Минералогия углерода характеризуется широким распространением таких соединений, различных их модификаций за счет геологической эволюции природных объектов. Кианитовые сланцы свиты Кейв с углеродом являются уникальным образованием в геологическом, геохимическом и минералогическом аспектах [20, 21]. Разнообразие кианитовых руд, связанных с многообразием форм выделения кианита, свидетельствует о том, что он является минералом, чутко реагирующим на изменения геологических условий образования.



*Рис. 3. Образец кианита из коллекции музея Геологического института КНЦ РАН*

В качестве объекта исследования был выбран кианит, содержащий включения углеродистого вещества и имеющий черную окраску. Темный цвет кианитовых сланцев обязан присутствию в них тонкодисперсного углеродистого вещества (графитоида) (рис. 3). Наиболее обогащены графитоидом конкреционные образования кианитового сланца. При неравномерном распределении он образует скопления с рутилом. Общее содержание графитоида принимается равным величине потери веса кианита после прокалывания в пламени паяльной лампы (он становится светлым) и иногда превышает 3 масс. % [20, 22].

Моделирование геохимических процессов служит не просто способом наглядного и достоверного отображения фактических данных, но и

является инструментом получения новой информации о процессах, конечные результаты которых мы видим в геологических объектах. Поэтому физико-химическое моделирование поведения сложного состава флюида, равновесного с твердой фазой, осуществляется путем термодинамических расчетов создаваемых мультисистем для исследуемого образца (ПК “Селектор”). Для определения состава твердой и флюидной фаз при различных P–T параметрах в качестве исходных данных для модельных

исследований используются результаты химического анализа породы. В наших исследованиях каждая мультисистема содержала 15 независимых компонентов (элементов): Al-Ca-Fe-K-Mg-Na-Ni-Cu-P-S-Si-Ti-C-H-O. Расчетная матрица мультисистемы была составлена из 45 зависимых компонентов минеральных фаз и флюидной фазы, включающей десять газообразных компонентов: H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. Установление закономерностей распределения компонентов флюида и твердой фазы может дать весьма ценную информацию для решения важных проблем петрогенезиса, связанных с рудообразованием. За основу минеральных фаз в мультисистемах были приняты результаты изучения минерального состава основных, второстепенных и акцессорных компонентов [20, 21]: силикаты, алюмосиликаты, оксиды, карбонаты, апатиты, сульфиды и др.

Исходными данными для модельных физико-химических исследований послужили результаты химического анализа образца 352/10 (гора Тяпшманюку), любезно представленные Ю.Н. Нерадовским (табл. 1, вектор b<sub>1</sub>).

Физико-химическое моделирование проводилось для T = 300, 500, 700, 900 °C, давлении 1000, 5000, 10000 бар и при содержании углерода в мультисистемах 0.0227 (b<sub>1</sub>), 0.9032 (b<sub>2</sub>), 1.7832 (b<sub>3</sub>) и 2.7626 (b<sub>4</sub>) моль/кг. Последнее содержание углерода соответствует 3.42 масс. % по [22]. Планируемые физико-химические исследования позволят оценить роль концентрации углерода кианита в возможном образовании алмазов в природных условиях при указанных величинах температуры и давления.

Таблица 1

Химический и векторные составы исследуемого образца

Хим. состав	Масс. %	Вектор, моль/кг			
		b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>
SiO <sub>2</sub>	61.89	10.5050	10.3891	10.089	9.96472
TiO <sub>2</sub>	1.75	0.2192	0.21562	0.21461	0.21197
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.67	5.6275	5.53291	5.50797	5.44036
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.62	—	—	—	—
FeO	1.25	0.2518	0.24994	0.24642	0.24344
MgO	0.49	0.1217	0.01204	0.1191	0.11761
CaO	0.26	0.0464	0.04530	0.04542	0.04485
Na <sub>2</sub> O	1.31	0.4229	0.41805	0.4140	0.40894
K <sub>2</sub> O	1.16	0.2464	0.24168	0.24122	0.23827
∑H <sub>2</sub> O	0.06	2.4658	2.44865	2.41384	2.38422
S <sub>общ.</sub>	0.07	0.0218	0.0193	0.01542	0.02112
CO <sub>2</sub>	0.1	0.0227	0.9032	1.78366	2.76262
Ni	0.01	0.0017	0.0017	0.00167	0.00165
Cu	0.01	0.0025	0.0016	0.00154	0.00152
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.0184	0.0180	0.01794	0.00830
П.п.п.	2.16	—	—	—	—
∑O		30.6593	30.3882	30.3313	30.3174

По данным химического анализа образца кианита видно присутствие в нем незначительного (следового) содержания углерода (табл. 1, вектор b<sub>1</sub>). Поэтому в результатах расчета этого вектора полиморфные модификации углерода не установлены (отсутствуют), однако зафиксированы только следовые содержания CO<sub>2</sub>, CO и углеводороды. Сопоставление результатов расчета первых трех векторов совместного поведения фазового состава и компонентов флюида в зависимости от P-T параметров и концентрации углерода позволили установить некоторые характерные особенности и прийти к следующему выводу. Из полученного расчетного материала следует, что основными компонентами в твердой фазе исследуемых систем являются кианит, кварц, альбит, мусковит и ставролит. Выше 700 °C ставролит и незначительная концентрация хлорита в системе исчезают, и заметно возрастает содержание альбита. В пределах до 700 °C в системах присутствует рутил, а при повышении температуры свыше 700 °C вместо него появляется ильменит. Из результатов расчета

следует, что флюидная фаза в основном водоуглекислая с высокой концентрацией воды и незначительным содержанием метана и этана.

При увеличении содержания углерода (вектор  $b_2$ ) в системе до 0.9032 моль/кг при температуре свыше 500 °С и исследуемом диапазоне давлений прослеживается появление графита и алмаза и следовое содержание карбонатов в области высоких давлений. Анализ результатов численного моделирования позволил установить некоторые интересные отличия, которые можно проследить на примере твердой фазы. Действительно, образование алмаза в данной системе возможно, причем совместно с углеродом по аналогичным механизмам в неравновесной восстановительной обстановке. Причем, по результатам расчетов следует, что содержание углерода в исследуемой системе превышает количество образующего алмаза в два и более раза.

Установлены практически стабильные содержания кианита, альбита, анортита, ставролита, а также титансодержащих минералов (до 700 °С – рутил, выше 700 °С – ильменит). Вместе с тем прослеживается снижение содержаний биотита, мусковита, хлорита. Из сульфидных минералов более стабильными оказались  $NiS_2$  в области низких температур, а в области высоких –  $FeS$ . Следует отметить характерное влияние содержания углерода на процесс образования апатита: при незначительном содержании углерода (вектор  $b_1$ ) присутствует только гидроксил-апатит, а с повышением содержания углерода в системе вместо него появляется карбонат-апатит. По результатам расчетов прослеживается в исследуемой системе восстановительная водородная среда с флюидом, который содержит незначительные концентрации  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$  и др.

При последующем повышении содержания углерода в исходной системе до 1.7832 моль/кг (вектора  $b_3$ ) поведение компонентов системы и флюидный режим практически соответствуют изложенному выше и отличаются незначительно. Температурная зависимость углерода и алмаза при разных величинах давления представлены частично на рисунках (рис. 4 и 5).

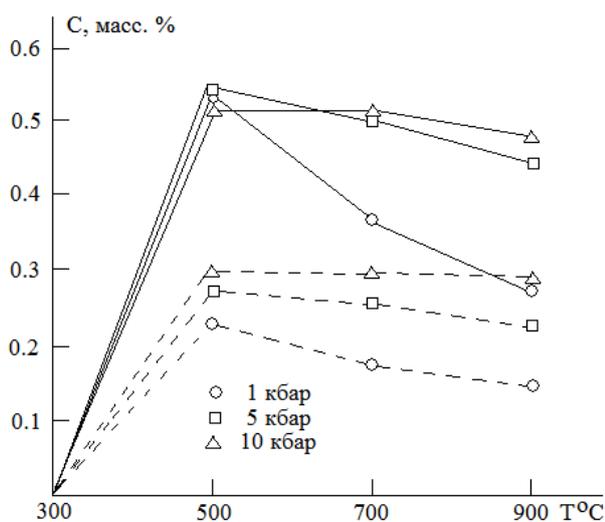


Рис. 4. Поведение углерода (сплошная линия) и алмаза (пунктир) при различных величинах температуры и давления. Содержание углерода в системе 0.9032 моль/кг

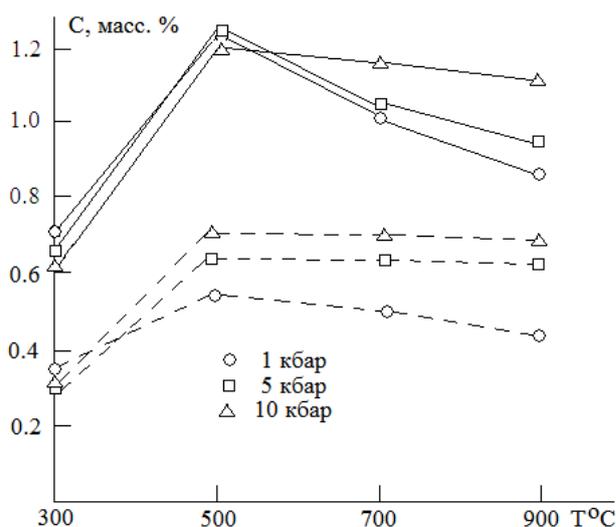


Рис. 5. Поведение углерода (сплошная линия) и алмаза (пунктир) при различных величинах температуры и давления. Содержание углерода в системе 1.7832 моль/кг

На рис. 6 представлено совмещение P-T диаграммы  $Al_2SiO_5$  с P-T диаграммой фазового равновесия алмаз – углерод. Из данного рисунка видно, что область существования кианита в системе Ку-Sill-And и области метастабильного алмаза, графита и алмаза с метастабильным графитом фазовой диаграммы алмаз-графит имеют аналогичные термодинамические параметры. Это означает, что при наличии в природной (или искусственной) системе соответствующих химических компонентов возможно совместное (одновременное) образование кианита, графита и алмаза при соответствующих параметрах давления и температуры. В связи с этим было проведено физико-химическое моделирование с использованием состава вектора  $b_4$  (табл. 1) для P-T термодинамических параметров, отмеченных точками на рис. 6. Результаты расчета для точек, отмеченных на рисунке, позволили

установить, что с повышением давления в системе увеличивается концентрация кианита при относительном стабильном содержании анортита и альбита. При этом постепенно исчезают из системы мусковит, ставролит и хлорит, а рутил замещается ильменитом при температуре 700 °С. Практически во всем интервале давления и температуры отмечается присутствие карбонат-апатита, за исключением высоких Р и Т, где появляется гидроксил-апатит. Состав флюидной фазы в основном водноуглекислый при относительно высоком содержании метана и этана.

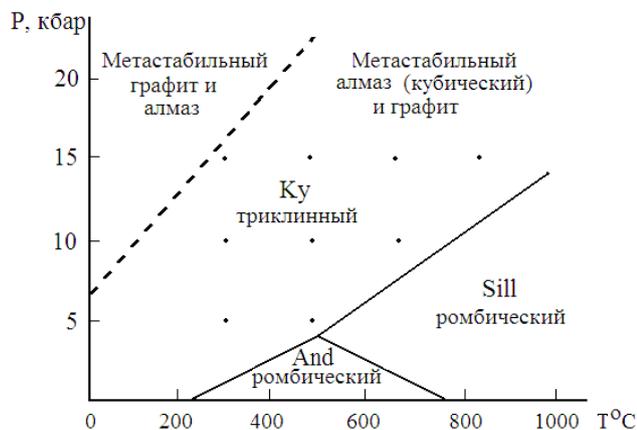


Рис. 6. Совмещенная P-T диаграмма  $Al_2SiO_5$  с фазовой P-T диаграммой состояния углерода

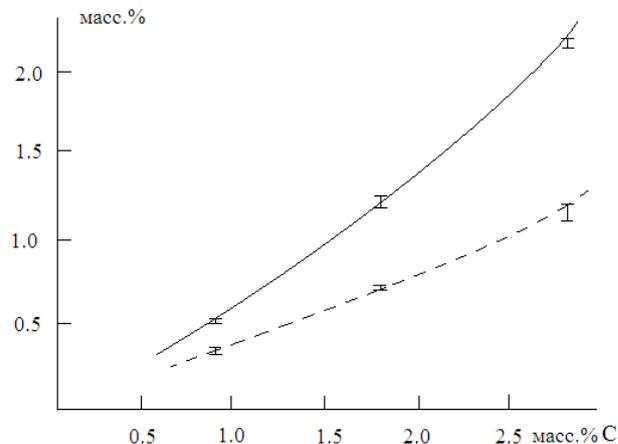


Рис. 7. Сплошная линия – углерод, пунктир – алмаз

На рис. 7 представлены в графической форме результаты проведенных расчетов в виде зависимости содержания графита (сплошная кривая) и алмаза (пунктир) от общего содержания углерода в кианите в использованном диапазоне температуры и давления.

Таким образом, в P-T области существования кианита в системе Ку-Sill-And и области метастабильного алмаза с графитом показана возможность кристаллизации и совместного существования обеих полиморфных модификаций углерода при температуре ниже 1000 °С. Поэтому совместная кристаллизация алмаза и графита в алюмосиликатной системе свидетельствует об относительно низкотемпературных условиях их образования. Однако при этих термодинамических параметрах велика вероятность превращения метастабильного алмаза в графит (графитизация), которое является медленным во времени процессом и сопровождается выделением энергии, равной 1.9 кДж/моль [23]. Именно это явление отмечают многие исследователи, изучая кристаллы алмазов различных месторождений в так называемых графитовых «рубашках».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лейпунский О.И. Об искусственных алмазах // Успехи химии. 1939. Т. VIII, вып. 10. С. 1519–1534.
2. Berman R. On the graphite-diamond equilibrium // R. Berman, F. Simon // Zeitschrift fur Electrochemie. 1955. Vol. 59, № 5. P. 333–338.
3. Bundy F.P. Direct conversion of graphite to diamond in static pressure apparatus // Journ. Chem. Phys. 1963. Vol. 38, № 3. P. 631–643.
4. Bundy F.P. The P, T phase and reaction diagram for elemental carbon, 1979 // J. Geophys. Res. 1980. Vol. 85. P. 6930–6939.
5. Шумилова Т.Г. Минералогия самородного углерода. Екатеринбург: Уро РАН, 2003. 315 с.
6. Руденко А.П. Химический синтез алмаза. Аспекты общей теории / А.П. Руденко, И.И. Кулакова, В.Л. Скворцова // Успехи химии. 1993. Т. 62, вып. 2. С. 99–117.
7. Дигонский С.В. Неизвестный водород / С.В. Дигонский, В.В. Тен. СПб.: Наука, 2006. 292 с.
8. Зубков В.С. К вопросу о составе и формах нахождения флюида системы C-H-N-O-S в PT-условиях верхней мантии // Геохимия. 2001. № 2. С. 131–145.
9. Маракушев А.А. К проблеме генезиса алмазов / А.А. Маракушев, Н.И. Безмен, Б.А. Мальков // Минералог. журнал. 1980. Т. 2, № 5. С. 3–11.
10. Соболев В.В. К вопросу о кристаллизации алмаза в природе // Физика горения и взрыва. 1987. Т. 23, № 1. С. 91–95.
11. Дигонский С.В. Еще о параметрах природного алмазообразования / С.В. Дигонский, В.К. Гаранин // Система “Планета Земля”. М.: ЛЕНАНД, 2009. С. 159–181.
12. Волков К.В. Синтез алмаза из углерода продуктов детонации ВВ / К.В. Волков, В.В. Даниленко, В.И. Елин // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26, № 3. С. 123–125.
13. Даниленко В.В. Синтез и спекание алмаза взрывом. М.: Энергоатомиздат, 2003. 168 с.
14. Долматов В.Ю. Детонационные наноалмазы: синтез, строение, свойства и применение // Успехи химии. 2007. Т. 76, № 4. С. 375–397.
15. Титов В.М. Исследование процесса синтеза ультрадисперсного алмаза в детонационных волнах / В.М. Титов, В.Ф. Анисичкин, И.Ю. Мальков // Физика горения и взрыва. 1989. Т. 25, № 3. С. 117–126.
16. Петров В.С. Генетическая связь алмазов с карбонатами кимберлитов // Вест. МГУ. Сер.: Геол. 1959. Вып. 2. С. 13–20.
17. Пальянов Ю.Н. Экспериментальное моделирование мантийных алмазообразующих процессов / Ю.Н. Пальянов, А.Г. Сокол, Н.В. Соболев // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 12. С. 1290–1303.
18. Каржавин В.К. Цепной процесс, трубки взрыва, алмазы // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 1. С. 166–172.
19. Мележик В.А. Углеродистые отложения ранних этапов развития

Земли (геохимия и обстановки накопления на Балтийском щите) / В.А. Мележик, А.А. Басалаев, А.А. Предоевский, Н.Л. Балабонин, В.И. Болотов, М.А. Павлова, Б.В. Гавриленко, М.З. Абзалов. – Л.: Наука, 1988. 197 с. 20. Бельков И.В. Кянитовые сланцы свиты Кейв. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1963. 321 с. 21. Петров В.П. Метаморфизм раннего протерозоя Балтийского щита. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1999. 325 с. 22. Гинзбург И.В. О графите кянитовых сланцев Кейв (Кольский полуостров) / И.В. Гинзбург, А.И. Горшков // Тр. Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. М.: Изд. АН СССР, 1961. Вып. 12. С. 171–176. 23. Корсаков А.В. Механизм образования алмазов в графитовых “рубашках” в метаморфических породах сверхвысоких давлений / А.В. Корсаков, В.С. Шацкий // ДАН. 2004. Т. 399, № 2. С. 232–235.

### Сведения об авторе

Каржавин Владимир Константинович – к.х.н., старший научный сотрудник;  
e-mail: karzhavin@geoksc.apatity.ru

УДК 622.831

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ БЛОКОВЫХ СТРУКТУР МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ КИРОВСКОГО РУДНИКА ОАО «АПАТИТ»

А.А. Козырев, М.М. Каган, К.Н. Константинов, И.Г. Панасенко  
Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Описана тектоника Кукисвумчорского и Юкспорского апатит-нефелиновых месторождений Объединенного Кировского рудника. Обоснована актуальность использования высокочувствительных и стабильных во времени систем наблюдений в условиях высоконапряженных массивов скальных пород. Представлен геодинамический полигон, включающий в себя подземный пункт регистрации данных, расположенный на горизонте -24 м Юкспорского крыла Кировского рудника, и наземный пункт сбора, накопления и обработки данных. Приводятся сведения об аппаратно-методической базе, о порядке обмена геофизической информацией между геодинамическим полигоном и наземным пунктом сбора и обработки данных. Приводятся результаты регистрации деформаций и наклонов блока массива пород на шахтном поле подземного рудника за длительный период, включающий в себя разные стадии подготовки и реализации техногенного землетрясения.

### Ключевые слова:

*мониторинг, наклон, деформация, тектоника, землетрясение, предвестник, подземный рудник.*

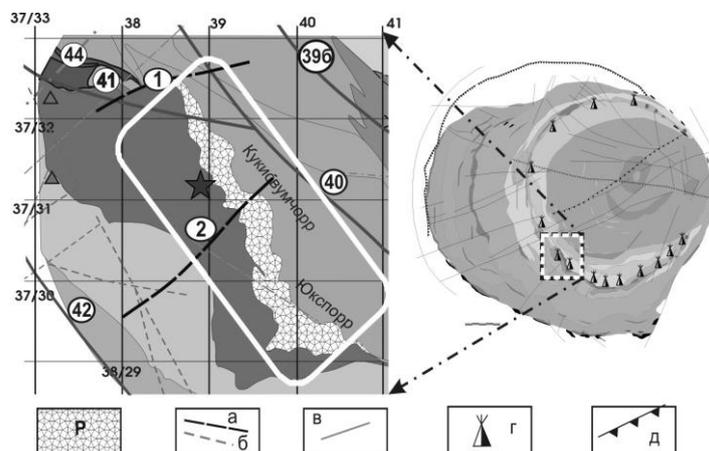
Напряженно-деформированное состояние массива горных пород на крупных месторождениях Мурманской области во многом определяется исходным напряженным состоянием нетронутого массива, а также интенсивным техногенным воздействием, связанным с ведением крупномасштабных горных работ. Масштабы пространственного перемещения горных масс в пределах рудных районов превышают 4.5 млрд тонн, что в сочетании с регулярными взрывными воздействиями существенно влияет на геодинамическое состояние и равновесие в иерархически-блоковой среде кристаллического фундамента. В этой ситуации происходит нарастание и перераспределение концентраций напряжений, а соответственно и сейсмичности как внутри геологических блоков, так и на границах крупных разломов.

Разрывная тектоника Кукисвумчорского и Юкспорского апатит-нефелиновых месторождений Объединенного Кировского рудника представлена закономерно ориентированными радиальными и концентрическими разломами (рис. 1), а также несколькими системами крупноблоковой и мелкоблоковой трещиноватости. Наиболее крупными тектоническими разломами в пределах геомеханического пространства Кукисвумчорского месторождения являются Саамский (№ 2 на рис. 1) и Ворткеуайвский (№ 1) радиальные разломы северо-восточного простирания. По простиранию они

прослежены минимум на 3–5 км, а на глубину – на несколько сот метров. Их мощность варьирует от 20 до 50 м в приповерхностных частях до долей метра на глубоких горизонтах.

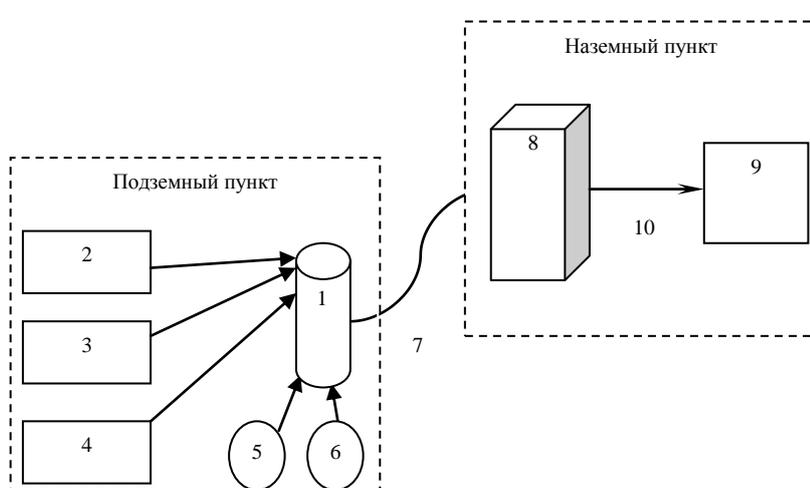
Саамский разлом в первом приближении совпадает с границей эксплуатирующихся месторождений и делит рудник на блоки максимального ранга – Кукисвумчорский и Юкспорский.

В массиве горных пород Кировского рудника регистрируются характерные для всего Хибинского массива повышенные субгоризонтальные тектонические напряжения, превышающие вертикальные напряжения (от веса вышележащих пород). Проведенный нами мониторинг дифференцированных вертикальных движений в районе Саамского разлома выявил сложный характер блоковых и межблоковых перемещений [1].



*Рис. 1. Геолого-структурное положение Кировского рудника ОАО «Апатит»:*  
*справа – местоположение рудника в Хибинском массиве; слева – геологическая схема рудника.*  
*Р – рудное тело; а – радиальные разломы; б - разрывные нарушения других систем; в – разрывные нарушения, выделенные по результатам дешифрирования; г – месторождения апатит-нефелиновых руд (правый рисунок); д – наиболее крупные разломы 1 ранга; цифры в кружках:*  
*1 – Ворткеуйвский радиальный; 2 – Саамский радиальный и 40 – Южно-Эвселогчорский концентрический разлом; белый контур – площадь проекции выработок Кировского рудника и выходов месторождений Кукисвумчорр и Юкспор на поверхность; звездочка – проекция эпицентра события от 21.10.10 на поверхность*

Деформационные процессы высоконапряженных массивов скальных пород происходят медленно, имеют циклический характер и могут продолжаться длительный промежуток времени, приводя в итоге к катастрофическим последствиям в виде техногенных землетрясений и горно-тектонических ударов. Поэтому для выявления тенденций их изменений необходимо использовать высокочувствительные и стабильные во времени системы наблюдений.



*Рис. 2. Структурная схема организации геодинамического полигона регистрации деформаций и наклонов:*

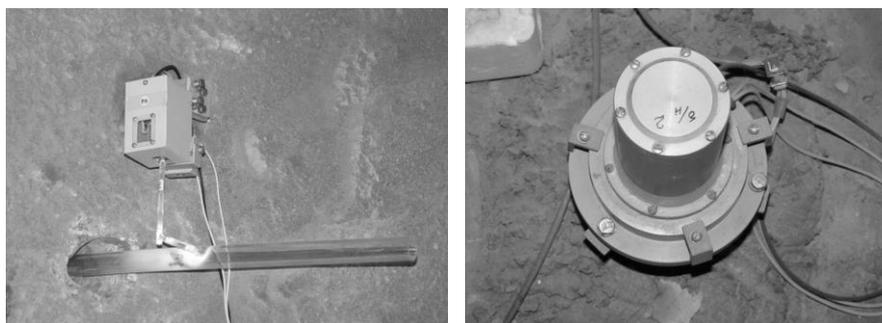
*1 – регистратор информации «Регин»; 2–4 – кварцевые деформометры ДКК-3; 5, 6 – кварцевые наклонометры; 7 – линия связи подземного и наземного пунктов; 8 – коммутационный блок на поверхности рядом с западным вспомогательным стволом; 9 – пункт сбора и обработки данных, организованный в ГоИ КНЦ РАН;*

*10 – удаленный доступ, осуществляемый по каналу Ethernet*

С целью ведения контроля над процессами деформирования и разрушений в массиве под влиянием ведущихся горных работ в 2010 г. был создан геодинамический полигон, включающий в себя подземный пункт регистрации данных, расположенный на горизонте -24 м Юкспорского крыла Кировского рудника, и наземный пункт сбора, накопления и обработки данных (рис. 2).

В состав подземного пункта входит комплекс датчиков деформометров (ДКК-3) и наклономеров (НК) (рис. 3), регистратор информации «Regin-3F-6k» (разработки Института физики Земли РАН) и элементы, обеспечивающие бесперебойное питание системы.

Датчики, входящие в состав комплекса, выполнены с учетом жестких требований обеспечения долговременной стабильности при высокой точности измерения перемещений, изготовлены по оригинальной схеме, а наклономер защищен авторским свидетельством [2]. Высокая стабильность датчиков обеспечивается за счет использования кварцевого стекла в качестве конструкционного материала для создания чувствительных элементов [3]. Конструкции датчиков наклонов и деформаций отработаны достаточно давно и выдержали многолетние испытания, в том числе на рудниках Ловозёрского ГОКа и на Кировском руднике ОАО «Апатит» [4].



*Рис. 3. Кварцевые деформометр ДКК-3 (слева) и наклономер НК (справа)*

По техническим данным деформометры характеризуются предельным разрешением измерительного тракта, равного 0.005 мкм и базой измерения – 3.3 м, наклонометры НК – линейным диапазоном измеряемых углов наклона, составляющим +/- 10 уг. мин., и предельным разрешением – 0.005 уг. сек.

Съем информации с датчиков осуществляется с помощью высокочувствительных емкостных дифференциальных преобразователей механических перемещений в изменения частоты выходного сигнала и реализуется в цифровые данные с помощью регистратора информации «Regin-3F-6k».

Подземный пункт размещен в забое одиночной горной выработки протяженностью 90 м на горизонте -24 м Юкспорского крыла Объединенного Кировского рудника (глубина от поверхности 400 м). С целью минимизации теплового и шумового воздействия на чувствительные элементы датчиков подземный пункт изолирован от остальной части подводящей к полигону выработки и квершлага ЗВС двумя железобетонными перемычками.

На стенке забоя выработки смонтированы два деформометра ДКК-3, ориентированные по сторонам света: восток-запад (далее ДКК В-3) и юг-север (ДКК Ю-С). На постаменте, который жёстко связан со скальным массивом, установлены деформометр ДКК-Z, контролирующий смещения в вертикальной плоскости, и наклонометры с ориентировкой осей по направлению запад-восток (НК З-В) и север-юг (НК С-Ю).

Обмен информацией между геодинамическим полигоном и наземным пунктом сбора и обработки данных осуществляется через Internet с использованием существующей инфраструктуры вычислительной сети ОАО "Апатит". Такая организация обмена позволила решить следующие задачи:

- обеспечить получение информации от геофизической аппаратуры в реальном времени;
- обеспечить оперативный контроль состояния и управление работой приборов;

- существенно снизить затраты на оборудование, снизить эксплуатационные затраты и повысить надежность за счет отказа от специализированных линий связи;
- улучшить условия работы точной геофизической аппаратуры за счет сокращения объема работ, требующих присутствия на полигоне персонала.

Геофизическая информация с полигона поступает с июля 2010 г. Этот период включает в себя момент реализации мощного техногенного землетрясения 21 октября 2010 г. в 12 ч. 10 мин. по московскому времени с магнитудой 3.5. Гипоцентр события находился в Кукисвумчорском крыле Объединенного Кировского рудника примерно на горизонте +16 м (360 м от поверхности) на некотором удалении от очистных работ. Выделившаяся энергия составила порядка  $7 \cdot 10^9$  Дж. Размер зоны подготовки данного землетрясения составил несколько километров, то есть включал в себя всю промышленную зону рудника и значительную часть продуктивной толщи Хибинского массива. В результате этого события в ряде подземных выработок произошло раскрытие трещин, отслоение бетонной и набрызг-бетонной крепи, обрушение породы. Каких либо значимых последствий землетрясения на поверхности не выявлено.

Данные наблюдений на геодинамическом полигоне позволяют выявить изменения в состоянии геоструктурного блока, к которому приурочен полигон, в период подготовки и реализации сейсмического события. Визуально выделяются 3 характерных временных этапа (рис. 4):

1) от начала регистрации до 06.10.2010 г., когда зафиксировано непрерывное медленное изменение наклона в плоскости север-юг (НК 3-В) при относительно малых изменениях в показаниях остальных приборов;

2) с 06.10.2010 г. по 21.10.2010 г. (этап подготовки и реализации техногенного землетрясения), описывающий резкое изменение показаний всех приборов, за исключением ДКК С-Ю, причем, наклон в плоскости север-юг сменил знак приращения, а ДКК 3-В показывал рост отрицательных деформаций (сжатие);

3) с 21.10.2010 г. по 31.10.2010 г. (афтершоковый), отражающий уменьшение скоростей наклонов при продолжающемся росте деформаций сжатия в направлении восток-запад.

Полученные данные отчетливо демонстрируют различные стадии подготовки и реализации техногенного землетрясения и позволяют четко определить начало заключительной стадии подготовки – недельного интервала, предшествующего землетрясению (вертикальный красный пунктир на рис. 4).

Такое поведение, вероятно, обусловлено неравномерностью отработки участков месторождений и разной степенью перераспределения полей напряжений и деформаций блоковой структуры. В интервале времени после реализации землетрясения прослеживается уменьшение скоростей наклонов при продолжающемся росте деформаций сжатия в направлении восток-запад.

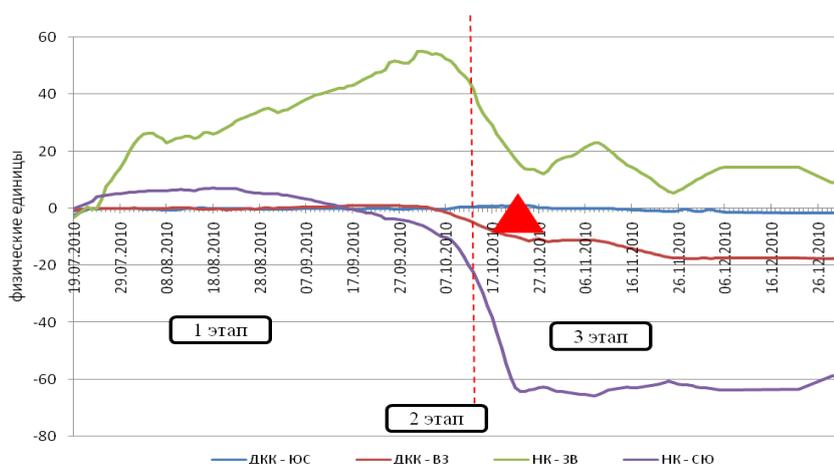


Рис. 4. Данные деформационно-наклономерного комплекса в период подготовки и реализации техногенного землетрясения 21.10.2010:

1 этап – период стабильности (22.07.2010 – 06.10.2010), 2 этап – подготовка землетрясения (06.10.2010 – 21.10.2010), 3 этап – афтершоковый период (с 21.10.2010), красный пунктир – момент начала развития устойчивых предвестников готовящегося сильного сейсмического события, красный треугольник – техногенное землетрясение 21.10.2012

В 2011 г. – первой половине 2012 г. геодинамический режим блочной среды описывается чередованием процессов сжатие–растяжение (опускание–поднятие) по вертикальной компоненте, что иллюстрируется на графике (рис. 5) показаниями деформометра ДКК-Z, и деформациями наклона в северном либо южном направлениях, что отражено в показаниях НК З-В.

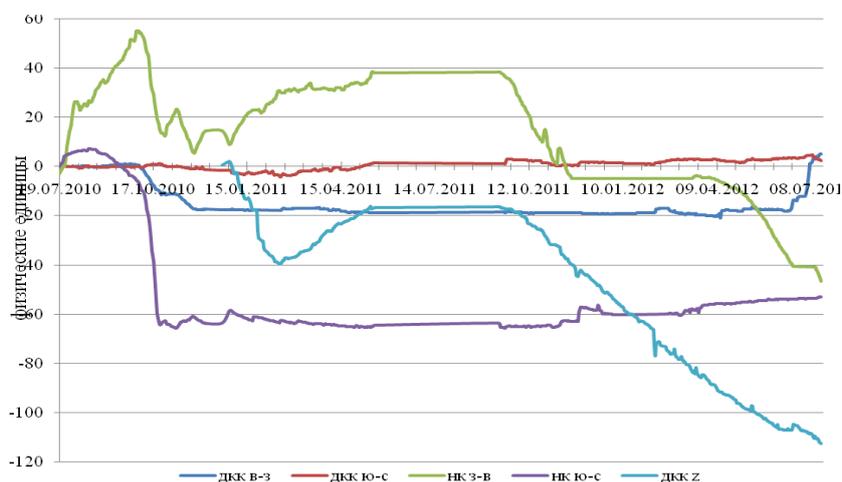


Рис. 5. Данные деформационно-наклономерного комплекса с июля 2010 г.

## Выводы

1. Деформационный мониторинг блочного массива горных пород на основе данных геодинамического полигона дает объективную картину изменения напряженно-деформированного состояния массива пород, обусловленного влиянием на блочную структуру массива техногенных факторов и тектонических процессов.

2. Данные деформационного мониторинга массива горных пород позволяют выявлять средне- и краткосрочные предвестники готовящихся в блоке техногенных землетрясений.

3. Полученные результаты позволяют предложить организацию сети деформационно-наклономерных станций в пределах геоструктурных блоков, формирующих шахтное поле рудника.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев А.А. Саамский разлом (Хибины) – аномальный характер современных деформаций / А.А. Козырев, Э.В. Каспарьян, Д.В. Жиров, Ю.Г. Смагина // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 4. С. 702–707. 2. Попов Е.И., Ребров В.И. Наклономер: АС № 1721438. Оpubл. Б.И. 1992, № 11. 3. Хаткевич Л.П. Кварцевое стекло в производстве электровакуумных изделий / Л.П. Хаткевич, В.К. Лено. М.: Энергоиздат, 1981. 4. Сейсмичность при горных работах / под ред. Н.Н. Мельникова. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 325 с.

## Сведения об авторах:

Козырев Анатолий Александрович – д.т.н., профессор, зам. директора по научной работе; e-mail: kozar@goi.kolasc.net.ru

Каган Михаил Моисеевич – старший научный сотрудник; e-mail: mkagan@goi.kolasc.net.ru

Константинов Константин Николаевич – младший научный сотрудник;

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

Панасенко Игорь Георгиевич – ведущий программист; e-mail: piggy@goi.kolasc.net.ru

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С СОБЛЮДЕНИЕМ ИНТЕРЕСОВ ВЛАДЕЛЬЦА И НЕДРОПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

**В.М. Бусырев, О.Е. Чуркин**  
Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация:

Рассматриваются состояние и полнота использования минерально-сырьевых ресурсов Мурманской области. Описаны методы определения стоимости полезных ископаемых в недрах и оценки эффективности освоения новых месторождений, принятия проектных решений с соблюдением сбалансированности экономических отношений государства и недропользователей, способствующих рациональному использованию минерально-сырьевой базы региона.

### Ключевые слова:

*минеральные ресурсы, стоимость, методы оценки, сбалансированность интересов.*



Минерально-сырьевая база Мурманской области, наряду с эксплуатируемыми длительное время месторождениями апатит-нефелиновых, медно-никель-кобальтовых, редко-металлических, железных и слюдяных руд, также представлена и многочисленными (свыше 100) открытыми и разведанными месторождениями и рудопроявлениями, содержащими более 30 видов полезных компонентов. Оценка эффективности использования новых источников минерально-сырьевых

ресурсов является актуальной задачей для развития горнопромышленной отрасли региона. Необходимость в этом связана с рядом причин.

Во-первых, темпы использования запасов опережают их восполнение, что в будущем может привести к тяжелым последствиям; во-вторых, в результате потерь в недрах при добыче и неполноты извлечения полезных компонентов из добытой руды при обогащении на производство 1 т полезных компонентов, содержащихся в концентратах, расходуется от 1.1 до 2.6 т их запасов в месторождениях (табл. 1); в-третьих, увеличивается трудоемкость добычи остающихся запасов, вследствие чего ожидается крупномасштабное применение на действующих предприятиях комбинированного и подземного способов добычи руд и рост расходов в горнопромышленном комплексе.

Анализ мирового опыта использования минерально-сырьевых ресурсов свидетельствует о значительном росте их потребления в первой половине текущего столетия. Ожидается, что потребление увеличится более чем в 5 раз. При этом, по имеющимся официальным оценкам [1], для России лидирующая роль минерально-сырьевого комплекса как основы развития экономики сохранится и в будущем. В силу этих причин, а также близости к крупным промышленно развитым центрам страны, перспективные месторождения и проявления Кольского региона заслуживают особого внимания.

Рациональное освоение имеющихся минерально-сырьевых ресурсов возможно при решении задач, связанных с повышением эффективности эксплуатационных работ, комплексности и полноты использования запасов сырья при добыче и переработке добытой руды, а также с обеспечением сбалансированности интересов государства и горных предприятий при решении инженерных и правовых задач недропользования. Эти задачи взаимосвязаны и могут быть в наиболее полной мере решены при совместном их изучении на общей объективной экономической основе. Горным институтом КНЦ РАН показано [2], что такая основа может быть создана при реализации концепции о привлечении стоимости минерально-сырьевых ресурсов, находящихся в недрах, к решению задач недропользования наряду с учетом стоимости всех других ресурсов при оценке результатов эксплуатации месторождений. В этих целях разработаны методы определения стоимости расходуемых запасов, ожидаемой в начальной стадии эксплуатации перспективных месторождений, и оценки эффективности предлагаемых вариантов проектов их разработки [3–5].

Таблица 1

## Расход запасов минерально-сырьевых ресурсов месторождений Кольского региона

Предприятие	Полезный компонент	Продукция	Расход запасов полезных компонентов на 1 т их в продукции, т/т
ОАО «Ковдорслюда»	Флогопит	Листовая, дробленая, молотая слюда	3.7
	Вермикулит	Концентрат	2.2
ОАО «Ковдорский ГОК»	Fe	Концентрат	1.1
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Концентрат	1.6
ОАО «Олкон»	Fe	Концентрат	1.2
ОАО «Апатит»	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Концентрат	1.2
ОАО «Чалмозеро»	Пегматит	Концентрат	1.5
ОАО «Кольская ГМК» комбинат «Печенга-никель»	Ni, Cu, Co	Концентрат	1.4
ЗАО «ЛГОК» Рудник «Карнасурт»	Лопарит	Концентрат	2.6
Рудник «Умбозеро»	Лопарит	Концентрат	2.2

Метод определения стоимости запасов полезного компонента в месторождении построен на общем для всех товаров принципе, а именно: предусматривает возможность возмещения из дохода от реализации товарной продукции горного предприятия затрат, понесенных на разведку месторождения, прибыли, приходящейся на эти затраты по ставкам (нормативам), принятым в данное время, а также учитывает влияние ценности полезного компонента на стоимость (цену) произведенной из него товарной продукции. Вместе с тем, как показано ниже, имеется одна особенность определения стоимости запасов полезных компонентов, связанная с влиянием на ее величину природных факторов, например, горно-геологических, а также и других природных условий освоения месторождений.

В условиях стабильного состояния экономики вполне закономерным считается возможность возмещения из дохода от реализации товарной продукции затрат, понесенных на капитальные работы, затрат на добычу и переработку добытой руды, на разведку израсходованных запасов полезного компонента, а также прибыли, приходящейся на эти затраты в соответствии со ставкой, принятой в данное время. Оставшаяся после возмещения часть дохода может быть с полным для этого основанием отнесена к сверхприбыли, образовавшейся вследствие особо благоприятных условий освоения месторождения, либо к ущербу, если размер необходимого возмещения понесенных затрат и прибыли на них превысит доход из-за неблагоприятных условий освоения месторождения.

Сверхприбыль либо ущерб, ожидаемые по годам начальной стадии эксплуатации месторождения, руб., рассчитывается следующим образом:

$$\Delta\Pi_{p,t} = D_{к,t}C_{ф,t}(1-0.01H) - D_{к,t}C_{к,ф,t}(1+K_{np.}) - B_t c_t C_{p,ф,t}(1+K_{np.}) - K_{в,t}(1+K_{np.}),$$

где  $D_{к,t}$  – товарная продукция, произведенная в t-м году, т;

$C_{ф,t}$  – ожидаемая цена товарной продукции в t-м году с компенсацией потерь денежной ценности базовой цены проекта из-за инфляции, руб/т;

$H$  – сумма налоговых ставок на доход, %;

$C_{к,ф,t}$  – ожидаемая себестоимость товарной продукции в t-м году эксплуатации с компенсацией потерь денежной ценности базовой себестоимости, руб/т;

$K_{np.}$  – ставка прибыли на затраты, принятая в экономике в t-м году, доли ед.;

$B_t$  – запасы полезного ископаемого, расходуемые в t-м году эксплуатации, т;

$c_t$  – содержание полезного компонента в месторождении, %, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{p,ф,t}$  – затраты на разведку 1 т полезного компонента с компенсацией потерь ими денежной ценности к t-му году эксплуатации, руб/т;

$K_{в,t}$  – возмещение капитальных затрат в t-м году эксплуатации с компенсацией потерь денежной ценности из-за инфляции к этому году, руб.

Как видно, на величину сверхприбыли либо ущерба влияют цена товарной продукции и ожидаемый доход, зависящие от ценности (качества) полезного компонента; количество расходуемых запасов полезного ископаемого; затраты на разведку, капитальные и эксплуатационные работы, зависящие от условий освоения месторождения, в том числе от содержания в нем полезного компонента.

Вполне естественно, что сверхприбыль и ущерб, зависящие исключительно от природных условий освоения месторождения, должны участвовать в формировании стоимости запасов как постоянные ее составляющие. Ожидаемая стоимость 1 т запасов, расходуемых на производство товарной продукции в  $t$ -м году начальной стадии эксплуатации, составит, руб/т:

$$C_{н.ф.t} = C_{р.ф.t} (1 + K_{нр.t}) + \frac{\Delta\Pi_{р.t}}{B_t c_t}.$$

Средняя стоимость за весь начальный период эксплуатации, руб/т:

$$C_{н.ф.} = \frac{\sum_t^T C_{н.ф.t} B_t c_t}{\sum_t^T B_t c_t}.$$

Прибыль, ожидаемая по годам эксплуатации  $\Pi_{р.t}$ , и средняя за начальный период эксплуатации  $\Pi_p$  с учетом стоимости расходуемых запасов месторождения, составят, руб.:

$$\Pi_{р.t} = D_{к.t} C_{ф.t} (1 - 0.01H) - B_t c_t C_{н.ф.t} - D_{к.t} C_{к.ф.t} - K_{в.t} + B_t c_t C_{р.ф.t} K_{нр.t} + \Delta\Pi_{р.t}$$

$$\Pi_p = \sum_t^T \Pi_{р.t}$$

В 1997 г. Горным институтом КНЦ РАН по постановлению Правительства РФ и администрации Мурманской области выполнена работа «Концепция стабилизации и развития горнопромышленного комплекса Мурманской области на 1997–2005 гг.». В том числе дана укрупненная оценка работ по освоению территории, созданию инфраструктуры, горнопромышленному строительству, эксплуатации. Ниже, на примере полученной исходной информации об одном из новых источников минерального сырья – проявления «Петяйянвара», показаны перспективы его освоения с учетом стоимости содержащегося в его запасах полезного компонента слюды – флогопита.

Проявление флогопита «Петяйянвара» представлено тремя крутопадающими залежами средней мощностью от 44 до 56 м. Среднее содержание флогопита в Центральной залежи – 206 кг/м<sup>3</sup> (7%). Оценка ожидаемых результатов освоения месторождения выполнена для начальной стадии эксплуатации (табл. 2). Проведение капитальных и эксплуатационных работ в полном объеме в намеченные сроки потребует компенсации потерь денежной ценности первоначально намеченных (базовых) затрат.

В методе оценки эффективности ожидаемых результатов реализации проектных решений принято условие, согласно которому из полученного в начальной стадии эксплуатации дохода в первую очередь возмещаются затраты, понесенные на эксплуатацию, во вторую – на капитальные работы. При этом дохода может не хватить, и возмещение оставшихся капитальных затрат переносится на последующие годы эксплуатации. При возмещении понесенных затрат принято учитывать необходимость получения прибыли на них соответственно ставкам, принятым в экономике в данное время.

В случае использования запасов со средним содержанием флогопита 7% капитальные затраты полностью возмещаются в первые три года начальной стадии эксплуатации. В первые два года эксплуатации прибыль относительно невысокая, существенно возрастает на третий год в связи с завершением возмещения капитальных затрат. В среднем за трехлетний период эксплуатации проявления «Петяйянвара» можно ожидать получения прибыли в размере 155 млн руб., что доказывает эффективность освоения этого источника минерального сырья.

Вовлечение в эксплуатацию участков месторождения с более высоким содержанием флогопита – 10%, превышающим среднее по месторождению, потребует (табл. 2) при той же технологии добычи и

обогащения руды меньше затрат на производство товарной продукции и будет сопровождаться ростом прибыли (182.5 против 155.0 млн руб.).

Таблица 2

Экономическая оценка и распределение ожидаемых результатов освоения проявления флогопита «Петяйянвара»

Наименование показателей	Начальная стадия эксплуатации, годы			Всего	Начальная стадия эксплуатации, годы			Всего
	1	2	3		1	2	3	
	Содержание флогопита 7%				Содержание флогопита 10%			
Доход за вычетом налогов (кроме платы за недра), млн руб.	200.6	210.6	220.0	631.2	200.6	210.6	220.0	631.2
Возмещение эксплуатационных затрат, млн руб.	29.4	30.4	31.3	91.1	20.6	21.3	21.9	63.8
Возмещение капитальных затрат, млн руб.	152.2	160.3	70.4	382.9	152.2	160.3	70.4	382.9
Сверхприбыль из-за благоприятных условий месторождения, млн руб.	0	0	107.4	107.4	10.0	16.4	117.9	144.3
Стоимость израсходованных запасов, млн руб.	0.8	0.8	108.2	109.8	10.5	16.9	118.4	145.8
Полная прибыль, млн руб.	18.3	19.1	117.6	155.0	26.3	28.5	127.7	182.5
Доля государства в доходе, млн руб.	0.8	0.8	108.2	109.8	10.5	16.9	118.4	145.8
Доля недропользователя в доходе с учетом прибыли по принятой ставке на затраты, млн руб.	199.8	209.8	111.8	521.4	196.1	193.7	102.0	491.8

При существующей налоговой системе, когда при определении платы за добытое полезное ископаемое в качестве налоговой базы принимаются затраты на эксплуатацию, такая выборочная отработка лучших участков месторождения экономически выгодна недропользователю, но приносит ущерб интересам государства – владельцу недр. Привлечение стоимости расходуемых запасов, возросшей до 145.8 против 109.8 млн руб., к оценке результатов освоения месторождения позволяет устранить этот недостаток в экономических отношениях владельца и пользователя недр. В данном случае при отработке участков месторождения с повышенным содержанием флогопита увеличится доля государства в доходе (145.8 против 109.8 млн руб.) и снизится доля недропользователя (491.8 против 521.4 млн руб.). Как видно, определение стоимости расходуемых запасов и привлечение ее к распределению дохода способствует соблюдению сбалансированности экономических интересов государства и недропользователя, препятствует при этом выборочной отработке месторождения.

Полный учет стоимости всех ресурсов, включая минерально-сырьевые, расходуемых горными предприятиями на производство товарной продукции, обеспечивает принятие инженерных и правовых решений на более объективной экономической основе, способствует рациональному использованию месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ в 2009 году: офиц. документ МПР России. М.: Центр «Минерал» ФГУНПП «Аэрология», 2010. 400 с. 2. Мельников Н.Н. Концепция ресурсосбалансированного освоения минерально-сырьевой базы / Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2005. № 2. С. 58–63. 3. Мельников Н.Н. Ресурсосбалансированное недропользование: теория и методы / Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 110 с. 4. Мельников Н.Н. Экономические основы сбалансированного освоения минерально-сырьевой базы / Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. 125 с. 5. Мельников Н.Н. Оценка проектов месторождений и возможностей их реализации / Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев // Изв. вузов. Горн. журн. 2008. С. 28–37.

Сведения об авторах

Бусырев Владислав Михайлович – д.т.н., ведущий научный сотрудник;

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

Чуркин Олег Елиферович – к.т.н., зав. лабораторией; e-mail: oleg@goi.kolasc.net.ru

## СТОИМОСТЬ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И ЕЕ СВОЙСТВА

**В.М. Бусырев**

Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Выполнен анализ использования и восполнения запасов минерально-сырьевых ресурсов. Показаны обострение в будущем проблемы рационального освоения месторождений, возможность ее решения на объективной экономической основе при учете стоимости расходуемых запасов. Приведен метод определения стоимости в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации месторождений.

### Ключевые слова:

*минерально-сырьевые ресурсы, запасы, потребление, восполнение, стоимость, метод определения, влияющие факторы.*



Анализ состояния и опыта использования минерально-сырьевой базы показывает, что за последнее столетие потребление полезных ископаемых в мире на душу населения (рис. 1) возросло с 4.7 до 46.5 т в год или в 10 раз [1, 2]. Для примера, во времена неолита человеком за его жизнь расходовалось примерно 6 т [3] или около 0.2 т в год. Таким образом, по мере повышения уровня цивилизации потребление минерально-сырьевых ресурсов на одного человека растет быстрыми темпами. Так же быстро увеличивается численность населения Земли. За то же столетие (рис. 2) она увеличилась с 1.5 до 6.122 млрд чел. По прогнозу XXXI Сессии международного геологического конгресса, Рио-де-Жанейро, 2000 г., к 2050 г. численность населения Земли должна достигнуть 12 млрд чел., т.е. будет вдвое больше, чем в начале текущего столетия. Потребление минерально-сырьевых ресурсов (рис. 3) за последнее столетие возросло с 7 до 280 млрд т в год или в 40 раз, а с учетом сопутствующих пород с 8 до 609 млрд т. По прогнозу к 2050 г. оно увеличится до 1400 млрд т полезных ископаемых (т.е. в 5 раз). При этом неизменно возрастает труднодоступность освоения источников минерально-сырьевых ресурсов, что ведет к увеличению расходов на освоение месторождений. Эта тенденция относится как к горным, так и геологоразведочным работам. В последнем случае следует иметь в виду, что согласно мировому опыту восполнение запасов полезных ископаемых должно идти с опережением их расхода в среднем в 1.5 раза. В России за последние два десятилетия восполнение запасов, расходуемых в различных отраслях горной промышленности, находится на уровне от 15 до 40% [1, 4–6].



Рис. 1. Добыча руды и пород на душу населения Земли в год

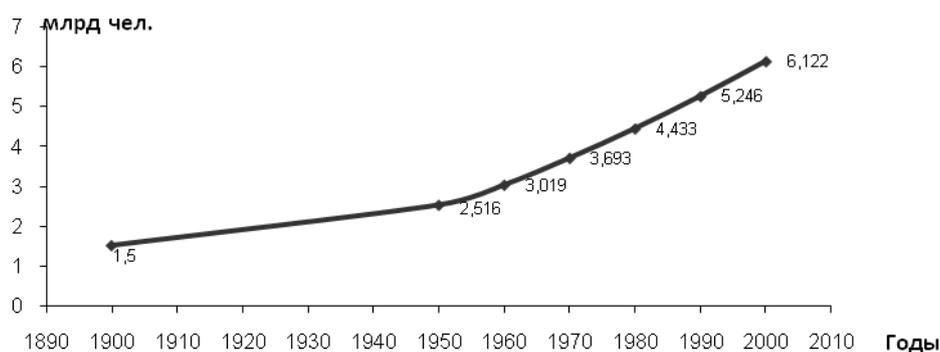


Рис. 2. Численность населения Земли

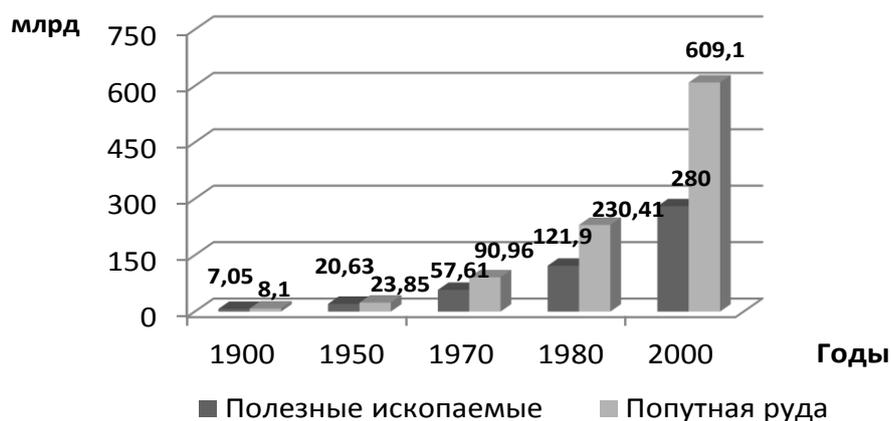


Рис. 3. Мировая добыча полезных ископаемых и попутных пород

Несоблюдение сбалансированности расходов и восполнения запасов полезных ископаемых приводит к тяжелым последствиям, устранение которых требует значительных затрат. Полнота извлечения запасов полезных ископаемых из недр, как свидетельствуют потери, достигающие по отраслям горной промышленности от 2–5 до 50% и более, остается в целом недостаточной, что в свою очередь требует ускоренных темпов восполнения запасов и увеличения затрат на геологоразведочные работы. Вместе с тем горная промышленность остается одной из наиболее трудоемких (на горнопромышленный комплекс приходится около 40% фондов всех промышленных предприятий России, сосредоточено 13% балансовой стоимости основных фондов экономики). Поэтому проблема рационального (эффективного и вместе с тем бережливого) освоения запасов минерально-сырьевой базы существует и в будущем обострится. Решение этой проблемы неразрывно связано с соблюдением сбалансированности экономических интересов владельца недр – государства и недропользователей, интересы которых отличаются некоторой противоречивостью, усилившейся с переходом к капиталистической организации экономики. Существенным фактором, затрудняющим выполнение этого условия, является отношение к полезным ископаемым, находящимся в недрах, как «дарам природы», не имеющим цены. В связи с огромной значимостью для экономики страны проблемы рационального освоения запасов минерально-сырьевых ресурсов Горным институтом предложена концепция ее решения с привлечением стоимости запасов недр наряду со всеми другими ресурсами, расходуемыми горнопромышленным комплексом, при рассмотрении экономических, инженерных и правовых вопросов недропользования [7].

До настоящего времени нет общепризнанных методов определения стоимости запасов месторождений полезных ископаемых, позволяющих подойти к решению задач недропользования на экономически объективной основе. В отличие от ресурсов недр, созданных природой, стоимость продукции, полученной в результате деятельности человека, всегда определяется и служит мерой ее оценки при решении различных задач в сфере экономики.

Основной принцип установления цены товарной продукции в условиях стабильной экономики состоит в том, что она должна формироваться из стоимости исходного сырья, качества полученной товарной продукции, затрат всех других ресурсов на ее производство (материальных, трудовых, энергетических и др.), а также прибыли, приходящейся на понесенные затраты на уровне, принятом в данное время. Этот же принцип может быть положен в основу определения стоимости запасов полезных ископаемых в недрах, но при соблюдении некоторых особенностей. Во-первых, из-за возникновения полезных ископаемых в ходе природных процессов нет необходимости и возможности выяснить исходное сырье, послужившее источником их создания, и стоимость этого исходного сырья. Во-вторых, влияние качества полезного ископаемого на его стоимость легче всего может быть обнаружено через изменение стоимости товарной продукции, полученной из добытой и переработанной руды. Согласно этому принципу в определении стоимости запасов полезных компонентов, израсходованных на производство товарной продукции, должны участвовать затраты на разведку этих запасов в ценах расчетного времени  $BcC_p$ , затраты на производство полученной продукции  $D_kC_k$ , прибыль, приходящаяся на эти затраты соответственно принятому уровню  $BcC_pK_{np.}$  и  $D_kC_kK_{np.}$ , а также количество и цена полученной продукции, определяющие доход от ее реализации  $D_kЦ_o$  [1–2, 8–9].

Расходы на разведку месторождений, в отличие от расходов на производство товарной продукции, полностью относятся к выявленным в результате разведки запасам полезного ископаемого и поэтому с полным основанием могут рассматриваться как составная часть стоимости последних. Их величина зависит от состояния природных условий месторождений, методов разведки, плотности разведочной сети и т.д.

Расходы на производство товарной продукции (как и ее цена) непосредственно не относятся к расходуемым запасам полезного ископаемого, но вместе с тем в определенной мере они зависят от природных условий освоения месторождений. Поэтому влияние расходов на производство товарной продукции и ее цены на стоимость израсходованных запасов полезного ископаемого может быть установлено (выявлено) по изменению их величины в зависимости от состояния природных условий. Мерой количественной оценки этого влияния может служить сверхприбыль или ущерб, полученные в результате эксплуатации месторождения в зависимости от того, насколько благоприятными или неблагоприятными являются природные условия его освоения.

Из дохода, полученного в процессе эксплуатации месторождения, в первую очередь должны быть возмещены затраты, понесенные на разведку израсходованных запасов и производство товарной продукции, а также прибыль, положенная на эти затраты в соответствии с существующим в данное время уровнем (процентной ставкой). Оставшаяся часть дохода (после вычета налогов, исключая налог на добытое полезное ископаемое) покажет наличие сверхприбыли либо ущерба в зависимости от состояния природных условий освоения месторождения, руб.:

$$\Delta Pr = D_kЦ_o(1-0,01H) - D_kC_k(1+K_{np.}) - BcC_p(1+K_{np.}),$$

где  $D_k$  – товарная продукция (концентрат и пр.);  $Ц_o$  – цена товарной продукции;  $C_k$  – себестоимость товарной продукции;  $H$  – сумма налоговых ставок общего назначения на доход;  $K_{np.}$  – ставка прибыли на понесенные затраты, соответствующая расчетному времени;  $B$  – запасы полезного ископаемого, израсходованные на производство товарной продукции;  $c$  – содержание полезного компонента в месторождении;  $C_p$  – затраты на разведку 1 т запасов полезного компонента.

Сверхприбыль либо ущерб, образовавшиеся из-за природных условий освоения месторождения, без участия человеческой деятельности, не могут быть отнесены к результатам работы горного предприятия, а должны полностью включаться в стоимость полезного компонента в месторождении.

Стоимость 1 т запасов полезного компонента в месторождении с учетом расходов на разведку, прибыли на них и сверхприбыли либо ущерба, обусловленных состоянием природных условий его освоения, руб/т:

$$C_n = C_p(1 + K_{np.}) + \frac{\Delta Pr}{Bc}$$

К факторам природного происхождения, от которых может зависеть стоимость запасов месторождений, в основном относятся содержание и качество полезных компонентов, сложность горно-геологических, гидрогеологических и др. условий. К факторам техногенного характера, но вместе с тем, зависящим от природных условий освоения месторождений, относятся себестоимость добычи руды, потери и разубоживание при разработке месторождений, полнота, качество и себестоимость извлечения полезных компонентов в товарную продукцию.

Ниже, на примере Ковдорского месторождения флогопита, показано изменение стоимости запасов на различных его участках, отличающихся природными условиями их освоения. На практике чаще всего имеет место совместное воздействие нескольких природных факторов на экономические показатели горного предприятия. В целях выделения влияния каждого из них первоначальные (базовые) исходные данные в приведенных примерах приняты условными (затраты на разведку 1 т запасов флогопита, себестоимость добычи руды, затраты процесса обогащения на извлечение 1 т флогопита, количество и цена товарной продукции, потери при добыче и обогащении и пр.).

Как видно (рис. 4) увеличение содержания флогопита в запасах сопровождается снижением расходов на разведку 1 т его запасов в недрах от 106.4 до 15.5 руб/т. Происходит это независимо от расходов на разведку 1 м<sup>3</sup> прироста запасов полезного ископаемого, принятых постоянными  $C_{p.в} = 8.5$  руб/м<sup>3</sup>. Одновременно с этим (рис. 5) рост содержания флогопита в месторождении в указанных размерах (от 80 до 550 кг/м<sup>3</sup>) ведет к существенному уменьшению себестоимости производства товарной продукции (от 877.2 до 127.6 руб/т). Это происходит при том, что затраты на добычу и обогащение 1 м<sup>3</sup> руды остаются постоянными (в данном случае  $C_d = 50$  и  $C_{об.} = 10$  руб/м<sup>3</sup>). Снижение себестоимости товарной продукции, вызванное ростом содержания флогопита в запасах, оказалось в данном случае единственной причиной появления значительной сверхприбыли, возросшей от 30.6 до 724.4 руб/т израсходованных запасов флогопита. В результате стоимость запасов флогопита (рис.4) на участке с высоким его содержанием в запасах возросла с 147.7 до 741.4 руб/т.

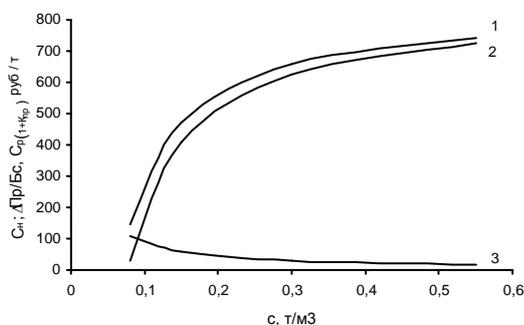


Рис. 4. Изменение стоимости запасов в зависимости от содержания флогопита в недрах: 1 – стоимость запасов флогопита  $C_n$ , руб/т; 2 – сверхприбыль на 1 т запасов флогопита, полученная за счет благоприятных условий освоения месторождения  $\Delta Pr/Bc$ , руб/т; 3 – затраты на прирост 1 т запасов флогопита с учетом прибыли, приходящейся на затраты  $C_p(1+K_{np.})$ , руб/т;  $c$  – содержание флогопита в недрах, т/м<sup>3</sup>

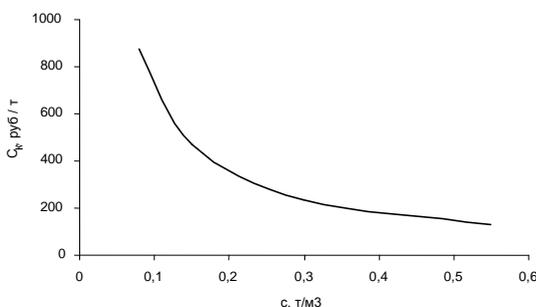


Рис. 5. Изменение себестоимости производства товарной флогопитовой продукции в зависимости от содержания флогопита в недрах:  $C_k$  – себестоимость товарной продукции, руб/т;  $c$  – содержание флогопита в недрах, т/м<sup>3</sup>

Ухудшение горно-геологических условий часто является причиной увеличения затрат на разработку месторождений. В данном примере (из-за вынужденного понижения высоты очистных блоков и роста удельного веса трудоемких проходческих работ) себестоимость добычи руды увеличивается от 50 до 190 руб/м<sup>3</sup>. В результате на участках месторождения (рис. 6, 7) с содержанием флогопита 150 кг/м<sup>3</sup> (несколько

ниже среднего) себестоимость товарной продукции возрастает от 468 до 1559 руб/т по зависимости линейного вида. Одновременно происходит снижение прибыли, приходящейся на каждую тонну полученной товарной продукции. При увеличении себестоимости добычи руды свыше 110 руб/м<sup>3</sup> разработка такого участка месторождения становится убыточной. Вследствие этих причин стоимость запасов на участке также снижается по аналогичной зависимости линейного вида. Сверхприбыль, образуемая за счет благоприятных горно-геологических условий, снижается по мере их ухудшения и при увеличении затрат на добычу до указанного предельного значения 110 руб/м<sup>3</sup> исчезает. Дальнейшее ухудшение горно-геологических условий на обрабатываемом участке приносит вместо сверхприбыли ущерб. По этим причинам стоимость запасов также снижается. При предельном значении себестоимости добытой руды 110 руб/м<sup>3</sup> она определяется только величиной затрат, понесенных на разведку и прибыль, приходящейся на них  $C_p(1+K_{пр.})$ . При дальнейшем увеличении расходов (из-за ухудшения горно-геологических условий) на добычу руды более 110 руб/м<sup>3</sup> она приобретает отрицательное значение, что указывает на неэффективность эксплуатации такого участка месторождения.

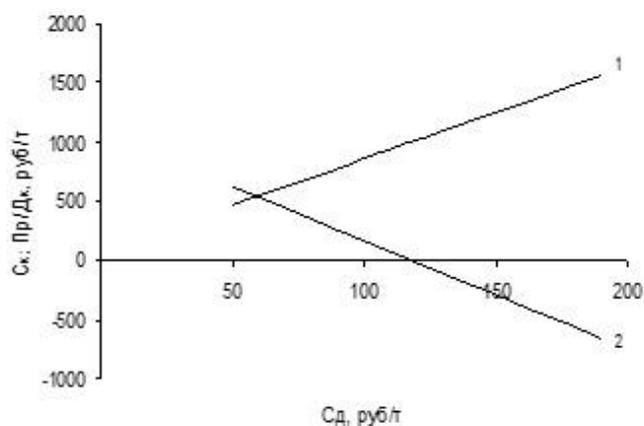


Рис. 6. Изменение себестоимости производства товарной продукции и прибыли в зависимости от затрат на добычу руды:

1 – себестоимость товарной продукции  $C_k$  руб/т; 2 – прибыль, приходящаяся на 1 т товарной продукции Пр/Д<sub>к</sub> руб/т;  $C_d$  – себестоимость добычи руды, руб/м<sup>3</sup>

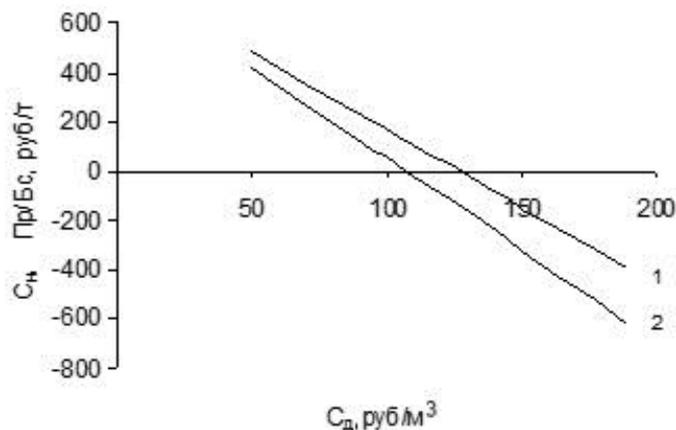


Рис. 7. Изменение стоимости запасов в зависимости от затрат на эксплуатацию:

1 – стоимость запасов флогопита  $C_n$  руб/т; 2 – сверхприбыль либо ущерб на 1 т запасов флогопита, полученные в зависимости от состояния горно-геологических условий освоения месторождения ΔПр/Бс, руб/т;  $C_d$  – себестоимость добычи руды, руб/м<sup>3</sup>

Горно-геологические условия, как например форма, размеры рудных тел, контакты их с вмещающими породами, могут быть причиной разной величины потерь полезного ископаемого в недрах и разубоживания добытой руды породами. На сколько и за счет чего потери в недрах и разубоживание добытой руды могут повлиять на экономические показатели и, в первую очередь, на стоимость расходуемых запасов, показано ниже на примере участков месторождения с содержанием флогопита в них 150 кг/м<sup>3</sup>.

Рост потерь флогопита в недрах не отражается на себестоимости производства 1 т товарной продукции, поскольку затраты на эксплуатацию от нее не зависят (рис. 8). Вместе с тем, при учете затрат на разведку израсходованных запасов прибыль от освоения месторождения с ростом потерь его запасов при эксплуатации снижается. Особенно заметно это наблюдается в расчете на 1 т запасов, израсходованных горным предприятием. Вследствие последнего обстоятельства

существенно снижается сверхприбыль (рис. 9) и соответственно стоимость запасов флогопита на эксплуатационном участке месторождения.

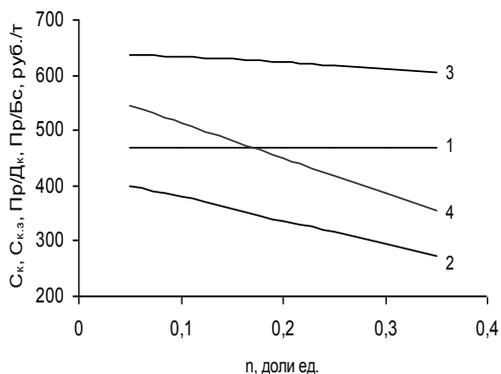


Рис. 8. Изменение технико-экономических показателей в зависимости от потерь флогопита в недрах:

1 – себестоимость товарной продукции  $C_k$ , руб/т; 2 – эксплуатационные затраты в расчете на 1 т запасов флогопита, израсходованных на производство товарной продукции,  $C_{к.з}$ , руб/т; 3 – прибыль на 1 т товарной продукции  $Пр/Д_k$ , руб/т; 4 – прибыль на 1 т запасов флогопита, израсходованных на производство товарной продукции  $Пр/Бс$ , руб/т,  $n$  – потери флогопита в недрах, доли ед.

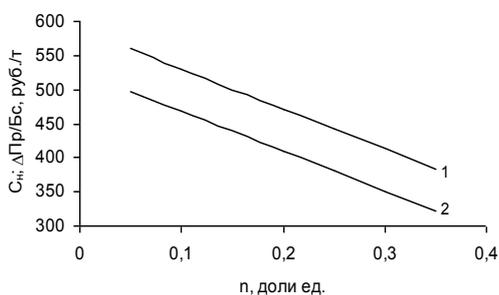


Рис. 9. Изменение стоимости запасов флогопита в зависимости от потерь в недрах, обусловленных горно-геологическими условиями:

1 – стоимость запасов флогопита  $C_n$ , руб/т; 2 – сверхприбыль на 1 т запасов флогопита, полученная в зависимости от состояния горно-геологических условий освоения месторождения  $\Delta Пр/Бс$ , руб/т;  $n$  – потери флогопита в недрах, доли ед.

Рост разубоживания добытой руды (рис. 10) ведет к увеличению эксплуатационных затрат на производство товарной продукции по зависимости линейного вида.

Затраты на разведку израсходованных запасов могут увеличиться только в случае ухудшения показателей извлечения флогопита при переработке обедненной руды. Разубоживание, увеличивая затраты на эксплуатацию, снижает размер получаемой сверхприбыли, приводит к уменьшению стоимости запасов месторождения (рис. 11).

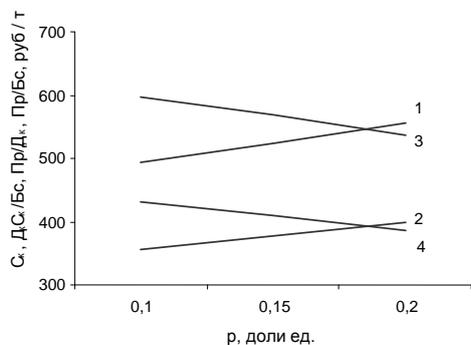


Рис. 10. Изменение технико-экономических показателей в зависимости от разубоживания добытой руды:

1 – себестоимость товарной продукции  $C_k$ , руб/т; 2 – эксплуатационные затраты в расчете на 1 т запасов флогопита, израсходованных на производство товарной продукции  $Д_k C_k/Бс$ , руб/т; 3 – прибыль на 1 т товарной продукции  $Пр/Д_k$ , руб/т; 4 – прибыль на 1 т запасов флогопита, израсходованных на производство товарной продукции  $Пр/Бс$ , руб/т,  $p$  – разубоживание добытой руды, доли ед.

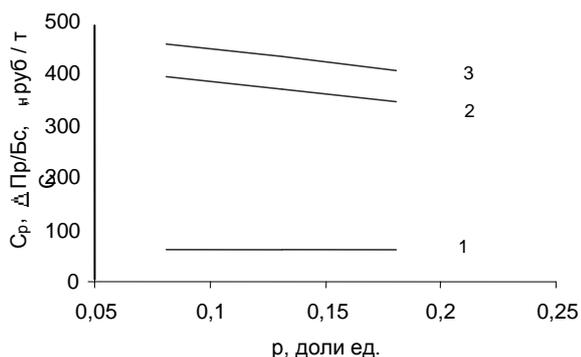


Рис. 11. Изменение стоимости запасов флогопита в зависимости от разубоживания добытой руды

1 – затраты на разведку израсходованных запасов флогопита  $C_p$ , руб/т; 2 – сверхприбыль зависящая от состояния условий освоения месторождения  $\Delta Пр/Бс$ , руб/т; 3 – стоимость запасов флогопита  $C_n$ , руб/т,  $p$  – разубоживание добытой руды, доли ед.

Анализ сложившейся в сфере использования минерально-сырьевой базы обстановки и возможностей оценки стоимости запасов позволяют сделать следующие выводы:

1. Все более обостряется проблема рационального освоения запасов полезных ископаемых в будущем в связи с ростом населения и потребления минерально-сырьевых ресурсов на душу населения Земли.

2. Стоимость запасов полезных компонентов в недрах, установленная предложенным методом, адекватно реагирует на все изменения природных условий освоения месторождений: при худших условиях становится отрицательной (получает отрицательное значение). Поэтому может служить надежным показателем при обосновании и оценке эффективности освоения месторождений. Позволяет реализовать ранее предложенную концепцию о привлечении стоимости запасов месторождений, наряду со стоимостью всех других ресурсов, расходуемых предприятиями горнопромышленного комплекса на производство своей товарной продукции, в целях соблюдения сбалансированности экономических интересов государства – владельца недр и недропользователей.

3. Доступность определения стоимости запасов месторождений на практике предложенным методом объясняется тем, что в качестве исходной базы данных используются сведения о результатах выполненных геологоразведочных, проектных и эксплуатационных работ.

4. Возможность определения стоимости запасов создает надежную основу для решения правовых задач в сфере совершенствования экономических отношений государства и недропользователей, широкого круга инженерных задач при проектировании и эксплуатации месторождений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н.Н. Ресурсосбалансированное недропользование: теория и методы / Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 110 с.
2. Мельников Н.Н. Экономические основы сбалансированного освоения минерально-сырьевой базы / Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. 125 с.
3. Козловский Е.А. Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность. М.: МГГУ, 2002. 849 с.
4. Путинцев В.К. О значении общегеологических работ в воспроизводстве минерально-сырьевой базы и приоритетных направлениях их развития / В.К. Путинцев, А.Х. Кагарманов, Ю.П. Ненашев // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2002. № 7–8. С. 47–52.
5. Орлов В.П. Сырьевая экономика в условиях глобализации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2001. № 3. С. 3–9.
6. Второй съезд горнопромышленников России // Геологическое изучение недр и водопользование. 2002. № 12. С. 25–28.
7. Мельников Н.Н. Концепция ресурсосбалансированного освоения минерально-сырьевой базы // Н.Н. Мельников, В.М. Бусырев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2005. № 2. С. 58–63.
8. Бусырев В.М. Определение стоимости балансовых запасов полезных ископаемых в месторождении // Горн. журн. 1992. № 12. С. 14–16.
9. Бусырев В.М. Плата за погашенные запасы и разведку месторождений // Горн. журн. 1995. № 9. С. 19–21.

#### Сведения об авторе

*Бусырев Владислав Михайлович* – ведущий научный сотрудник, д.т.н.; e-mail: kanad@goi.kolasc.net.ru

## ИССЛЕДОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩЕГО НАСЫПНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ КАК ПРОТОТИПА ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.И. Калашник, Н.А. Калашник  
Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Разработана геомеханическая модель исследования ограждающего насыпного гидротехнического сооружения – плотины. Модель исследована в упругопластической постановке методами компьютерного моделирования, в результате чего установлены закономерности деформирования и смещения тела сооружения, а также формирование кривой депрессии в теле в зависимости от уровня внешней водной нагрузки. Полученные результаты хорошо коррелируются с данными георадарных и сейсмотомографических исследований сооружения и могут быть использованы при обосновании мероприятий по снижению рисков опасных деформаций ограждающих дамб хвостохранилищ горно-обогатительных предприятий Кольского полуострова.

### Ключевые слова:

*дамба, геомеханическая модель, компьютерное моделирование, риск.*



Основные гидротехнические сооружения на горно-обогатительных предприятиях представляют собой систему хвостохранилищ и ограждающих их дамб и являются потенциально опасными объектами [1, 2]. Опыт эксплуатации таких объектов имеет многочисленные примеры возникновения чрезвычайных ситуаций и аварий, наиболее известные из которых: Качканарский ГОК (РФ), рудник Эль-Кобра (Чили), Карамкенский ГМК (РФ) углеобогатительная фабрика в Буффало-Крик (Западная

Виргиния, США), шахта «Преставель» (Италия), хвостохранилище в Колонтаре (Венгрия) (рис. 1), ОАО «Аммофос» (РФ) и др. [1]. Некоторые данные по авариям на хвостохранилищах приведены в таблице. Основной причиной аварий стало локальное или полное разрушение ограждающих дамб, представляющих собой насыпные (или намывные) грунтовые сооружения, вследствие формирования в теле дамб водопрводящих каналов и размыва.



Рис. 1. Авария на хвостохранилище в Колонтаре (Венгрия) [по 1]

## Аварии на хвостохранилищах

Наименование	Местоположение	Дата аварии	Тип отходов	Причина аварии	Число пострадавших	Ущерб, тыс. долл.
Хвостохранилище рудника "Эль-Кобре"	Центральная часть Чили, город Эль-Кобре	28.03.1965	отходы переработки медно-никелевых руд	разрушение дамбы вследствие землетрясения	300	
Качканарское шламохранилище	Россия, Свердловская область	02.11.1999	отходы переработки железованадиевых руд	прорыв дамбы в результате переполнения резервной емкости, в результате чего начали развиваться процессы фильтрации	–	>7
Карамкенское хвостохранилище	Россия, Магаданская область	29.08.2009	отходы переработки золотосеребряных руд (цианиды)	прорыв дамбы вследствие фильтрации через трещины	1 погиб, 2 пропали без вести, 11 семей остались без крова	
Шламонакопитель ОАО "Аммофос"	Россия, Вологодская область	11.05.2010	отходы от производства азотно-фосфорных удобрений	появление в дамбе трещин (в результате просадки), по которым начали развиваться процессы фильтрации	–	>1
Абагурское хвостохранилище	Россия, Кемеровская область	19.09.2010	отходы переработки черных металлов	в результате переполнения хвостохранилища отходами произошло разрушение дамбы	–	>0.5
Шламохранилище завода «MAL Hungarian Aluminum»	Венгрия, район города Айка	04.10.2010	отходы глинозема (красный шлам)	прорыв дамбы вследствие фильтрации через трещины	10 человек погибли, более 120 человек получили серьезные ожоги	>210

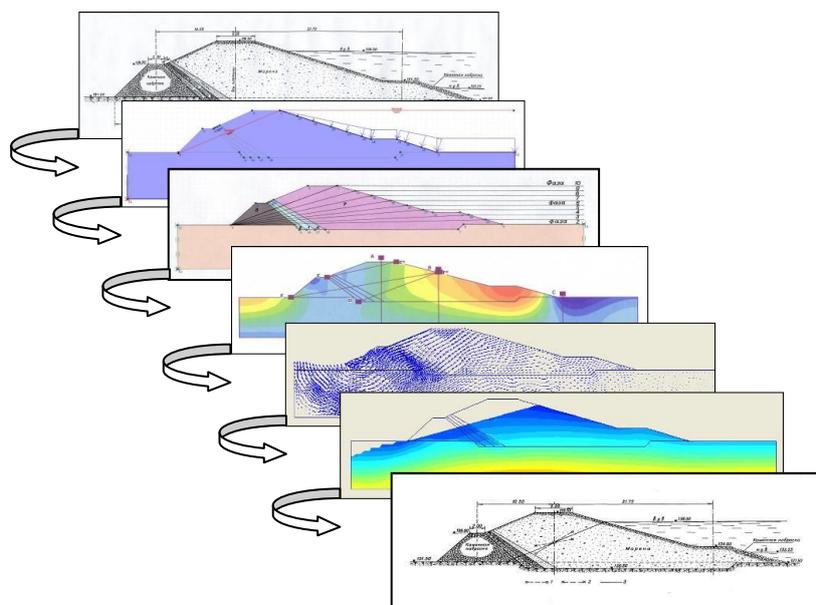
Система ограждающих дамб и хвостохранилище представляют собой ответственное гидротехническое сооружение, эксплуатация которого должна выполняться в строгом соответствии с требованиями промышленной безопасности [3, 4]. При этом техническая вода вторичного отстойника должна постоянно использоваться в системе замкнутого водооборота обогатительной фабрики. Нарушение устойчивости и функциональности ограждающих дамб может привести к аварийной ситуации и значительному социально-экономическому ущербу, заключающемуся в финансовых потерях (недополученная прибыль вследствие остановки фабрики), дополнительных затратах (ремонтно-восстановительные работы дамб, пульпопроводов, дорог, линий электропередач, пьезометрических станций, устройств и механизмов и др.; ликвидация последствий аварии; восстановление окружающих природных систем) и штрафах за загрязнение окружающей среды и экологический ущерб.

По данным Госгортехнадзора РФ, в стране в эксплуатации находится около 300 хвостохранилищ, при этом более 180 из них – в аварийном состоянии, что подтверждается высокой частотой их отказов.

Поэтому изучение состояния дамб комплексами экспериментальных и аналитических методов необходимо проводить, начиная со стадии строительства дамбы, во время ее первоначального нагружения и в процессе эксплуатации гидротехнической системы «хвостохранилище–дамба», в целях оперативного выявления неблагоприятных деформационных и фильтрационных процессов и своевременного принятия мероприятий по обеспечению устойчивости ограждающих дамб. Эти проблемы являются актуальными для ряда предприятий Кольского региона, в частности, для ЗАО «Северо-западная фосфорная компания», где на месторождении «Олений ручей» строится хвостохранилище в пойме Оленьего ручья; для АНОФ-2 ОАО «Апатит», где более чем на одну треть в высоту наращивается хвостохранилище и т.п.

В этой связи Горным институтом КНЦ РАН проведены постановочные комплексные полевые экспериментальные и компьютерные исследования, для которых в качестве прототипа объекта исследований была выбрана насыпная земляная плотина. Экспериментальные исследования включали в себя георадарные зондирования и сейсмотомографию тела плотины, в результате чего были определены механические характеристики грунтов, местоположение кривой депрессии и водопроводящих каналов, и была построена геомеханическая модель плотины [2].

Модель исследована в упругопластической постановке методами компьютерного моделирования по алгоритму, представленному на рис. 2.



*Рис. 2. Геомеханическая модель и компьютерное моделирование насыпной грунтовой плотины-дамбы*

В результате исследования установлены закономерности деформирования и смещения тела сооружения, а также формирование кривой депрессии в теле в зависимости от свойств слагающих его грунтов и уровня внешней водной нагрузки. Из рисунков 2 и 3 следует, что процессы деформирования захватывают не только тело самой плотины, но и подстилающее основание на глубину, примерно равную высоте плотины (для исследуемого случая). Причем на начальной стадии нагружения в центральной части плотины происходит уплотнение (усадка), но в последующем проявляется ее «выпучивание» примерно на величину усадки (рис. 3а). Горизонтальные перемещения гребня плотины аппроксимируются зависимостью  $y = 0,15x^2 + 0,17x + 17$  и возрастают с увеличением нагрузки (уровня воды) до относительных значений  $5 \cdot 10^{-2}$  (рис. 3б).

Горизонтальные перемещения нагружаемого склона плотины аналогичны перемещениям гребня с достижением максимальных величин примерно  $4 \cdot 10^{-2}$  (рис. 3г). Вертикальные перемещения при промежуточном нагружении также имеют аналогичный характер, но при максимальном нагружении, когда уровень воды повышается и достигает уровня гребня плотины, графики вертикальных перемещений свидетельствуют об образовании в приповерхностной части зоны разуплотнения (мощностью до 0.2 высоты плотины) и далее зоны уплотнения (мощностью до 0.5 высоты плотины) (рис. 3в).

Результаты проведенных исследований представляют собой научную основу для прогнозирования наиболее уязвимых мест (зон) насыпного грунтового гидротехнического сооружения – дамбы. В практическом приложении результаты работы использованы для обоснования мероприятий по снижению рисков локальных разрушений дамб на начальном этапе заполнения хвостохранилища одного из горнодобывающих предприятий Кольского п-ова.

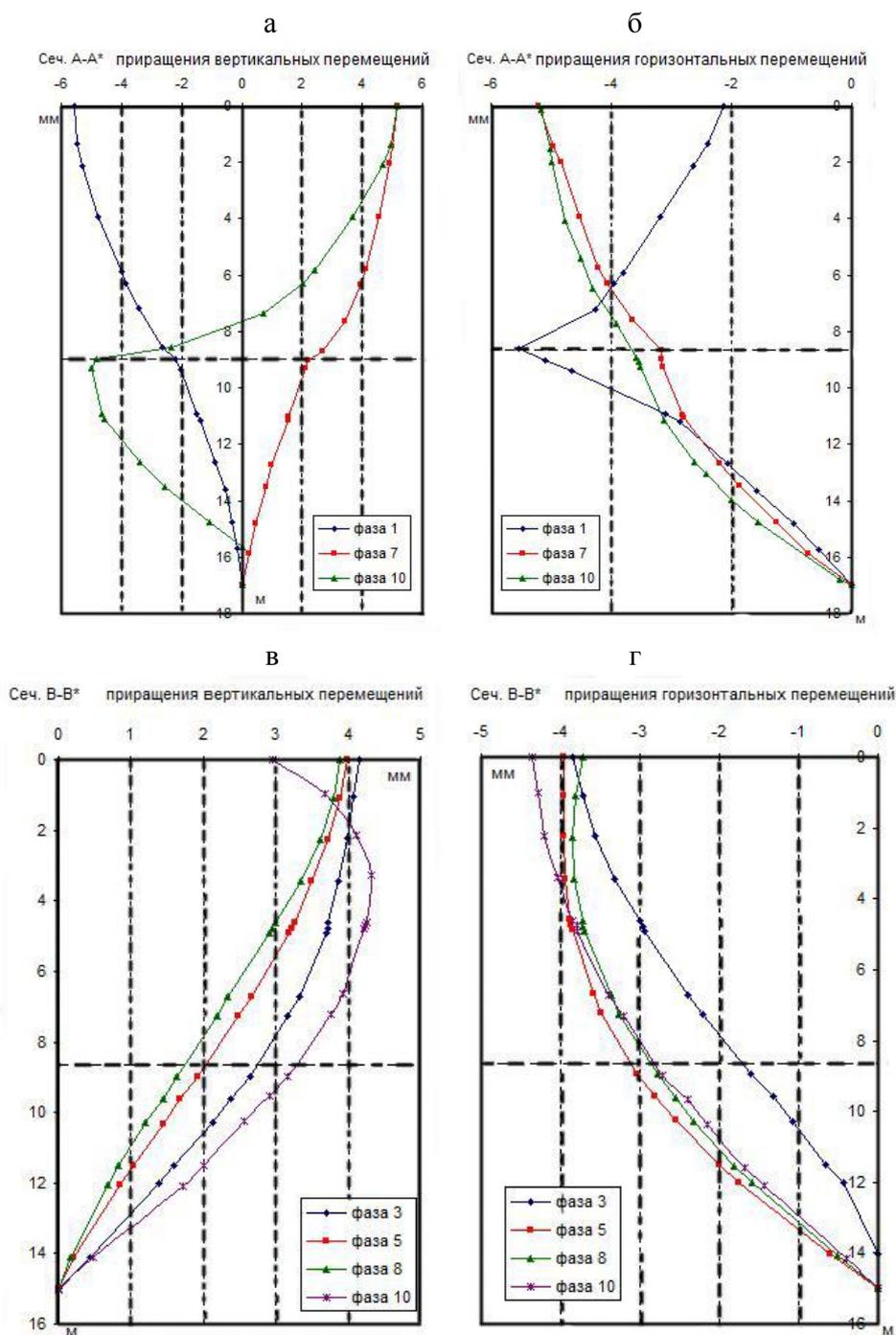


Рис. 3. Приращение вертикальных и горизонтальных перемещений в наиболее опасных зонах насыпной земляной плотины

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы защиты окружающей среды. Режим доступа: [www.secandsafe.ru](http://www.secandsafe.ru), свободный. 2. Калашник Н.А. Моделирование гидротехнических сооружений при ведении горных работ // Горное дело: Технологии. Оборудование. Спецтехника: тез. докл. IV Уральского горнопромышленного форума. Екатеринбург: Изд. АМБ, 2011. С. 197. 3. ФЗ О безопасности гидротехнических сооружений (№117-ФЗ). Принят 23.06.1997. 4. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Введ. 2004-01-01. М.: Госстрой России, 2004. 30 с.

#### Сведения об авторах

Калашник Анатолий Ильич – к.т.н., зав. лаб.; e-mail: [kalashnik@goi.kolasc.net.ru](mailto:kalashnik@goi.kolasc.net.ru)

Калашник Надежда Анатольевна – научный сотрудник; e-mail: [nadezhda-kalashnik28@rambler.ru](mailto:nadezhda-kalashnik28@rambler.ru)

## БАЗА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛАХ

**Н.А. Калашник**

Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

Показано, что необходимым условием решения задач геодинамической безопасности морских нефтегазопромислов является создание информационного геомеханического обеспечения на основе баз данных. Описаны основные положения разработанной иерархически-реляционной модели и структура созданной базы данных. Приведены фрагменты информационно-логических модулей с конкретными примерами по месторождениям и авариям на морских промыслах. В результате выполненных исследований создана база геомеханических данных и геодинамических проявлений по 210 морским нефтегазопромислам и 450 чрезвычайным ситуациям и авариям, имеющая принципиально важные особенности функционирования: данные, получаемые из многих разнопрофильных источников, интегрируются для системного анализа; в поисках общих тенденций (зависимостей) имеется возможность оперативно получать целевую информацию, охватывающую большие объемы данных; генерация отчетов (регулярных, сравнительных, суммарных) и репрезентативных выборок выполняется в автоматическом режиме; имеется возможность получения информации более высокого уровня (новых знаний) за счет автоматической обработки (поиск, сортировка, фильтрация, группировка, агрегирование, вычисления) и выявления ранее не известных зависимостей и связей данных.

### Ключевые слова:

*морские нефтегазопромислы, база данных, информация, геомеханика, геодинамические проявления, безопасность.*



Обустройство и вовлечение в эксплуатацию морских нефтегазовых месторождений без учета геомеханических процессов приводит к формированию условий возникновения и реализации разрушающих и катастрофических явлений и, как следствие, к потерям и недоиспользованию запасов нефти, газа и газоконденсата. Об этом свидетельствует мировой опыт отработки месторождений углеводородов на шельфе Северного моря, Мексиканского залива, Японского моря, морей Атлантического океана и т.п. [1, 2]. Экономические и социально-экологические последствия чрезвычайных ситуаций и аварий на морских нефтепромыслах по регионам с максимальной их концентрацией превышают десятки миллиардов долларов США [1, 2] (рис. 1).

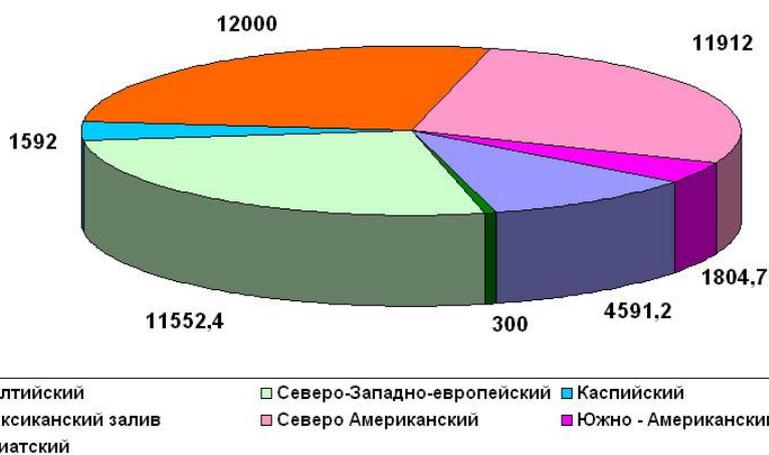


Рис. 1. Объемы убытков по регионам морских нефтегазопромислов, млн долларов США

Эффективное по экономическим показателям и безопасное извлечение углеводородов из морских месторождений диктует необходимость применения соответствующих технологий и мероприятий, основанных на фундаментальных достижениях в области геомеханики и новых знаниях о геодинамических проявлениях природно-техногенного характера.

Об актуальности решения геомеханических и геодинамических проблем, связанных с добычей, хранением и транспортировкой нефтеуглеводородов, свидетельствует не только практика разработки морских нефтегазовых месторождений, но и огромный объем научно-технических разработок в этой области, нашедших отражение в докладах многих ученых и исследователей на международных совещаниях (GEOPETROL [3], RAO/GIS Offshore [4], EUROROCK [5] и др.). Следует отметить, что к настоящему времени получен ряд важных теоретических результатов и разработаны конкретно локализованные практические рекомендации, но главные геомеханические задачи: прогноз развития геомеханических процессов и геодинамических проявлений и профилактика их разрушительных воздействий как на само месторождение, так и на скважины, обсадные колонны, добычные модули, трубопроводы, платформы и др. остаются нерешенными и, несомненно, являются актуальными [1]. Необходимым условием решения этих геомеханических задач применительно к морским нефтегазовым месторождениям является создание соответствующего информационного обеспечения, включающего формирование баз данных и разработку геомеханической модели нефтегазопромысла [6]. В данной работе приведено описание базы геомеханических данных и геодинамических проявлений на морских нефтегазопромыслах, созданной автором в рамках общего информационного обеспечения решения задач геодинамической безопасности.

Разработка структуры и формирование базы геомеханических данных и геодинамических проявлений на морских нефтегазовых разработках базировались на следующих основных положениях:

- применение иерархически-реляционной модели для взаимосвязи информации о регионах морских промыслов, углеводородном сырье, месторождениях, пространственно-геометрических и технико-экономических параметрах, геомеханических данных, геодинамических проявлениях, чрезвычайных ситуациях и авариях;

- формирование информационно-логических блоков базы данных на единой программной и технической платформе;

- использование автоматизированных процедур и гипертекстовых связей для интеграции, систематизации и оперативной аналитической обработки информации как из внешних, так и внутренних источников.

При этом обязательным являлось соблюдение следующих принципов:

- информационная совместимость, исключая дублирование значительной части горно-геологической и геомеханической информации;

- единое информационное поле для непрерывно продолжающегося процесса добычи углеводородного сырья;

- постоянное обновление информации о месторождении и процессах эволюции соответствующей нефтегазовой природно-технической системы в зависимости от изменяющихся пространственно-временных параметров, как природных, так и технических;

- данные рассматриваются либо как факты с соответствующими численными параметрами, либо как тексты, рисунки, диаграммы, гипертекстовые и мультимедийные приложения, которые характеризуют эти факты.

В основу созданной базы данных была положена специально разработанная для этих целей иерархически-реляционная модель (рис. 2), которая включает шесть системно взаимосвязанных информационно-логических блоков.

Блок «*Регионы*» содержит текстовую и картографическую информацию об основных регионах морских нефтегазопромыслов, табличную технико-экономическую и графическую пространственно-геометрическую информацию по ведущимся морским нефтегазопромыслам, процессам добычи, хранения, первичной переработке и трубопроводному транспортированию сырья. Работает в информационно-справочном и поисковом режимах.

Блок «*Месторождения*» содержит текстовую, табличную, графическую и картографическую информацию об основных морских и шельфовых нефтегазовых

месторождения. Работает как в информационно-справочном и поисковом, так и в функционально-аналитическом режимах.

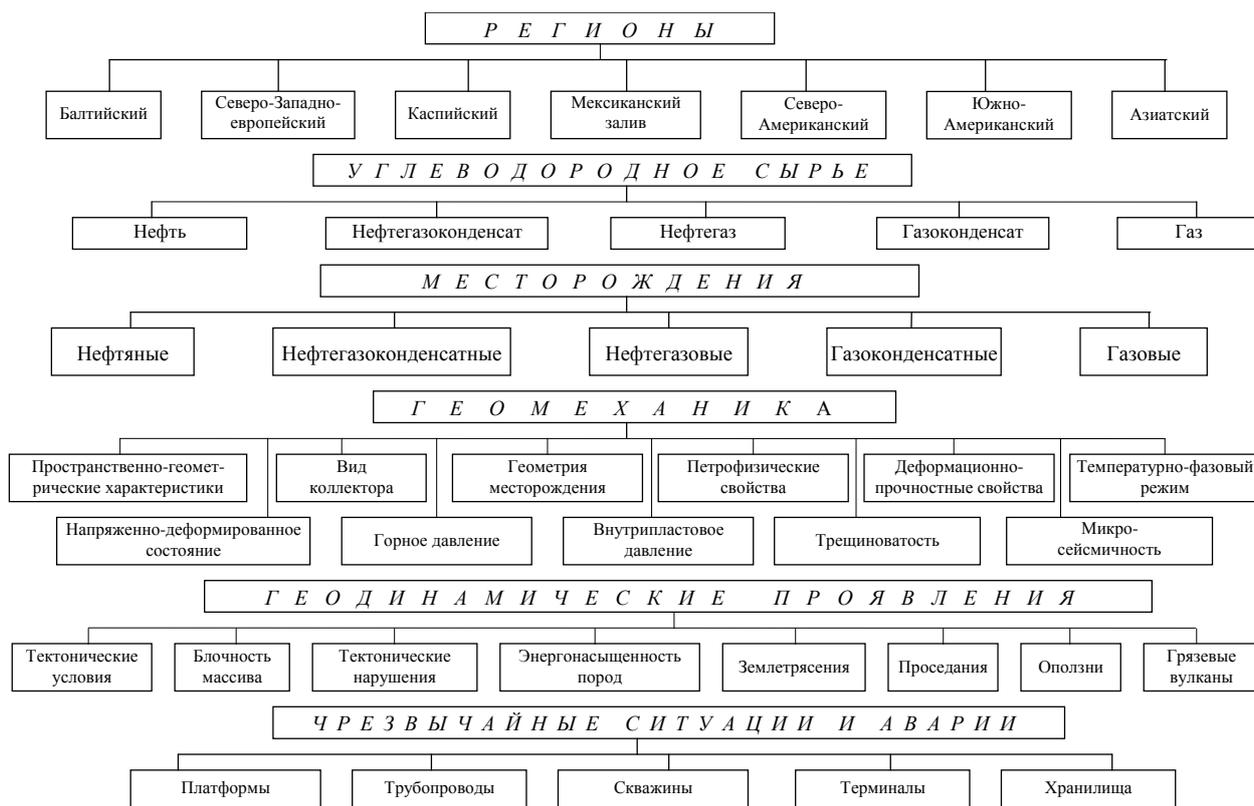


Рис. 2. Иерархически-реляционная модель базы геомеханических данных и геодинамических проявлений на морских нефтегазовых разработках

Блок «Углеводородное сырье» содержит текстовую, табличную и графическую информацию о физико-химических свойствах основных видов углеводородного сырья: нефть, нефтегаз, нефтегазоконденсат, газоконденсат, газ и т.п. Работает как в информационно-справочном и поисковом, так и в экспертно-аналитическом режимах.

Блок «Геомеханика» содержит текстовую, табличную и графическую информацию и данные о геомеханических условиях и физико-механических свойствах пород коллектора и перекрывающих толщ, об их исходном напряженно-деформированном состоянии, пластовом давлении флюида и др. Работает в информационно-справочном, поисковом и функционально-аналитическом режимах.

Блок «Геодинамические проявления» содержит текстовую, табличную и графическую информацию и данные о геодинамических проявлениях и процессах техногенного деформирования, приводящим к формированию опасных природно-техногенных геологических явлений: макросейсмичность, землетрясения, оползни, проседания, одномоментные проскальзывания/повороты геологических блоков по плоскостям тектонических разломов, образование газовых каналов, грязевых вулканов и др. Работает в информационно-справочном, поисковом и функционально-аналитическом режимах.

Блок «Чрезвычайные ситуации и аварии» содержит текстовую, табличную и графическую информацию и данные о чрезвычайных ситуациях и авариях, произошедших на морских нефтегазопромислах. Работает в информационно-справочном и экспертном режимах.

Главная кнопочная форма созданной автоматизированной базы геомеханических данных и геодинамических проявлений на морских нефтегазовых разработках приведена на рис. 3. Гипертекстовый переход на функциональные модули в дальнейшем осуществляется в соответствии с иерархически-реляционной моделью (см. рис. 1).

На рис. 4 приведены модули, характеризующие внутреннюю структуру базы данных в соответствии с информационно-логическими блоками «Геомеханика» и «Геодинамические проявления».



Рис. 3. Главная кнопочная форма базы данных «Морские нефтегазовые разработки»

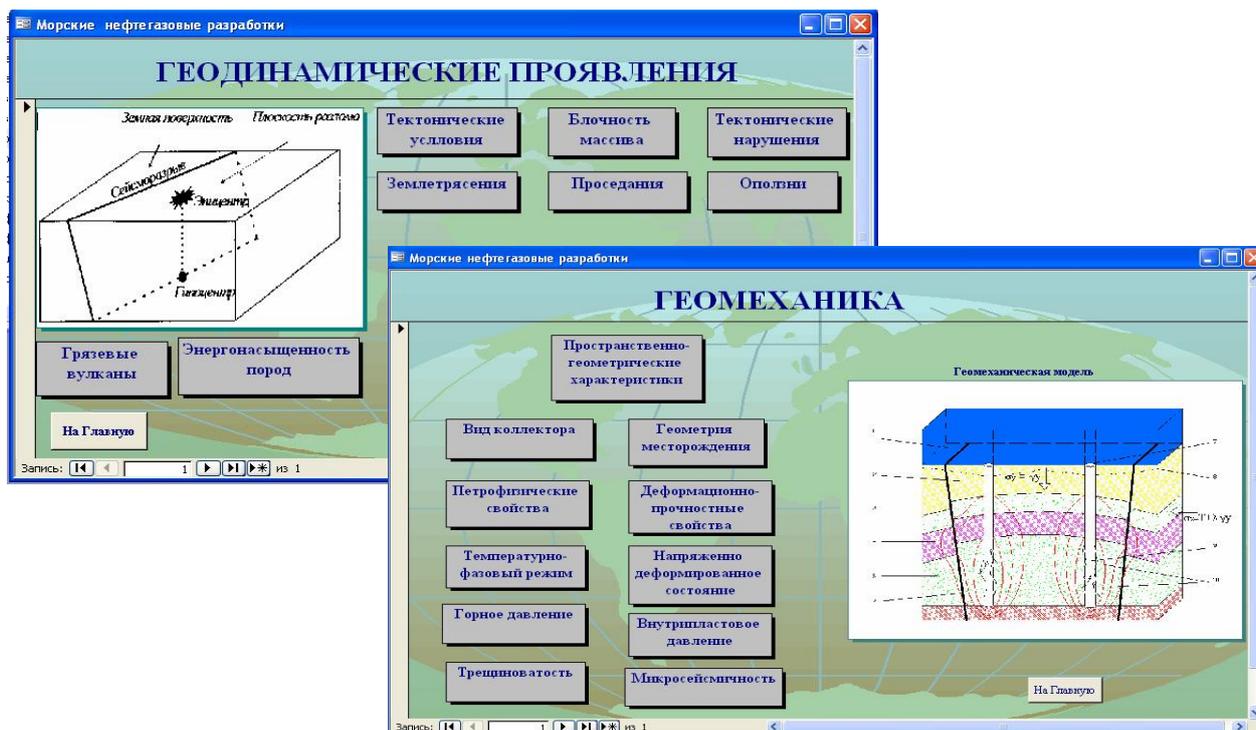


Рис. 4. Модули «Геомеханика» и «Геодинамические проявления» базы данных

На рис. 5 показан фрагмент базы данных, иллюстрирующий информационное наполнение на примере произошедшей в Мексиканском заливе аварии на платформе DEEPWATER HORIZON.

В результате выполненных исследований создана база геомеханических данных и геодинамических проявлений по 210 морским нефтегазопромыслам, 450 чрезвычайным ситуациям и авариям, имеющая принципиально важные особенности функционирования: данные, получаемые из многих разнопрофильных источников, интегрируются для системного анализа; в поисках общих тенденций (зависимостей) имеется возможность оперативно получить

целевую информацию, охватывающую большие объемы данных; генерация отчетов (регулярных, сравнительных, суммарных) и репрезентативных выборок выполняется в автоматическом режиме; имеется возможность получения информации более высокого уровня (новых знаний) за счет автоматической обработки (поиск, сортировка, фильтрация, группировка, агрегирование, вычисления) и выявления ранее неизвестных зависимостей и связей данных. База данных может быть полезна специалистам, аспирантам и студентам в области нефтегазового дела как в части информационного наполнения, так и с точки зрения применения автоматических процедур обработки и агрегирования данных.

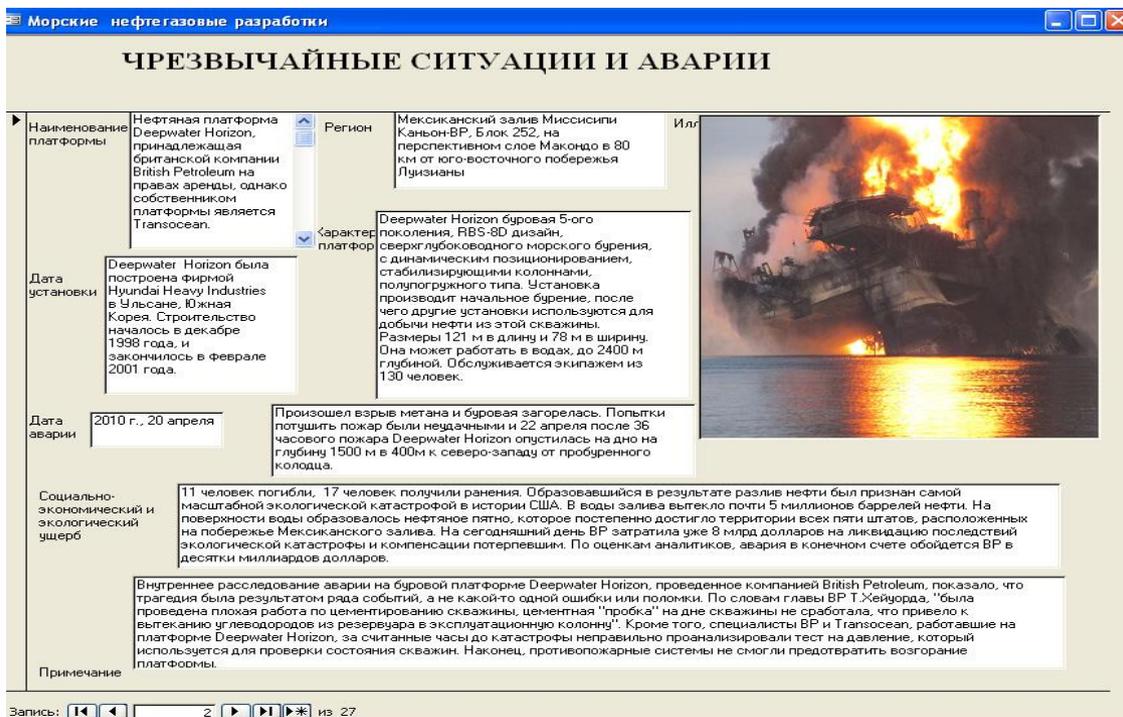


Рис. 5. Фрагмент модуля «Чрезвычайные ситуации и аварии» базы данных

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н.Н. Шельфовые нефтегазовые разработки: геомеханические аспекты / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2009. 140 с.
2. Кайзер Марк Дж. Риски и потери при морской добыче / Марк Дж. Кайзер, Алан Г. Пулцифер // Oil & Gas Journal. 2007. № 6. С. 96–105.
3. New Methods and Technology in Development and Production of Oil and Gas-Onshore and Offshore: Miedzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna / GEOPETROL 2010. Krakow, 2010.
4. International Conference and Exhibition for Oil and Gas Resources Development of the Russian Arctic and CIS Continental Shelf (RAO/CIS Offshore 2009). 2009.
5. Eurorock'98, SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering. The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 1998.
6. Калашник А.И. Геоинформационное обеспечение освоения шельфовых нефтегазовых месторождений Баренц-региона / А.И. Калашник, Н.А. Калашник // Геоинформатика. 2007. № 4. С. 12–16.

#### Сведения об авторе

Калашник Надежда Анатольевна – научный сотрудник;  
e-mail: nadezhda-kalashnik28@rambler.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ АВАРИЙНОЙ СВЯЗИ В ШАХТАХ

Е.Д. Терещенко, В.А. Любич, А.Н. Миличенко, С.В. Пильгаев  
Полярный геофизический институт КНЦ РАН

### Аннотация

Обсуждается возможность организации в шахтах аварийной связи в экстремально низкочастотном (ЭНЧ) диапазоне. В первой части статьи описан эксперимент по регистрации на поверхности Земли сигнала, излученного мобильным маломощным источником электромагнитных волн ЭНЧ-диапазона из подземной выработки рудника «Баренцбург» на архипелаге Шпицберген. Во второй части проведен анализ результатов трехмерного моделирования геоэлектрических неоднородностей среды и показано, что наличие высокопроводящих аномальных объектов, например, таких как тонкий угольный пласт, может приводить к многократному увеличению измеряемых амплитуд магнитного поля.

### Ключевые слова:

*аварийная связь в шахтах, мобильный генератор ЭНЧ-диапазона, вертикальный магнитный диполь, метод сеточной аппроксимации, угольный пласт.*

### Введение

Вопросы обеспечения связи в подземных выработках имеют очень важное значение в эффективной организации производственного процесса в рудниках и шахтах, а в случае возникновения чрезвычайных ситуаций наличие аварийной связи может сыграть исключительную роль при проведении спасательных работ. В настоящее время практически во всех шахтах используется телефонная связь, преимуществами которой являются дешевизна и простота обращения, а основным недостатком – низкая мобильность, ограниченная количеством и местоположением телефонных аппаратов. В последние годы на некоторых рудниках ОАО «Норильский никель» внедрялись новые высокотехнологичные системы радиосвязи, основанные на применении излучающего кабеля МСА 1000 [1]. Излучающий кабель представляет собой коаксиальный радиочастотный кабель, во внешнем проводнике которого имеются отверстия, вследствие чего высокочастотное электромагнитное поле распространяется не только внутри, но и снаружи кабеля. Такой кабель одновременно с трансляцией сигналов играет роль приемопередающей антенны, что позволяет организовать устойчивую радиосвязь на удалении от 20 до 100 м от излучающего кабеля. Использование подобного оборудования значительно повышает мобильность связи в шахтах и эффективность организации различных производственных процессов в подземных выработках. Однако общим недостатком как телефонной связи, так и радиосвязи на базе излучающего кабеля является наличие разветвленных кабельных сетей, весьма уязвимых в случае возникновения аварийных ситуаций. Поэтому представляется целесообразным использовать в подобных случаях мобильные, переносные средства радиосвязи в ЭНЧ-диапазоне, от 3 до 300 Гц. С целью изучения возможности зарегистрировать на поверхности Земли сигнал, излученный маломощным источником электромагнитных волн ЭНЧ-диапазона, находящимся в подземной выработке шахты, сотрудниками Полярного геофизического института КНЦ РАН в 2011 г. был проведен эксперимент на руднике «Баренцбург» на арх. Шпицберген. В первой части данной статьи приводятся краткие технические характеристики применявшейся аппаратуры и описание эксперимента. Вторая часть работы посвящена теоретическому объяснению полученных экспериментальных данных.

### Описание эксперимента по регистрации сигнала, излученного в подземной выработке шахты.

В 2011 г. на руднике «Баренцбург» ФГУП «Арктикуголь», расположенном на арх. Шпицберген, сотрудниками Полярного геофизического института КНЦ РАН был проведен специальный эксперимент. Цель эксперимента заключалась в проверке возможности

зарегистрировать на поверхности Земли сигнал ЭНЧ-диапазона от мобильного маломощного источника электромагнитного поля, расположенного в подземной выработке шахты.

Передающее устройство мощностью до 300 Вт представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из задающего генератора гармонических сигналов, системы управления, усилителя мощности, автономного источника питания 12 В, измерителя тока и рамочной антенны. Блок-схема передающего устройства приведена на рис. 1. Специально разработанная программа управления задающим генератором позволяет работать в двух режимах – ручном и автономном. В ручном режиме задается частота сигнала в диапазоне от 1 до 250 Гц, выходное напряжение, производится запуск и остановка генерации. В автономном режиме программируется расписание работы генератора, состоящее из набора используемых частот, интервалов времени генерации на данных частотах, выходных напряжений. После подключения питания устройство автоматически переходит на циклическое выполнение заданной программы. Гармонический сигнал с задающего генератора поступает на усилитель мощности, на выходе которого формируется синусоидальное напряжение в пределах от 0.1 до 36 В, что позволяет создать в рамочной антенне ток до 20 А. Ток в рамке определяется с помощью измерителя на основе датчика Холла. Конструктивно передающее устройство расположено в герметичном пластмассовом кейсе, обеспечивающем высокую мобильность и безопасность работы в условиях шахты. Масса комплекта аппаратуры составляет 6 кг. Рамочная антенна выполнена из одножильного медного кабеля длиной 100 м. Количество витков и средний диаметр рамки определяются доступными размерами горной выработки в месте генерации сигнала и выбираются таким образом, чтобы обеспечить максимальную суммарную площадь рамочной антенны.

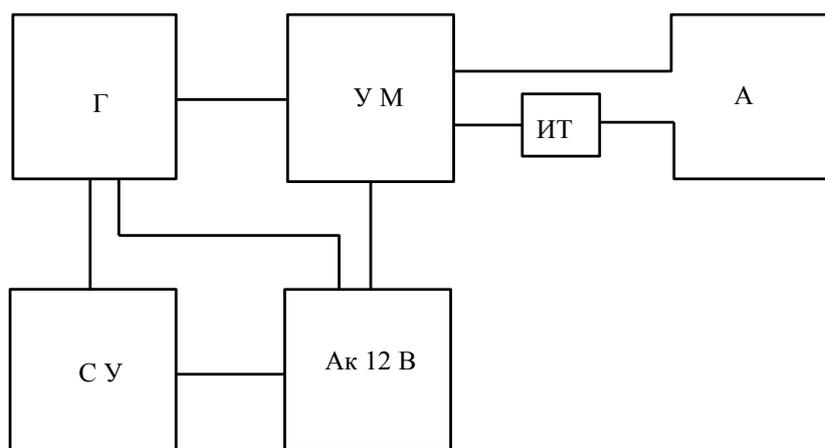


Рис. 1. Блок-схема передающего устройства: СУ – система управления, Г – задающий генератор, УМ – усилитель мощности, ИТ – измеритель тока в петле, Ак – аккумулятор 12 В, А – рамочная антенна

При проведении эксперимента передающее устройство располагалось на горизонте +60, что соответствует высоте 53.5 м над уровнем моря, высота местности в данной точке составляет 150 м. Рамочная антенна имела два витка и была развернута на развилке железнодорожных путей таким образом, что стороны получившейся треугольной петли имели длины 15, 11 и 13 м. Генерация сигнала производилась на четырех частотах: 10.9, 36.7, 76.2 и 159.4 Гц, сила тока в рамочной антенне составляла 16.1, 15.8, 13 и 10.4 А соответственно. Продолжительность сеансов излучения электромагнитного поля варьировалась от 6 до 15 минут.

Регистрация сигнала производилась трехкомпонентным индукционным магнитометром с полосой пропускания от 0.1 до 200 Гц, расположенным в радиофизической обсерватории «Баренцбург» Полярного геофизического института на расстоянии 3.4 км к северу от точки генерации электромагнитного поля. Высота местности здесь составляет 105 м над уровнем моря. Вертикальный и два горизонтальных магнитных датчика имеют взаимно ортогональную ориентацию, ось X направлена вдоль магнитного меридиана. Аналоговые сигналы с датчиков

оцифровываются 22-битным АЦП с частотой дискретизации около 514 Гц, после чего оцифрованные данные сохраняются на компьютере [2].

Для анализа временных рядов геофизических данных используется метод Уэлча, основанный на дискретных преобразованиях Фурье измеренных сигналов [3]. В результате обработки временных рядов по методу Уэлча получают оценки спектральной плотности мощности сигнала с учетом

влияния шума, по которым вычисляются значения амплитуд сигналов в единицах АЦП на требуемых частотах. На рис. 2 приведены графики спектральной плотности мощности для вертикальной компоненты магнитного поля  $H_z$  в окрестностях частот генерации электромагнитного поля. Как видно из графиков, полезный сигнал уверенно выделяется среди шума. Отношение мощности сигнала к мощности шума для вертикальной компоненты  $H_z$  варьируется в диапазоне примерно от 10 ( $f = 36.7$  Гц) до 170 ( $f = 76.2$  Гц), для интервала накопления сигнала 60 секунд. Приблизительно такие же значения отношения мощности сигнала к мощности шума характерны и для горизонтальной компоненты  $H_x$ . Для другой горизонтальной компоненты магнитного поля  $H_y$  это отношение заметно ухудшается и меняется в пределах от 2 ( $f = 36.7$  Гц) до 25 ( $f = 159.4$  Гц), что можно объяснить геометрией эксперимента, а именно,

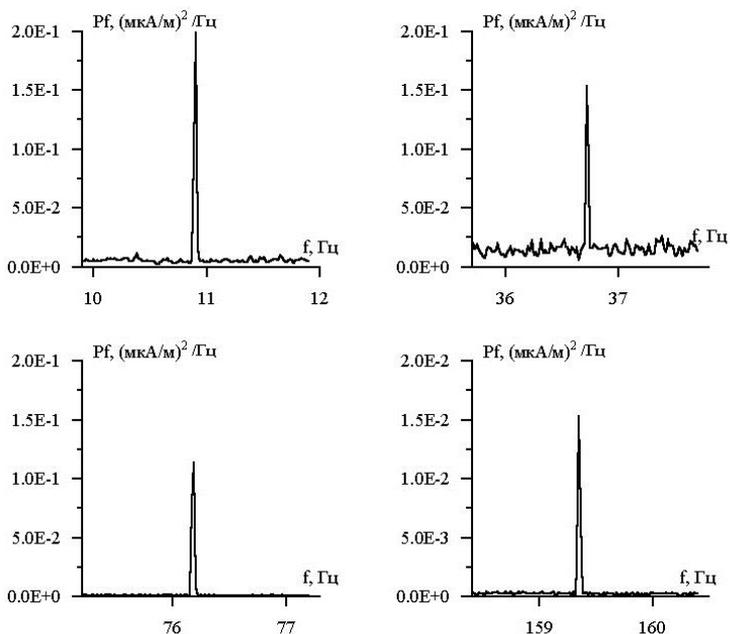


Рис. 2. Графики спектральной плотности мощности  $P_f$  для вертикальной компоненты магнитного поля  $H_z$  в окрестностях частот генерации электромагнитного поля, интервал накопления сигнала  $T = 60$  с

взаимным расположением точек генерации и приема сигнала в пространстве и ориентацией магнитных датчиков измерительной аппаратуры. Полученные значения амплитуд сигналов в единицах АЦП переводятся по калибровочным кривым в напряженности магнитного поля.

Таким образом, проведенным экспериментом было показано, что электромагнитные волны ЭНЧ-диапазона, излученные мобильным маломощным генератором из подземной выработки шахты, могут быть надежно зарегистрированы на поверхности Земли на расстоянии нескольких километров от источника поля.

## 2. Обсуждение результатов эксперимента

Так как линейные размеры рамочной антенны пренебрежимо малы по сравнению с расстоянием от генератора до приемника, то источник электромагнитного поля можно представить как вертикальный магнитный диполь с соответствующим дипольным моментом  $M = I \cdot Q$ , где  $I$  – сила тока в петле,  $Q$  – суммарная площадь витков рамочной антенны. Нормальное поле от вертикального магнитного диполя, погруженного в нижнее полупространство на глубину  $h$ , вычисляется по формулам [4]:

$$\begin{aligned}
 H_{0x} &= -\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial A_z}{\partial z} \\
 H_{0y} &= -\frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial A_z}{\partial z} \\
 H_{0z} &= -k^2 A_z + \frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} \\
 k &= \sqrt{-i\omega\mu\sigma},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $A_z$  – магнитный вектор-потенциал,  $k$  – волновое число,  $\omega$  – круговая частота генерируемого поля,  $\mu$  – магнитная проницаемость,  $\sigma$  – электропроводность среды. Магнитный вектор-потенциал  $A_z$  для случая  $0 < z < h$  (начало координат совпадает с местоположением точечного диполя, ось  $Z$  направлена вверх) выражается формулой:

$$A_z = \frac{M}{4\pi} \int_0^\infty \frac{\lambda}{p_1} \left( e^{-p_1 z} + \frac{p_1 - p_0}{p_1 + p_0} e^{-2p_1 h + p_1 z} \right) J_0(\lambda r) d\lambda \quad (2)$$

$$p_{0,1} = \sqrt{\lambda^2 + k_{0,1}^2},$$

где  $k_0$  и  $k_1$  – волновые числа для верхнего и нижнего полупространств соответственно,  $r$  – горизонтальное расстояние от источника до точки наблюдения поля.

Амплитуды компонент нормального магнитного поля для набора частот генерации электромагнитных волн вычислялись для следующих значений параметров: глубина погружения вертикального магнитного диполя  $h = 50$  м, разнос установки  $r = 3400$  м, электропроводность Земли  $\sigma = 10^{-4}$  См/м. Получившиеся значения амплитуд нормального поля на таких разносах оказались существенно меньше наблюдаемых, так вертикальные компоненты  $H_z$  различаются на порядок, а горизонтальные компоненты – на 2–3 порядка. Для частоты  $f = 36.7$  Гц, например, амплитуды компонент наблюдаемого магнитного поля, нормированные на ток, составляли  $|H_z| = (3.7 \pm 1.7) \cdot 10^{-9}$  А/м,  $|H_x| = (6.3 \pm 1.7) \cdot 10^{-9}$  А/м и  $|H_y| = (1.7 \pm 0.6) \cdot 10^{-9}$  А/м, а нормального поля –  $|H_{z0}| = 2.4 \cdot 10^{-10}$  А/м,  $|H_{x0}| = 2 \cdot 10^{-11}$  А/м и  $|H_{y0}| = 1.7 \cdot 10^{-12}$  А/м.

Такие большие значения амплитуд горизонтальных компонент магнитного поля характерны для другого типа источника электромагнитного поля – заземленной длинной линии, тем более что замкнутая рамка располагалась на железнодорожных путях, которые потенциально могли повысить эффективность передающей антенны. Чтобы оценить вклад высокопроводящих элементов инфраструктуры шахты: стальных рельс, медных троллеев, кабелей и т.п., в аномальную часть наблюдаемого магнитного поля, в 2012 г. были проведены дополнительные исследования. На этот раз передающее устройство с замкнутой рамкой, состоящей из двух круглых витков радиуса 8 м, было расположено на поверхности Земли на расстоянии 2.5 км от индукционного магнитометра. Таким образом, инфраструктурные проводящие элементы шахтного оборудования находились на значительном удалении от антенны генератора и не могли оказывать существенное влияние на характеристики источника электромагнитного поля. Однако аномально большие значения измеренного магнитного поля по сравнению с расчетным нормальным полем наблюдались по-прежнему. Например, для частоты  $f = 36.7$  Гц амплитуда вертикальной компоненты наблюдаемого поля составляла  $|H_z| = (5.1 \pm 1.3) \cdot 10^{-8}$  А/м, а нормального поля –  $|H_{z0}| = 1.1 \cdot 10^{-9}$  А/м. Данный эксперимент продемонстрировал, что аномальное поле формируется из-за наличия естественной крупной проводящей неоднородности, в данном случае роль такой неоднородности может играть угольный пласт.

Для трехмерного моделирования геоэлектрических неоднородностей использовался метод сеточной аппроксимации уравнений для векторного  $\mathbf{A}$  и скалярного  $\varphi$  потенциалов аномального электрического поля  $\mathbf{E}_a = \mathbf{A} + \nabla\varphi$  [5]. Для однозначного определения векторного потенциала принята калибровка Кулона  $\text{div}\mathbf{A} = 0$ . Данный метод основан на традиционном представлении о том, что источники аномального поля определяются избыточной проводимостью  $\Delta\sigma$  в некоторых ограниченных областях пространства. В качестве исходной для сеточной аппроксимации берется система дифференциальных уравнений, связывающих векторный  $\mathbf{A}$  и скалярный  $\varphi$  потенциалы аномального поля с избыточной проводимостью среды:

$$\nabla^2 \vec{A} + i\omega\mu\sigma(\vec{A} + \nabla\varphi) = -\mathbf{S}_E \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (\sigma\vec{A}) + \nabla \cdot (\sigma\nabla\varphi) = -(i\omega\mu)^{-1} \nabla \cdot \mathbf{S}_E,$$

где правая часть уравнений соответствует источникам аномального поля

$$S_E = i\omega\mu(\sigma - \sigma_0)\vec{E}_0.$$

В качестве граничных условий для векторного и скалярного потенциалов выбраны условия Дирихле: равенство нулю потенциалов аномального поля на границе области моделирования. Для сеточной аппроксимации системы уравнений (3) вводится трехмерная прямоугольная сетка, которая разбивает пространство моделирования на отдельные ячейки – параллелепипеды. Каждой ячейке приписываются значения электропроводности  $\sigma$  и избыточной проводимости  $\Delta\sigma$ , если эта ячейка относится к аномальной области. Чтобы удовлетворить граничным условиям Дирихле, линейные размеры ячеек увеличиваются по определенному правилу по мере удаления от источников аномального поля. В результате интегрирования системы уравнений (3) по элементарным объемам  $V_{i,j,k}$  вокруг узлов сетки и аппроксимации дифференциальных операторов конечноразностными образуется линейная система уравнений относительно значений трех компонент векторного потенциала  $A_{i,j,k}^{(l)}$ ,  $l=\{x,y,z\}$  и скалярного потенциала  $\phi_{i,j,k}$  в узлах сетки.

Полученная матрица системы линейных уравнений имеет ленточную форму с доминантной диагональю, точные выражения для элементов этой матрицы приведены в статье [5]. Для решения систем линейных уравнений с диагонально доминантной матрицей целесообразно применять итерационный метод Зейделя:

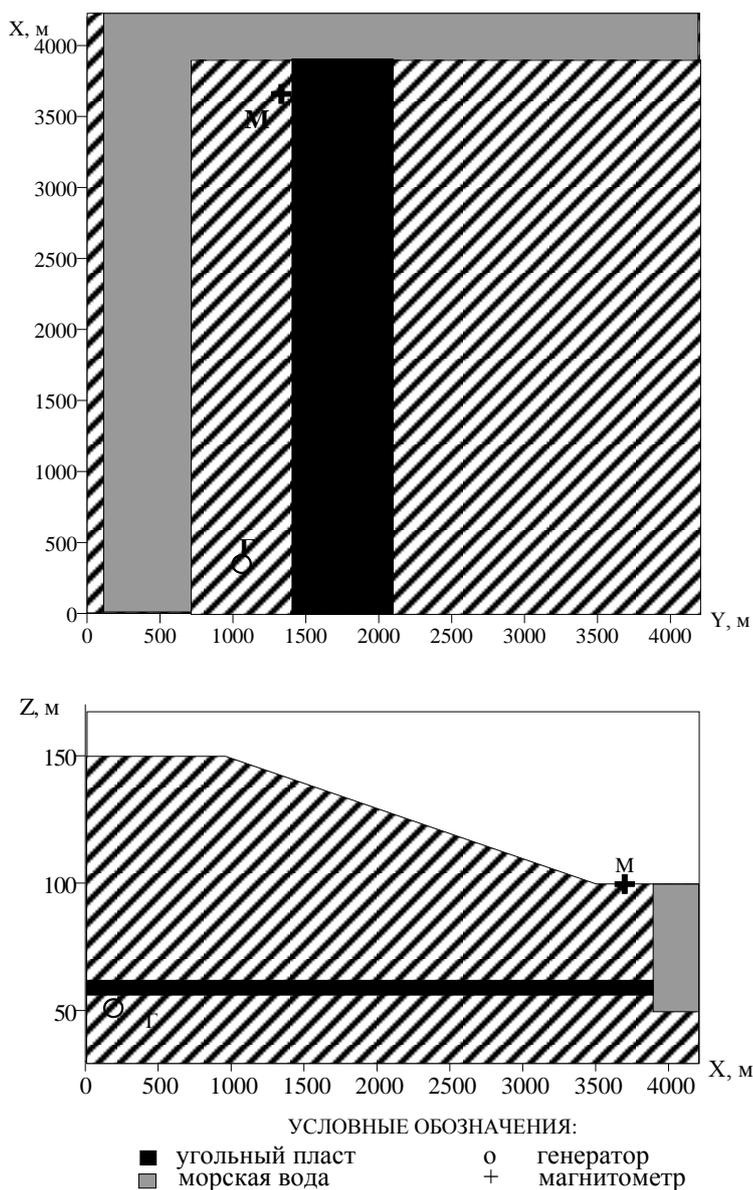
$$x^{k+1} = B^{-1}(F - Cx^k), \quad (4)$$

где  $x^k$  – итерация порядка  $k$  искомого решения,  $F$  – правая часть системы линейных уравнений,  $B$  – нижняя треугольная матрица с доминантной диагональю,  $C$  – верхняя треугольная матрица с нулевой диагональю, такие что их сумма  $B+C=A$  дает исходную матрицу системы линейных уравнений. Итерации продолжаются до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность вычислений.

Аномальное магнитное поле выражается через векторный потенциал  $A$  следующей формулой:

$$\vec{H}_a = (i\omega\mu)^{-1}\nabla \times \vec{A} \quad (5)$$

Для исследования влияния геоэлектрических неоднородностей на распространение электромагнитных волн в трехмерной гетерогенной среде была построена модель пространства, учитывающая реальные условия района проведения эксперимента. Линейные размеры области моделирования определялись расстоянием от источника электромагнитного поля до измерителя  $r = 3.4$  км и глубиной погружения вертикального магнитного диполя от дневной поверхности Земли в этой точке  $h = 100$  м, вследствие чего линейные размеры ячеек сетки составили  $\Delta x = \Delta y = 70$  м по горизонтали и  $\Delta z = 5$  м по вертикали. Электропроводность Земли была принята  $\sigma_0 = 10^{-4}$  См/м. Наиболее существенной геоэлектрической неоднородностью в данном районе является высокопроводящий тонкий угольный пласт, в модели он представлен горизонтальной пластиной с линейными размерами  $\Delta y = 700$  м,  $\Delta x = 3700$  м, мощностью  $\Delta z = 5$  м. Глубина залегания пластины соответствует глубине погружения вертикального магнитного диполя. Проводимость угольного пласта была принята  $\sigma_a = 10$  см/м. Кроме того, модель учитывала наличие морских заливов к северу и западу от района проведения эксперимента, проводимость воды была принята  $\sigma = 2$  См/м. Глубина заливов взята 50 м. Учитывался также и рельеф поверхности Земли, высота местности снижается от 150 м в месте расположения генератора до 100 м в районе размещения магнитометра. Схема выбранной модели изображена на рис. 3.



*Рис. 3. Схема модели участка проведения эксперимента*

около края аномалеобразующего пласта, для рассматриваемой модели на расстоянии 70 м.

Сохраняющееся расхождение между экспериментально наблюдаемыми данными и модельными значениями амплитуд магнитного поля можно объяснить грубостью выбранной модели, так как для более точного учета конфигурации и характеристик угольного пласта на руднике «Баренцбург» не хватает геологических данных. Рассмотренная выше модель лишь на качественном уровне демонстрирует возможный механизм увеличения амплитуд измеряемого магнитного поля.

Таким образом, результаты моделирования показывают, что при определенных условиях проведения эксперимента влияние высоко-проводящих аномальных областей, например, тонкого угольного пласта, может значительно повысить амплитуды измеряемых компонент магнитного поля.

Модельные значения амплитуд компонент магнитного поля складываются из двух частей – нормального поля погруженного в нижнее полупространство вертикального магнитного диполя и аномального поля, обусловленного проводящими неоднородностями среды. На рис. 4 представлены графики измеренных, нормальных и суммарных модельных значений амплитуд компонент магнитного поля, нормированных на ток, в зависимости от частоты генерации электромагнитных волн. Из графиков кривых видно, что влияние высокопроводящих аномальных объектов, таких как тонкий угольный пласт, может увеличивать амплитуды компонент магнитного поля на порядок величины для вертикальной составляющей  $H_z$  и на один-два порядка для горизонтальных составляющих поля по сравнению с нормальными значениями. Например, для частоты  $f = 36.7$  Гц амплитуды компонент нормального магнитного поля составляли  $|H_{z0}| = 2.4 \cdot 10^{-10}$  А/м,  $|H_{x0}| = 2 \cdot 10^{-11}$  А/м и  $|H_{y0}| = 1.7 \cdot 10^{-12}$  А/м, суммарные значения, учитывающие вклад аномального поля, составляли уже соответственно  $|H_{zm}| = 2.1 \cdot 10^{-9}$  А/м,  $|H_{xm}| = 7.8 \cdot 10^{-10}$  А/м и  $|H_{ym}| = 3.7 \cdot 10^{-10}$  А/м. Результаты моделирования показали, что наибольшая интенсивность аномального поля достигается в тех случаях, когда приемник расположен

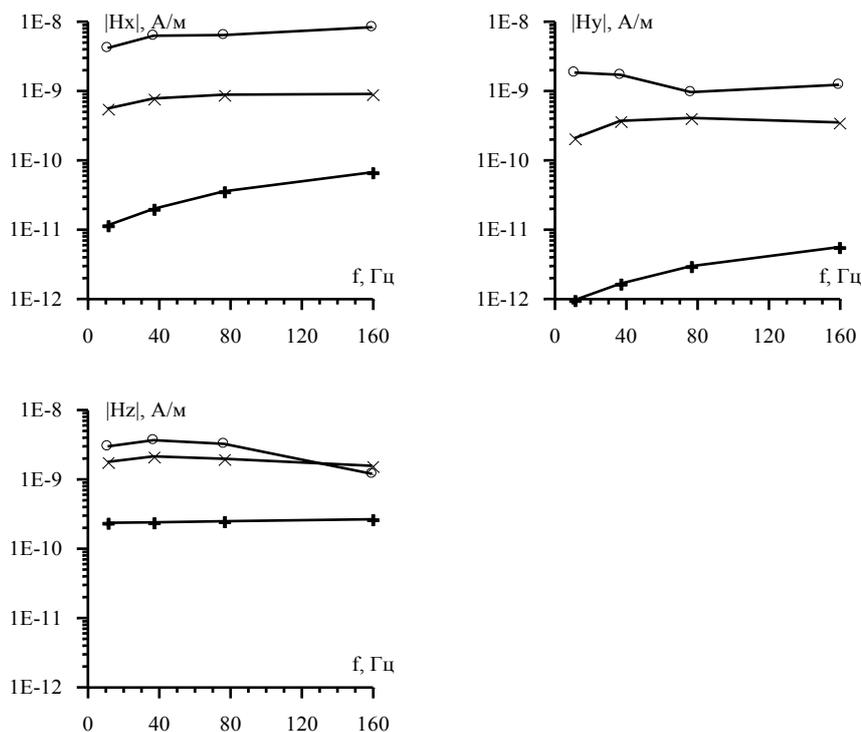


Рис. 4. Графики амплитуд компонент магнитного поля: о – экспериментально измеренные значения, + – значения нормального поля, х – модельные значения, учитывающие влияние геоэлектрических неоднородностей среды

## Выводы

Проведенный эксперимент на руднике «Баренцбург» арх. Шпицберген продемонстрировал принципиальную возможность надежной регистрации на поверхности Земли сигнала, излученного мобильным маломощным генератором электромагнитных волн ЭНЧ-диапазона из подземной выработки шахты, на расстоянии нескольких километров от местоположения передатчика. Полученный результат эксперимента показывает реальность организации односторонней аварийной связи из подземной выработки шахты с поверхностью Земли с помощью мобильного маломощного передающего устройства, что может иметь принципиально важное значение при проведении спасательных работ в чрезвычайных ситуациях. При

этом измерительную аппаратуру можно расположить на значительном удалении, до нескольких километров, от источников интенсивных промышленных помех.

Выполненное трехмерное моделирование геоэлектрических неоднородностей среды на качественном уровне показало, что высокопроводящие аномальные объекты, такие как, например, тонкий угольный пласт, оказывают существенное влияние на распространение электромагнитных волн в среде, что может приводить к значительному увеличению амплитуд измеряемого магнитного поля.

Авторы благодарны сотрудникам Полярного геофизического института КНЦ РАН С.А. Щадрину и А.В. Роскуляку за помощь при проведении эксперимента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанщикова С.В. Современная связь в шахтах: производственные выгоды / С.В. Барабанщикова, А.Е. Капаев // Горная промышленность. 2003. № 2.
2. Федоренко Ю.В. Прецизионный четырехканальный 22-разрядный аналого-цифровой преобразователь на основе AD 7716 / Ю.В. Федоренко, С.В. Пильгаев, М.В. Филатов, О.И. Ахметов // ПТЭ. 2009. № 4. С. 179–180.
3. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990.
4. Заборовский А.И. Переменные электромагнитные поля в электроразведке. М.: МГУ, 1960.
5. Aruliah D.A. A method for the forward modeling of 3D electromagnetic quasi-static problems / D.A. Aruliah, U.M. Ascher, E. Haber, D. Oldenburg // Mathematical Models in Applied Sciences (M3AS). 2001. Vol. 11. P. 1–21.

## Сведения об авторах

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

Любич Владимир Алексеевич – к.ф.-м.н., научный сотрудник; e-mail: lubchich@yandex.ru

Миличенко Александр Николаевич – зам. директора по общим вопросам; e-mail: alexander@pgi.ru

Пильгаев Сергей Васильевич – младший научный сотрудник; e-mail: pilgaev@pgi.ru

## ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ РАКООБРАЗНЫХ, АССОЦИИРОВАННЫХ С МОРСКИМ ЛЬДОМ В АРКТИКЕ (ОБЗОР)

В.Г. Дворецкий, А.Г. Дворецкий

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

### Аннотация

Проведен анализ основных черт состава и распределения массовых представителей ледовой фауны Северного Ледовитого океана – веслоногих и разноногих ракообразных. Указанные группы играют большую роль в полярных морских экосистемах, формируя значительную часть суммарной продукции сообществ ледовых организмов. Наиболее массовые копеподы интерстициали льда арктических морей – это гарпактициды и циклопоиды, где их обилие может достигать нескольких тысяч экземпляров на 1 м<sup>2</sup>. Каляниды встречаются в составе льда в основном в виде яиц и науплиев, взрослые стадии обитают в прикромочном пространстве. Биомассы копепод, ассоциированных со льдом, варьируют от 0 до 20 мгС/м<sup>2</sup>. Амфиподы способны обитать в самом верхнем слое льда, в отверстиях и каналах, появляющихся при летнем таянии, а также в прикромочном слое морской воды. Максимальная биомасса (3.5 гС/м<sup>2</sup>) отмечена у Земли Франца-Иосифа (Баренцево море). Жизненные стратегии представителей ледовой фауны отличаются удлинением времени развития, низкими скоростями роста и меньшим числом генераций за год. Основными источниками пищи для ассоциированных со льдом организмов выступают ледовые микроводоросли, органическое вещество и детрит. Успешное развитие в условиях Арктики обеспечивается комплексом адаптаций, включающих поведенческие (репродуктивные и трофические стратегии), физиологические (устойчивость к повышенной солености и низкой температуре, накопление липидных запасов и метаболическую гибкость) и анатомические особенности (специализированный ротовой аппарат и конечности).

### Ключевые слова:

*ракообразные, морской лед, Арктика.*



### Введение

Морской лед служит средой обитания бактерий, водорослей, простейших и беспозвоночных. В арктических морях ледовая биота формирует важное звено пищевой цепи [1]. В составе комплекса ассоциированных со льдом организмов по численности и биомассе чаще всего доминируют ракообразные. Их роль в трофических сетях во уже многом изучена, хотя есть ряд вопросов, требующих решения, например, не выяснено, какова реакция отдельных

видов на выраженную сезонность в полярных условиях.

Впервые трофические связи ледовой биоты в арктических условиях были изучены А.Н. Голиковым и О.А. Скарлато (1973) [2]. Следующий важный шаг в исследовании криопелагической фауны – классификация организмов, ассоциированных со льдом; первая такая сводка для моря Бофорта включала более 10 видов копепод и 13 видов амфипод [3]. Впоследствии в список таксонов ледовой фауны были добавлены турбеллярии, нематоды, коловратки и эвфаузииды [4–7]. Ледовая кромка во многом способствует защите от хищников. Кроме того, более длинный цикл развития ледовых микроводорослей дольше снабжает ледовых животных пищей по сравнению с фитопланктоном высоких широт. Организмы, обитающие в условиях ледовой кромки, питаются в слое воды, прилегающем непосредственно ко льду [8–9].

Одна из трудностей в изучении арктических ракообразных связана с наличием у них длительных (обычно более 1 года) жизненных циклов. В целом можно отметить, что хотя судовые исследования дают хорошую информацию о пространственном распределении ледовой фауны, они практически не дают никаких данных, касающихся их временной динамики. Тем не менее, в последние 15–20 лет отмечен значительный прогресс в этой области [1].

Ассоциированная со льдом фауна включает автохтонный комплекс – организмы, заканчивающие свой жизненный цикл внутри льда, и аллохтонный комплекс – организмы, которые частично связаны со льдом, реализуют там лишь часть своего жизненного цикла [10].

Автохтонные организмы достаточно широко представлены в арктических морях, т.к. лед там многолетний. Жизненные циклы и распространение таких видов зависят от ледового покрова и дрейфа льдов [11]. Арктический лед поддерживает существование организмов с длительным развитием (более 1 года). Амфиподы *Gammarus wilkitzkii* способны жить более 6 лет [12] и поддерживают существование своей популяции в тесной ассоциации с ледовой кромкой на протяжении всего года. Следует отметить, что некоторые виды, классифицируемые как автохтонные, видимо, способны выживать и в отсутствие морского льда, в глубоководных слоях водной толщи. Примерами таких организмов могут быть амфиподы *Apherusa glacialis* [13] и *G. wilkitzkii* [14, 15]. Другие виды амфипод связаны со льдом еще слабее (во льду не было обнаружено ни одной их репродуктивной стадии) [16]. Более того, лед, а значит и ледовую кромку, можно считать «перевернутым дном» [1], следовательно, все организмы, которые живут в тесной ассоциации со льдом, это преимущественно эпибентосные либо бентопелагические животные. Тем не менее, они составляют существенную часть зоопланктонного сообщества.

Целью работы был обзор опубликованных данных о трофических условиях обитания, продукции, составе сообществ, распределении, репродукции и жизненных стратегиях массовых представителей ледовой фауны в арктических морях. Основной акцент сделан на описании биологии аллохтонных организмов, которые слабо связаны непосредственно со льдом как субстратом.

## 1. Продукция организмов, ассоциированных со льдом

Годовая первичная продукция ледовых сообществ в арктических районах варьирует от 5 до 15 гС/м<sup>2</sup> [1]. Для примера, в Антарктике диапазон ее изменения составляет 0.3–38 гС/м<sup>2</sup> [17]. При этом только небольшая доля продукции автотрофов передается вторичным продуцентам. В арктических районах Баренцева и Берингова морей эта доля редко превышает 10% [18]. В Гренландском море суммарная биомасса интерстициальных организмов пакового льда составляет 196 мгС/м<sup>2</sup>, при этом 43% приходилось на автотрофов, 51% – на бактерий и гетеротрофных флагеллат и лишь 4% – на мейофауну (8 мгС/м<sup>2</sup>) [19]. Во льду с возрастом более 1 года в северной части Баффинова залива биомасса углерода мейофауны варьирует между 0 и 19.4 мгС/м<sup>2</sup> [20]. В море Веделла (Антарктика) интегральная величина биомассы ассоциированных со льдом животных изменяется от 0 до 118 мгС/м<sup>2</sup>, в составе сообщества доминируют ракообразные (35–62%), остальные организмы были представлены турбелляриями (25–41%) и фораминиферами [1]. Отметим также, что в полярных районах в составе сообществ многолетнего льда часто преобладают ледовые нематоды и турбеллярии [19, 21], тогда как комплекс организмов кромки недавно сформировавшегося льда представлен в основном копеподами [20].

## 2. Сообщества льда

Лед формирует по меньшей мере три различные среды обитания:

- поверхностный слой льда, где в основном обитают диатомовые, динофлагелляты и цилиаты [22];
- промежуточный слой, где концентрация микроводорослей существенно выше за счет более высокой температуры и солености [1];
- нижняя кромка льда, характеризующаяся высокой стабильностью.

Именно в пределах последней среды обитания формируются наиболее богатые сообщества, которые включают как бентосных, так и пелагических организмов [19]. Высокое разнообразие во многом связано со значительной концентрацией биогенов, поступающих из подлежащего слоя морской воды. При этом крупные животные (амфиподы и эвфаузииды) концентрируются в слоях воды, прилегающих к ледовой кромке [3]. Поскольку именно ракообразные формируют основной фон сообщества животных, ассоциированных с кромкой льда, рассмотрим более подробно их состав.

Основные группы ракообразных, связанные со льдом, – это копеподы, амфиподы и эвфаузииды (в Антарктике). Данные таксоны характеризуются достаточно малыми размерами, гибкими пищевыми потребностями и высокой подвижностью, что позволяет им успешно существовать в ассоциации со льдом. Веслоногие и разноногие ракообразные, как было отмечено ранее, – самые массовые ракообразные в арктических районах, однако также встречаются декаподы, мизиды и личинки усоногих рачков. В составе сообществ животных, ассоциированных со льдом наиболее полно изучены амфиподы [1]. Копеподам уделяется гораздо меньше внимания. В частности, очень мало данных по их биомассе. Только в нескольких работах копеподы рассматривались не в качестве целой группы, а как отдельные виды.

### 3. Распределение копепод, ассоциированных со льдом

Численность гарпактицид и циклопоид, обитающих в интерстициали льда арктических морей колеблется от нескольких экземпляров до тысяч экземпляров на  $1 \text{ м}^2$  [5, 6, 21]. Эти величины на несколько порядков выше по сравнению со значениями, зарегистрированными в прикромочном слое [7, 23]. Максимальные значения углеродной биомассы ( $20 \text{ мгС/м}^2$ ) были отмечены в море Лаптевых [21] и Северной полынье Баффинова залива [20]. Представители отрядов *Harpacticoida* и *Cyclopoidea* часто достигают высокого обилия в мейофауне бентоса [24], поэтому неудивительно, что их численность максимальна в составе прибрежного льда и минимальна в составе льда открытого моря. При этом копеподы агрегируются в участках льда с высокой концентрацией хлорофилла *a* [19, 21].

Ювенильные стадии веслоногих рачков (яйца и науплии) могут аккумулироваться в морском льде в количествах свыше 100 тыс. экз/м<sup>2</sup> [21]. Следует отметить, что яйца и науплии могут принадлежать не только циклопоидам и гарпактицидам, но и калянидам. Например, было показано, что яйца *Calanus hyperboreus* и *C. glacialis* обладают положительной плавучестью [25]. По мере развития они медленно поднимаются к поверхности, время их появления в самом верхнем слое как раз совпадает с началом цветения фитопланктона. Считается, что пассивный транспорт яиц служит главным механизмом расселения бентических копепод и способствует освоению ими морского льда [1]. Другие способы ассоциации копепод с морским льдом включают адвекцию с течениями и дрейфующими льдинами, прикрепление к поднимающемуся льду, вмораживание и плавание [1, 4, 26]. Несмотря на то, что копеподы *Tisbe furcata* и *Harpacticus superflexus* – это типичные бентосные виды, они довольно часто встречаются в пелагиали полярных бассейнов вплоть до глубины 2 тыс. м [27].

Гарпактициды *Harpacticus*, *Halectinosoma*, *Tisbe* и циклопоиды *Cyclopina* имеют циркумарктическое распространение, и регулярно обнаруживаются внутри льда и прикромочном слое морской воды [6, 23]. *Harpacticus superflexus* и другие виды этого рода, видимо, отсутствуют в интерстициали многолетнего льда в Северном Ледовитом океане, и северных частях Баренцева и Гренландского морей [21, 28], а также они редки в нижних слоях старого льда [29]. Напротив, в составе льда в заливе Фробишер (Канадская Арктика) *H. superflexus* достигает обилия 3–380 экз/м<sup>2</sup> [23]. В зонах деформации многолетнего льда у северного побережья Аляски и в паковом льде моря Бофорта (у о-ва Нарвал) в нижних слоях льда было найдено несколько тысяч экземпляров *Harpacticus* sp. [6]. Представители рода *Halectinosoma* также являются важными компонентами интерстициальной фауны копепод. Их регулярно регистрируют в многолетнем льде к северу от арх. Шпицберген и в Гренландском море [21]. Численность *Halectinosoma* по сравнению с другими гарпактицидами выше в прикромочном слое [29]. Два вида (*Halectinosoma neglectum* и *Halectinosoma finmarchicum*) часто сосуществуют в интерстициали льда и прикромочном слое. Лишь несколько отдельных экземпляров *Tisbe furcata* было найдено в многолетнем льде Гренландского моря. Вероятно, в составе молодого льда *T. furcata* – важный компонент фауны копепод, о чем свидетельствуют их находки в заливах Понд [5] и Фробишер (Канада), где в составе нижнего слоя льда было отмечено до 1180 экз/м<sup>2</sup> [7]. В слое воды, прилегающей к нижней части льда в Гренландском море, численность *Tisbe* sp. варьировала от 0 до 448 экз/м<sup>2</sup> [29]. Кроме того, единичные экземпляры *Dactylopodia signata* и *D. vulgaris* были найдены подо льдом в Аляске [6] и заливе Фробишер [7]. Примечательно, что *D. signata* не входит в состав мейобентоса арх. Шпицберген, а *D. vulgaris* – входит.

Наиболее массовые виды копепод прибрежного льда – это два вида *Cyclopina* (*C. gracilis* и *C. schneideri*). Около о-ва Нарвал их численность может достигать более 6 тыс. экз/м<sup>2</sup> [6], а в заливе Фробишер обилие *Cyclopina* spp. достигает пика в марте (>9.3 тыс. экз/м<sup>2</sup>) [7]. В прикромочном слое *C. schneideri* встречается единично [29]. Интересно отметить, что ни одной из вышеупомянутых ледовых копепод не было обнаружено при годовых исследованиях многолетнего дрейфующего льда в Канадской Арктике. Интерстициаль льда содержит только скелетные части и экзувии бентосных копепод, а *Tisbe furcata* – единственный вид, обнаруженный в ассоциации со льдом [30].

Каляниды, видимо, не заселяют непосредственно сам лед, но могут находиться там на стадиях яиц и науплиев [5]. При этом питающиеся стадии локализуются в нижних прикромочных слоях, где велика концентрация пищи. Основные потребители ледовых микроводорослей (*Calanus glacialis*, *Calanus hyperboreus*, *Pseudocalanus acuspes*, *Metridia longa*, *Oithona similis*, *Triconia borealis* и *Microcalanus pygmaeus*) совершают дневные вертикальные миграции к поверхности кромки в темное время [9, 31]. Сделан вывод, что только мелкие копеподы способны обитать непосредственно внутри льда [23]. Численность видов во многом подтверждает этот тезис: в прикромочном слое дрейфующего льда в море Лаптевых *O. similis* доминирует в составе сообщества копепод, достигая 4660 экз/м<sup>3</sup> [32], однако в самом нижнем сантиметре молодого льда в районе арх. Шпицберген, численность вида достигает 80 экз/м<sup>3</sup> [33]. Сравнив плотности популяций *O. similis* в пелагиале и льде, можно прийти к выводу, что данный вид – случайный представитель ледовых экосистем, который проникает в лед в поисках пищи и не связан со льдом на протяжении своего жизненного цикла. Сходным образом размножение *Acartia longiremis* и *T. borealis* не зависит от морского льда, однако виды используют прикромочное пространство льда как пищевой источник [23]. Оценки биомассы копепод, ассоциированных со льдом, варьируют в широких пределах: от 0 до 20 мгС/м<sup>2</sup> [20, 21]. Отметим, что только в [20] приведены непосредственно измеренные величины биомассы веслоногих ракообразных. Несколько работ [19, 34] содержат оценки биомассы на основе стандартных весов [21]. В табл. 1 приведена численность и оценки биомассы копепод в прикромочном пространстве льда, а также подо льдом арктических морей, однако следует отметить, что эти величины для интерстициали, скорее всего, существенно занижены, по крайней мере, в 3 раза для копеподитов и в 10 раз для науплиев [20].

Таблица 1

Численность (N, экз/м<sup>-2</sup>) и биомасса (B, мгС/м<sup>-2</sup>) копепод, ассоциированных со льдом, в арктических морях

Район	Копеподиты		Науплии		Ссылка
	N	B	N	B	
Интерстициальные виды					
Гренландское море	1643	0.99	81	0.02	21
Гренландское море	150–300	0.09–0.15	300–3900	0.006–0.08	34
Гренландское море	2400	1.22	–	–	19
Баренцево море	1916	1.15	2109	0.04	21
Море Лаптевых	4439	1.15	11670	0.033	21
О-ов Нарвал, Аляска	120	0.07	1770	0.035	4
О-ов Нарвал, Аляска	5094	3.06	–	–	6
Зал. Фробишер, Канада	2450	1.47	90920	1.82	23
Зал. Понд, Канада	50–20470	0.03–12.28	–	–	5
Канадская Арктика	0–1180	0–19.5	0–4090	0–0.79	20
Пелагические подледные виды					
Гренландское море (лето)	117–754	0.07–0.45	635	0.01	29
Гренландское море (осень)	282–1757	0.17–1.05	2869	0.06	29
Море Лаптевых	104–6307	0.06–3.78	2011	0.04	29
Зал. Фробишер (февраль)	2450	1.47	90920	1.82	23

Зал. Фробешер (март)	–	–	26080	0.52	23
Зал. Фробешер (май)	252	0.15	4200	0.08	23
Зал. Фробешер (июнь)	–	–	800	0.02	23
Море Бофорта (шельф)	57897	1.0	–	–	35
Море Бофорта (полюнья)	87280	2.9	–	–	35
Карское море (юго-восток)	2900	0.92	–	–	36
Карское море (юг)	1983	0.95	–	–	36
Карское море (северо-запад)	7980	11.0	–	–	36

Примечание. «–» – нет данных.

#### 4. Распределение амфипод, ассоциированных со льдом

Амфиподы часто исключаются из промежутков льда, поскольку имеют достаточно большие размеры, однако они способны обитать в самом верхнем слое льда в отверстиях, каналах и дырах, которые в больших количествах появляются при летнем таянии, а также в прикромочном слое морской воды [1].

Амфиподы обнаружены во льдах, а ассоциации с ними – во всех арктических районах, поэтому большинство видов, по всей видимости, характеризуется циркумарктическим распространением. Однако есть существенные различия при сравнении молодого прибрежного льда и многолетнего льда, дрейфующего в открытом море в течение длительного времени [37]. Виды *Gammarus wilkitzkii*, *Apherusa glacialis*, *Onisimus nansenii* и *O. glacialis* встречаются во всех типах льда во всех арктических морях, куда поступает многолетний лед из Северного Ледовитого океана. Кроме *Onisimus* spp. амфиподы редки в узких заливах и проливах Канадского архипелага, где лед образуется заново каждую зиму [7, 38]. В дрейфующем льду Баренцева моря эти 4 вида встречаются в количествах не более 100 экз/м<sup>2</sup>. Максимальное обилие отмечено для района, расположенного к северу от арх. Шпицберген (280 экз/м<sup>2</sup>), что соответствует 8 г сырой массы на 1 м<sup>2</sup> [39] и эквивалентно 1.3 гС/м<sup>2</sup>. Амфиподы *G. wilkitzkii* и *A. glacialis* имеют приблизительно одинаковую среднюю численность, однако индивидуальная масса *G. wilkitzkii* выше, поэтому суммарная биомасса зависит от относительного вклада этого вида. Интересно отметить, что близкородственный вид *Gammarus setosus* также отмечается в больших количествах в прикромочном слое, но внутри льда его никогда не обнаруживали [23].

Под прибрежным льдом вокруг Земли Франца-Иосифа и острова Нарвал численность *Gammarus wilkitzkii*, *Apherusa glacialis* и *Onisimus* spp. достигает нескольких сот экземпляров на 1 м<sup>2</sup> [37, 40, 41]. При этом максимальные показатели биомассы – 21 г сырой массы на 1 м<sup>2</sup> (3.5 гС/м<sup>2</sup>) отмечены у Земли Франца-Иосифа [40]. *O. glacialis* и *O. nansenii* – довольно редкие виды морского льда, однако они часто достигают высокой численности в составе однолетнего льда (до 140 экз/м<sup>2</sup>) [7]. Ледовых амфипод можно выявить в слоях, прилегающих ко льду [14, 15], когда лед отсутствует, они переживают эти периоды в составе бентоса [37, 42]. Сведения о встречаемости *A. glacialis* в открытом море в глубоководных слоях и *O. glacialis* на глубине более 130 м в Северном Ледовитом океане единичны [38].

В таблице 2 суммирована информация о распределении и количественных характеристиках ледовых амфипод.

Распределение истинных планктонных видов амфипод-гипериид *Themisto libellula* и *Themisto abyssorum* в целом соответствует распространению морского льда. Эти виды очень часто встречаются в слоях воды между льдами, в прикромочных слоях, где формируются скопления с плотностью до 430 и 270 экз/м<sup>2</sup> соответственно [46]. Тем не менее, большинство амфипод, ассоциированных с морским льдом, имеют бентическое происхождение и поэтому редко достигают высокой численности подо льдом материкового или прибрежного происхождения. *Gammarus setosus*, *Gammaracanthus loricatus*, *Ischyrocerus anguipes*, *Weyprechtia pinguis*, *Anonyx nugax*, *Anonyx sarsi* и *Onisimus litoralis* – наиболее частые бентосные амфиподы, которые встречаются в составе многолетнего льда (несколько экземпляров м<sup>2</sup>) и молодого льда (до нескольких десятков экз. на м<sup>2</sup>) [1].

Таблица 2

Численность (N, экз/м<sup>2</sup>) и биомасса (B, г сырой массы на м<sup>2</sup>) амфипод, ассоциированных со льдом, в арктических морях

Период	Амфиподы		<i>Gammarus wilkitzkii</i>		<i>Apherusa glacialis</i>		<i>Onisimus</i> spp.		Ссылка
	N	B	N	B	N	B	N	B	
<b>Баренцево море</b>									
1996	101	3.0	88	2.9	12	0.1	<1	<0.1	43
Май – июнь 1983	10	<0.1	<1	<0.1	10	<0.1	<1	<0.1	39
Июль 1988	103	2.0	33	0.8	46	0.4	24	0.8	39
Май 1986	7	0.1	1	<0.1	4	<0.1	2	<0.1	39
Июль – август 1986	139	7.2	33	4.4	95	0.5	11	0.4	44
Сентябрь 1988	278	7.9	70	6.3	187	0.9	22	0.7	44
Август 1982	20	0.3	3	0.2	16	0.1	1	0.1	8
Сентябрь 2000	13	0.5	2	0.1	10	<0.1	<1	<0.1	1
Сентябрь 1998	29	0.7	16	0.6	13	0.1	<1	<0.1	1
Сентябрь 2002	10	0.2	5	0.1	4	<0.1	1	<0.1	15
<b>Море Бофорта</b>									
1977–1980	12	–	12	–	–	–	–	–	45
<b>Канадская Арктика</b>									
Май – июль 1979	31	0.1	<1	<0.1	24	0.1	7	<0.1	5
Февраль 1981	–	–	–	–	–	–	60	0.1	23
Март 1981	–	–	–	–	–	–	110	0.2	23
Май 1981	–	–	–	–	–	–	120	0.2	23
Июнь 1981	–	–	–	–	–	–	<1	<0.1	23
Февраль 1982	–	–	–	–	–	–	19	Н.д.	23
Март 1982	–	–	–	–	–	–	140	Н.д.	23
Май 1982	–	–	–	–	–	–	9	Н.д.	23
<b>Земля Франца-Иосифа</b>									
Август 1994	417	10.9	368	10.1	34	0.1	15	0.7	41
Февраль 1982	16	0.5	2	0.1	14	0.3	–	–	40
Март – май 1982	17	2.1	11	1.7	6	0.1	–	–	40
Июнь – август 1982	33	1.9	18	1.6	15	0.3	–	–	40
Август 1981	490	4.5	<1	<0.1	490	4.5	–	–	40
Декабрь – февраль 1981-1982	207	4.4	7	1.6	200	3.3	–	–	40
Март – май 1982	81	21.1	7	1.4	74	19.7	–	–	40
Июнь – август 1982	48	2.5	21	1.9	27	0.7	–	–	40
<b>Море Лаптевых</b>									
Август 1995	17	2.6	4	2.0	2	<0.1	11	0.6	29
<b>Гренландское море</b>									
Август – сентябрь 1994	171	14.7	21	10.6	100	1.2	50	2.9	29

Примечание. «–» – не обнаружено, н.д. – нет данных.

## 5. Репродукция и жизненные стратегии

По сравнению со многими представителями ракообразных умеренных и тропических широт арктические виды отличаются удлинёнными жизненными циклами, низкими скоростями роста и меньшим числом генераций за год. Сезонный пик первичной продукции – основная движущая сила, определяющая продолжительность репродукции и роста. Также это относится и к организмам, ассоциированным с морским льдом.

### 5.1. Копеподы

Из арктического льда были собраны половозрелые самки некоторых гарпактицид и циклопид, что свидетельствует о том, что эти виды активно размножаются внутри льда и в прикромочных слоях морской воды. Однако во многих исследованиях нет заметок о том, к каким видам принадлежат науплии и копеподиты. Всё это не позволяет построить однозначной картины жизненных циклов копепод, ассоциированных со льдом.

Жизненные циклы гарпактицид и циклопид, наиболее массовых представителей морского льда изучены плохо, однако их можно восстановить, изучая популяционную структуру, а также используя данные о развитии близкородственных видов умеренных вод.

Для *Harpacticus superflexus* только одна генерация молоди была отмечена в молодом льде около о-ва Нарвал [6, 27]. При этом внутри льда не обнаружено размножающихся самок *Harpacticus* и *Halectinosoma*. Соответственно, был сделан вывод, что эти 2 рода способны расти и развиваться в морском льде, но не размножаться [37]. Другие исследования показали, что популяции *H. finmarchicum*, обитающие внутри или подо льдом в море Лаптевых и Гренландском море включали разные стадии развития [21, 29], а соотношение полов самцы/самки в популяции *Halectinosoma* sp. было 1 к 1 для всего льда в Баренцевом, Гренландском и Лаптевых морях [21]. Более того, встречаемость высокой численности науплиев гарпактицид в составе льда в Северном Ледовитом океане [47] и Баффиновом заливе [20] свидетельствует о том, что репродукция этих копепод постоянно происходит внутри льда. Длительное размножение было обнаружено у гарпактицид субарктических вод и более низких широт [48].

Гарпактициды – наиболее частые представители донной фауны, которые встречаются в планктонных пробах. Полагают, что их всплытие к поверхности происходит для спаривания и размножения [49]. Хотя планктонных личинок гарпактицид не так много, тем не менее они развиваются в промежуточной зоне между дном и поверхностью воды [24, 50], их расселение происходит не только науплиальными стадиями, но и за счет самок, несущих яйцевые мешки. Действительно, было отмечено, что размножающиеся самки *Harpacticus* sp. очень хорошо плавают, что позволяет им заселять дрейфующие объекты, где они формируют яйца. Подобные дрейфующие субстраты – эффективное средство длительного переноса копепод-гарпактицид [26]. Половозрелые самки и копеподитные стадии *Harpacticus* sp. представлены круглый год в составе бентоса приливной зоны около залива Аук (юго-восточное побережье Аляски), хотя максимальные значения численности отмечаются между ноябрем и мартом [48]. Учитывая сильную сезонность в арктических водах, можно предположить, что время нереста *Harpacticus* sp. и *Halectinosoma* spp. определяется наступлением пика первичной продукции в начале весны.

В противоположность ранее отмеченным видам, другой вид гарпактицид *Tisbe furcata* всё время представлен в морском льде различными возрастными стадиями, включая и размножающихся самок [7, 23, 45]. Это может означать, что *T. furcata* размножается и завершает свой жизненный цикл внутри льда. В целом этот вид является наиболее многочисленной копеподой, обитающей внутри льда, пик ее обилия отмечен в марте [23]. Имеющиеся данные позволяют построить картину популяционной динамики и жизненного цикла *T. furcata* внутри морского льда. В умеренных водах *T. furcata* размножается несколько раз в год, давая 7–12 генераций, каждая из которых продуцирует по 50 яиц. Потенциальная плодовитость этого короткоживущего вида (40–50 суток) очень высока: >500 яиц продуцируется самкой в течение жизни, а цикл размножения длится около 20 суток. В составе годового льда, отобранного в море Лаптевых, II копеподитные стадии были самыми многочисленными, наряду с I и III стадиями [21].

Икранные самки бентосных копепод-гарпактицид *Dactylopodia signata* и *D. vulgaris*, которые редко достигают высокого обилия в составе льда [6, 7], иногда обнаруживаются внутри него. Однако еще ничего не известно об их биологии.

В целом считается, что гарпактициды имеют удлиненный период размножения. Не ясно, однако, выметываются ли яйца внутри льда или же они вместе с науплиями и копеподитами активно мигрируют (или заносятся) в лед в поисках защиты или пищи. Учитывая, что гарпактициды хорошо плавают и то, что внутри льда отмечаются хорошие кормовые условия, вполне вероятно, что там может происходить их репродукция [1]. Последующие полевые наблюдения должны помочь определить роль морского льда в репродукции различных гарпактицид.

Маловероятно, что циклопоиды используют лед как среду для репродукции и развития. Тем не менее, популяции крупной копеподы *Cyclopina*, найденной во льде, включали и размножающихся самок [23, 37, 45], а также другие возрастные группы [4, 6]. Цикл размножения составляет 31 сутки, что свидетельствует о многократном ритме репродукции.

Полагают, что другие копеподы, обитающие во льду, следуют пелагическим стратегиям размножения. Все каляниды (за исключением *Pseudocalanus* sp.), обитающие в прикромочном слое, характеризуются длительными жизненными циклами. Продолжительность жизни *Calanus* spp. возрастает в высоких широтах. Так, *Calanus glacialis* из субарктических вод живет до 1.5 лет [51], однако тот же вид в водах Канадской Арктики живет 2–3 года [25]. Наиболее крупный *C. hyperboreus*, распространение которого ограничено арктическими водами, может жить до 4 лет [52, 53]. Их более медленный рост и развитие в холодных водах связано с онтогенетическим покоем стадий, которые проводят зимнюю диапаузу в глубоких слоях воды. Третья и четвертая копеподитные стадии *C. glacialis* осенью опускаются в глубоководные слои, там происходит их дальнейшее созревание. Развитие гонад обеспечивается за счет имеющихся в окружающей среде пищевых источников, тогда как зимой половозрелые самки формируют яйца за счет накопленных жировых запасов. Нерест *C. hyperboreus*, который отмечается до цветения фитопланктона в период с октября по март, также происходит за счет имеющихся липидных запасов [53]. Примечательно, что крупные яйца *C. hyperboreus* обладают положительной плавучестью, они развиваются по мере подъема к поверхности моря [54]. Время, когда науплии достигают поверхностных вод и нижнего слоя льда, совпадает с началом весеннего пика фитопланктона, это позволяет предполагать, что *C. glacialis* и *C. hyperboreus* используют нижнюю кромку льда как среду для развития своих личиночных стадий [54]. Науплии *C. hyperboreus* развиваются до третьей копеподитной стадии и затем опускаются на глубины ниже 500 м в середине августа. Вторую зиму они проводят на стадии четвертого копеподита, а третью – на пятой копеподитной стадии. Соответственно, созревание и размножение имеет место после третьего года жизни [53].

В условиях контролируемой температуры одиночные самки *Calanus hyperboreus* способны размножаться до 7 раз в течение 2 месяцев при температуре 0 °С, продуцируя более 1 тыс. яиц [55]. Самки *C. glacialis* формируют яйца за 3–12-дневные интервалы в мае и 3–4-дневные периоды в июне подо льдом в заливе Гудзон [56]. *Calanus* spp. и *Acartia* spp. – это виды, непосредственно откладывающие яйца в воду, а *Pseudocalanus* spp. формируют яйцевые мешки. Плодовитость последних ниже по сравнению с первыми. Например, одна самка *Pseudocalanus* sp. продуцирует в среднем 180 яиц на протяжении всего своего жизненного цикла, в то время как *C. glacialis* – 340 (максимум 1270), *C. hyperboreus* – 450 (максимум 3800), *Acartia* spp. – 1280 яиц [57].

У других копепод, отобранных из-под слоя льда, не отмечено диапаузы. Короткоживущие виды используют иные жизненные стратегии. *Pseudocalanus acuspes* зимует на третьей или четвертой копеподитной стадии [54], созревание и развитие гонад длится с января по март и обеспечивается первичной продукцией криофлоры [52] и жировыми запасами [58]. Напротив, *Acartia longiremis* и *Metridia longa* непрерывно питаются во время зимы, так что их рост и размножение происходят исключительно за счет окружающего корма [58, 59]. В то время как *Pseudocalanus* sp. размножается до весеннего цветения, *A. longiremis* и *M. longa* зависят от постоянного притока пищи для размножения и поэтому размножаются позднее.

## 5.2. Амфиподы

Амфиподы, ассоциированные с арктическим льдом, имеют длительные жизненные циклы и предположительно размножаются через год после созревания. *Apherusa glacialis* имеет самую короткую продолжительность жизни [5, 60], достигающую 2 лет, однако ее плодовитость чрезвычайно высока – более 550 яиц за 6 месяцев [45] во время репродукции во второй год [60]. Яйца выметываются с марта по август. Высокая плодовитость и относительно короткий жизненный цикл характеризует *A. glacialis* как r-стратега [60].

Репродуктивные циклы амфипод *Onisimus* смещены относительно друг друга: *O. glacialis* размножается на несколько месяцев раньше, но достигает половозрелости на 1 год позднее и живет на год дольше (3.5 года), чем *O. nansenii* [16]. Считают, что оба вида размножаются раз в

год и продуцируют не более 100 яиц за время жизни [1]. *Gammarus wilkitzkii* живет 6 лет, это самый долгоживущий вид ледовых амфипод, возможно, во всех арктических ледовых экосистемах [60]. Этот вид созревает на третий года и размножается один раз в год [60]. В зависимости от возраста самок за год формируется 90–250 яиц [61], таким образом, за всю жизнь самка образует 300–500 яиц [60]. Эмбриональное развитие занимает 6–7 месяцев [13]. Время появления нового поколения, видимо, прямо не связано с периодом вегетации, молодые особи отмечены в апреле–мае [45, 62], в июле [61] и сентябре [29]. Учитывая длительность жизненного цикла и низкий репродуктивный потенциал, *G. wilkitzkii* был описан как К-стратег [60].

Кроме относительно короткоживущего *Ischyrocerus anguipes* [63], другие амфиподы, найденные в ассоциации с морским льдом, достигают половой зрелости поздно и имеют длительные жизненные циклы. Например, пелагические гиперииды *Themisto libellula* живут 2–3 года, бентические гаммариды *Gammarus setosus* и *Gammaracanthus loricatus* – 3 года, *Gamarellus homari* – 3–4 года, *Weyprechtia pinguis*, *Onisimus edwardsi* и *O. litoralis* – 2.5 года [45, 46, 63, 64]. Однако только для *Gammaracanthus loricatus* было показано использование льда как среды для развития молоди [45]. *Gamarellus homari* совершает онтогенетические миграции для сохранения потомства на мелководье около берега, там они могут становиться частью криопелагического сообщества [65]. Донные амфиподы, живущие в ассоциации со льдом, потенциально способны завершать свой длинный цикл развития в криопелагиали, в частности, в составе многолетнего льда. У всех отмеченных видов яйца формируются в течение зимы, а выход молоди приурочен к весне – началу лета, когда отмечается пик первичной продукции в эвфотической зоне [3, 51, 63].

## 6. Рацион

Основными источниками пищи для ассоциированных со льдом организмов, помимо ледовых микроводорослей, выступают органическое вещество и детрит в прикромочном слое. В арктическом льде средние величины концентраций органического углерода варьируют от 0.09 (молодой лед) до 0.4 мг/л (многолетний лед). При этом в самом льде концентрация органики может быть в 5 раз выше по сравнению с прикромочным слоем воды [45]. Ранее было показано, что пелагические формы могут зависеть от органики, которая выделяется при таянии льда, хотя криопелагические формы способны добывать свои предпочитаемые пищевые источники непосредственно из льда [7]. Ледовые ракообразные характеризуются широкими пищевыми спектрами. Большинство таксонов демонстрирует высокую пластичность своей диеты, которая изменяется в зависимости от стадии развития и сезона.

Есть только одно исследование, в котором изучалась экология питания арктических копепод, ассоциированных со льдом. Для этого применяли классический метод анализа содержимого пищеварительного тракта, а также полевые наблюдения [7]. Таким образом, данный вопрос требует дальнейшей проработки. Напротив, питание ледовых амфипод хорошо изучено: с использованием многих методов, включая липидный анализ, выявлен их рацион и трофический статус [1].

### 6.1. Копеподы

Гарпактициды и циклопоиды, отобранные из интерстициального пространства льда, были описаны как истинные фитофаги [7]. Анализ строения ротовых органов этих копепод показал, что они имеют более тонкие и просто устроенные щетинки, нежели пелагические потребители фитопланктона, соответственно, и механизм их питания был несколько иным. Был сделан вывод, что криопелагические копеподы питаются, в большей степени захватывая отдельные частицы, чем суспензией. Хотя морские гарпактициды питаются микроводорослями, бактериями, грибами и детритом [24], пока неясно, какова экология питания ледовых гарпактицид. Главный компонент их рациона – это, видимо, отдельные клетки фитопланктона, автотрофных флагеллат и гетеротрофных микробов льда [7, 23]. Полагают, что *Harpacticus superflexus*, *Halectinosoma* sp., *Dactylopodia signata* и *Tisbe furcata* изначально являются фитофагами, которые помимо микроводорослей потребляют детрит и органику в периоды низкой первичной продукции. В частности, *Halectinosoma* sp., скорее всего, очень избирательный потребитель, когда питается диатомовыми внутри льда. Анализ содержимого кишечника криопелагических гарпактицид выявил, что в некоторые периоды эти копеподы всеядны [7, 23]. В пищеварительном комке *T.*

*furcata*, отобранной изо льда, были отмечены личинки рыб [23], вероятно, что и *Tisbe* sp. поедает яйца и науплии копепод.

Всеядность, которая дополняет хищничество, – характерная особенность морских циклопид [7]. Кишечники криопелагической копеподы *Cyclopina schneideri* содержали фрустулы диатомей и аморфный материал [7]. Хорошо известно, что мягкие ткани животных и детрит недоучитывается в исследованиях, основанных на анализе содержимого пищеварительной системы, тогда как грубый растительный материал, в частности, кремниевые фрустулы диатомовых, долго задерживается в кишечнике и поэтому легко идентифицируются. Этим классическим анализом было подтверждено, что *Oithona similis*, обитающая подо льдом, потребляет диатомовых и фитопланктон [9, 66]. Анализ липидных биомаркеров также показал хищнический тип питания *O. similis* [67], кроме того, в лабораторных экспериментах была выявлена и копрофагия вида [68]. В составе рациона *Triconia borealis* помимо диатомовых и фитодетрита были отмечены яйца и науплии копепод, дрейфующих в водной толще [67].

Крупные каляниды *Calanus glacialis* и *C. hyperboreus* потребляют разнообразную пищу, но преимущественно питаются как фитофаги [57]. Основу их рациона составляют диатомовые, происходящие изо льда, которые преобразуются в жир [9, 69, 70]. Восковые эфиры представляют собой энергетический резерв копепод. Самые высокие концентрации этих соединений найдены у видов, которые переживают диапаузу и не питаются во время зимы [69]. Кроме того, крупные запасы липидов обеспечивают плавучесть рачков, например, у *C. hyperboreus*, который переживает зиму в состоянии покоя в глубоких слоях воды [71]. В ряде экспериментов было найдено, что *C. glacialis* также потреблял яйца *Calanus* spp. [52].

*Pseudocalanus* sp., который редко обитает подо льдом, является типичным фитофагом [9, 57]. Однако было показано, что *Pseudocalanus* spp., ключевые представители ледовой трофической цепи в прибрежных водах Канадской Арктики, питаются скорее фитопланктоном прикромочного слоя морской воды, нежели потребляют микроводорослей, обитающих на поверхности льда [23]. Анализ липидных биомаркеров показал, что и *P. acuspes* способен к хищническому питанию [58].

Всеядная каланида *Metridia longa* питается яйцами *Calanus* и мелкими ракообразными [52, 69, 70]. Анализ содержимого кишечника и липидные маркеры показывают, что диатомовые формируют важный компонент рациона *M. longa* [9, 67, 70], так же как цилиаты, флагеллаты и динофлагеллаты, чьи липиды были найдены в тканях *M. longa* [70]. Отметим, что данный вид-оппортунист меняет свое питание в зависимости от сезона: во время пика первичной продукции весной *M. longa* всеядна, однако, ее рацион основан на диатомовых, а зимой основу пищи составляют животные [69]. *Acartia* sp. известна как травоядно-всеядный вид [57]. Наличие хищничества в поведении *A. longiremis* [23] было подтверждено липидным анализом [58]. Рацион этого вида изменяется в течение жизни, молодь питается фитопланктоном, взрослые особи – это оппортунисты [23]. Бентопелагическая калянида *Jaschnovia brevis* питается диатомовыми и флагеллатами в прикромочном слое, но способна также поедать остатки других ракообразных в составе детрита [72].

Удельная скорость питания основных ледовых копепод (гарпактицид и циклопид) была оценена в  $0.5 \text{ мгС/м}^2$  в сутки в толстом многолетнем льде в Гренландском море, полагая плотность потребителей равной  $2.4 \text{ тыс. экз/м}^2$  [19]. По сравнению с другой инфауной ледовые копеподы выедали  $<10\%$  продукции [19]. В годовом льде около Северной полынью в Баффиновом заливе максимальный суточный уровень потребления пищи копеподами составляет  $8 \text{ мгС/м}^2$  в сутки при численности  $11080 \text{ экз/м}^2$  [20].

## 6.2. Амфиподы

Ледовые диатомей и детрит – главный пищевой ресурс для криопелагических амфипод. *Apherusa glacialis* – типичный фитофаг [73]. Этот вид формирует скопления у ледовых кромок и подо льдом, где отмечается цветение ледовых микроводорослей [41, 74]. В состав ее рациона входят фитопланктон, флагеллаты и скопления детрита [75, 76]. Возможно, что питание этого вида изменяется не только с возрастом (от травоядной молодежи к более детритоядным взрослым), но также и с сезоном.

Фитодетрит – главный источник пищи для *Onisimus nansenii* и *O. glacialis*. Эти близкие виды сходны по морфологии, но отличаются по строению второго гнатопода, при этом *O. nansenii* больше предпочитает животную пищу, тогда как *O. glacialis* потребляет в основном клетки водорослей [73], отмеченные в составе их пищевых комков остатки ракообразных скорее потребляются с детритом, нежели захватываются активным способом [76]. *O. litoralis*, который может встречаться в высоких количествах подо льдом, на мелководье питается диатомовыми [7]. В составе льда прибрежного происхождения *O. litoralis* за счет высокой численности является ключевым звеном между льдом и пелагическими сообществами [7]. Помимо питания микроводорослями этот вид потребляет отмершие остатки, а также охотится на ракообразных мейобентоса [37]. Другие ледовые амфиподы: *Anonyx nugax* и *A. sarsi* – это падальщики [10, 39, 77, 78], которые питаются крупными гниющими остатками животного происхождения, также они обитают на яйцах рыб, копеподах и крупных водорослях, потребляя их покровы [51, 78, 79].

*Gammarus wilkitzkii* – это хищник [75, 76, 80, 81]. Этот крупный вид, питающийся как всеядный оппортунист, захватывающий копепод, щетинкочелюстных и других животных (включая близкородственных), также потребляет отмершую органику, детрит, диатомовых и микрофлагеллат. Строение его ротового аппарата и поведение свидетельствуют о том, что вид способен фильтровать и мелкие частицы [42, 62]. Близкородственный вид *G. setosus* также хищник, который связывает позвоночных животных с низшими уровнями ледовой экосистемы [7, 80].

В пелагиали гипериида *Themisto libellula* выступает в роли хищника. Этот вид совершает вертикальные миграции в ответ на перемещения своих жертв [31]. Липидные биомаркеры показали, что он интенсивно питается копеподами-калянидами [75, 82]. *Themisto libellula* также потребляет ледовых микроводорослей, попадающих в прикромочное пространство при таянии льда [80]. Популяции *Themisto* sp. демонстрируют широкий диапазон географической изменчивости своего рациона в районах, как покрытых льдом, так и в свободных от него [82]. Анализ их восковых эфиров показал всеядность этих амфипод [72]. Будучи в основном оппортунистами, *Themisto* sp. изменяют свой рацион с возрастом – от молодежи, потребляющей растительную пищу, до взрослых особей, предпочитающих исключительно животные источники. Кроме того, в зависимости от доступности пищи, происходит и изменение рациона [82]. *T. libellula* представляет собой важный пищевой ресурс для морских позвоночных на акваториях, покрытых льдом, поскольку имеет большие размеры и формирует скопления как в прикромочных слоях, так и подо льдом [45].

Был отмечен только один вид декапод, ассоциированных со льдом на мелководье, это – *Eualus gaimardii* [10]. Анализ содержимого его кишечника показал, что он питается мертвыми животными остатками и мелкими организмами [51, 79].

В экспериментах с выделенными изо льда диатомовыми были рассчитаны суточные скорости питания главных ледовых амфипод [83]. Фитофаг *Apherusa glacialis* потребляет >50 нг биомассы водорослей в сутки, эта величина на 4 и 20% больше, чем у миксотрофов *Gammarus wilkitzkii* и *Onisimus* spp. соответственно. В местах массового скопления амфипод (> 800 экз/м<sup>2</sup>), биомасса микроводорослей может понижаться на 30% за сутки [83], а в прибрежных мелководных районах – на 63% [38]. Сравнение двух хищников *G. wilkitzkii* и *Themisto libellula* показало, что у первого суточная скорость потребления (7 мг сухой массы копепод в сутки) в 10 раз больше, чем у второго [82, 84]. В противоположность голопланктонным видам ледовые амфиподы характеризуются квазибентическим, а значит, более энергосберегающим стилем жизни. Например, *G. wilkitzkii* тратит только 8% времени на плавание [62]. Уровень метаболизма, измеренный как потребление кислорода, у *T. libellula* примерно в 4 раза выше по сравнению с *G. wilkitzkii* (0.13 мкл O<sub>2</sub> на 1 мг сухой массы в час) и *O. glacialis* (0.12 мкл O<sub>2</sub> на 1 мг сухой массы в час) [85].

## 7. Поведение и особенности физиологии

Очевидно, что ледовая среда доступна только для тех видов, которые обладают поведенческими и физиологическими адаптациями, чтобы использовать этот ресурс. Поведенческие адаптации включают репродуктивные и трофические стратегии, хотя важные физиологические черты включают устойчивость к солености и температуре, накопление

липидных запасов и метаболическую гибкость. Наконец, анатомические особенности, такие как специализированный ротовой аппарат и конечности, могут участвовать в эксплуатации ледовой среды.

К настоящему времени накоплено много информации о физиологических и поведенческих адаптациях у холодноводных видов, однако данных для ракообразных, которые ассоциированы со льдом, практически нет. Важной чертой, обеспечивающей успешное выживание жизни в ледовой среде, является способность справляться с изменчивой соленостью и более низкими температурами, которые встречаются внутри льда. Арктические амфиподы *Gammarus wilkitzkii*, *Onisimus glacialis* и антарктическая амфипода *Eusirus antarcticus* устойчивы к холоду, но чувствительны к замораживанию, поэтому они погибают при вмораживании в лед [86]. Напротив, арктические литоральные виды *Gammarus oceanicus* и ледовые амфиподы *A. glacialis* и *Gammaracanthus loriatus* могут выдерживать кратковременные экспозиции температурами ниже  $-7^{\circ}\text{C}$  [77], хотя, например, эвфаузиевый рачок *Euphausia superba* длительно выдерживает температуры ниже  $-4^{\circ}\text{C}$  в сплошном льде. Арктические ледовые амфиподы демонстрируют относительно высокую точку замерзания ( $-4^{\circ}\text{C}$ ) по сравнению с антарктическими видами ( $-11.4^{\circ}\text{C}$  для *Eusirus antarcticus*,  $-8^{\circ}\text{C}$  для *Euphausia superba*), что свидетельствует о том, что антарктическая фауна имеет лучшую устойчивость к переохлаждению, чем арктические виды [87]. При этом у них не было обнаружено ни антифризов-протеинов, ни иных агентов, однако точка замерзания у них понижается за счет неорганических ионов и свободных аминокислот [85, 87].

Адаптация к низкой температуре повышает устойчивость к изменению внешней солености. Арктические ледовые амфиподы *Gammarus wilkitzkii* и *Onisimus glacialis* имеют гиперосмотическую регуляцию при низкой солености (3–4 psu), регулируя внутриклеточную концентрацию хлоридов и карбонатов гемолимфы. При более высокой солености они являются осмоконформерами в пределах солености 34–60 psu [87]. Напротив, пелагическая гипериида *Themisto lubellula* стенохалинна и избегает осмотического стресса [87]. *Eusirus antarcticus* и *Euphausia superba* становятся осмоконформерами при солености около 40–50 psu и температуре  $-1.5^{\circ}\text{C}$ . Эти виды устойчивы к солености прикромочного слоя морской воды за счет понижения точки замерзания своего тела. Арктические виды устойчивы к соленостям, близким к пресной воде, тогда как оба вышеупомянутых антарктических вида способны выживать при солености ниже 25 psu. Скорее всего, эти различия связаны с процессами таяния внутри льда.

Устойчивость к низким температурам и замораживанию копепод, ассоциированных со льдом, не выяснена. Однако есть несколько исследований криобиологии гарпактицид, отобранных из супралиторали, которые демонстрируют их устойчивость к замораживанию. Эта устойчивость связана с понижением точки замерзания путем повышения внутренней солености. В лабораторных экспериментах при сравнении пелагических и ледовых копепод было показано, что выживаемость была наиболее высокой при солености 40 psu у криопелагических организмов, а при солености 20 psu – у пелагических [88]. Ледовые копеподы были единственными организмами, способными выживать при солености 60 и 70 psu. *Tisbe furcata*, *Cyclopina* spp. и *Arctocyclopina pagonasta* – также типичные осмоконформеры, которые хорошо адаптированы к температурному и соленостному стрессу внутри льда.

Другие адаптации к ледовой среде следуют из особенностей питания и репродуктивных стратегий, которые были рассмотрены ранее. В качестве адаптации к сезонной изменчивости кормовой базы полярные ракообразные часто запасают жир [67]. Оппортунисты, трофически активные на протяжении всего года, включая амфипод и копепод, запасают не эфиры, а триглицеролы, которые позволяют им переживать короткие периоды недостатка пищи [72]. По всей видимости, арктические ледовые ракообразные не способны переносить отсутствие корма в течение года [19, 76].

Репродуктивные стратегии многих ледовых ракообразных, в частности гарпактицид и амфипод, включают выведение потомства и прямое развитие. Преимущества этого способа очевидны: отсутствие планктонных личиночных стадий позволяет избежать возможной конкуренции за среду между личинками и взрослыми особями, кроме того, уровень выживания следующего поколения повышается.

## 8. Заключение

Ракообразные играют важную роль в морских полярных экосистемах. Основными представителями являются копеподы и амфиподы. Выделяются две группы организмов – одни колонизируют лед, другие обитают в тесной связи с ледовой кромкой. Обе группы отличаются по питанию и жизненным стратегиям. Последующие исследования должны быть направлены на выявление особенностей трофических связей ракообразных, ассоциированных с морским льдом, на основе липидного и изотопного анализа. Другое важное направление – использование сообществ ледовых организмов как индикаторов глобальных климатических изменений, отмеченных в Арктике в последнее время. Очевидно, что потепление, которое ведет к таянию значительных количеств льда, непосредственно влияет на интерстициальные виды как наиболее тесно связанные с этим субстратом. Для многих представителей подобные изменения могут оказаться критическими. Для пелагической фауны, которая менее тесно связана со льдом, также возможны негативные последствия, обусловленные уменьшением доступных им источников пищи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Arndt C.E., Swadling K.M. Crustacea in Arctic and Antarctic sea ice: distribution, diet and life history strategies // *Advances in Marine Biology*. 2006. Vol. 51. P. 197–315.
2. Golikov A.N., Scarlato O.A. Comparative characteristics of some ecosystems of the upper regions of the shelf in tropical, temperate and Arctic waters // *Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*. 1973. Vol. 24. P. 219–234.
3. Carey A.G. Marine ice fauna: Arctic // *Sea Ice Biota*. Florida: CRC Press, 1985. P. 173–190.
4. Carey A.G., Montagna P.A. Arctic sea ice faunal assemblage: First approach to description and source of the under-ice meiofauna // *Marine Ecology Progress Series*. 1982.. Vol. 8. P. 1–8.
5. Cross W.E. Under-ice biota at the Pond Inlet ice edge and in adjacent fast ice areas during spring // *Arctic*. 1982. Vol. 35. P. 13–27.
6. Kern J.C., Carey A.G. The faunal assemblage inhabiting seasonal sea ice in the nearshore Arctic Ocean with emphasis on copepods // *Marine Ecology Progress Series*. 1983. Vol. 10. P. 159–167.
7. Grainger E.H., Hsiao S.I.C. Trophic relationships of the sea ice meiofauna in Frobisher Bay, Arctic Canada // *Polar Biology*. 1990. Vol. 10. P. 283–292.
8. Gulliksen B. Under-ice fauna from Svalbard waters // *Sarsia*. 1984. Vol. 69. P. 17–23.
9. Runge J.A., Ingram R.G. Under-ice grazing by planktonic, calanoid copepods in relation to a bloom of ice microalgae in southeastern Hudson Bay // *Limnology and Oceanography*. 1988. Vol. 33. P. 280–286.
10. Мельников И.А., Куликов А.С. Криопелагическая фауна Центрального Арктического бассейна // *Биология Центрального Арктического бассейна*. М.: Наука, 1980. С. 97–111.
11. Gulliksen B., Lønne O.J. Sea ice macrofauna in the Antarctic and the Arctic // *Journal of Marine Systems*. 1991. Vol. 2. P. 53–61.
12. Poltermann M. Growth, production and productivity of the Arctic sympagic amphipod *Gammarus wilkitzkii* // *Marine Ecology Progress Series*. 2000. Vol. 193. P. 109–116.
13. Barnard J.L. Epipelagic and under-ice Amphipoda of the central Arctic Basin. Scientific Studies at Fletcher's Ice Island T-3, 1952–1955 // *Geophysical Research Paper*. 1959. Vol. 63. P. 115–153.
14. Steele D.H., Steele V.J. The biology of *Gammarus* (Crustacea, Amphipoda) in the northwestern Atlantic. VIII. Geographic distribution of the northern species // *Canadian Journal of Zoology*. 1974. Vol. 52. P. 1115–1120.
15. Arndt C.E., Pavlova O. Origin and fate of ice fauna in the Fram Strait and Svalbard area // *Marine Ecology Progress Series*. 2005. Vol. 301. P. 55–66.
16. Arndt C.E., Beuchel F. Life cycle and population dynamics of the Arctic sympagic amphipods *Onisimus nansenii* SARS and *O. glacialis* SARS (Grammaridea: Lysianassidae) // *Polar Biology*. 2006. Vol. 29. P. 239–248.
17. Arrigo K.R. Primary production in sea ice // *Sea Ice: An Introduction to Its Physics, Chemistry, Biology and Ecology* Oxford: Blackwell Publishing, 2003. P. 143–183.
18. Sakshaug E., Walsh J. Marine biology: Biomass, productivity distributions and their variability in the Barents and Bering Seas // *The Arctic: Environment, People and Policy*. Amsterdam: Harwood Academic Publications, 2000. P. 163–196.
19. Gradinger R. et al. Abundance, biomass and composition of the sea ice biota of the Greenland Sea pack ice / R. Gradinger, C. Friedrich, M. Spindler // *Deep-Sea Research II*. 1999. Vol. 46. P. 1457–1472.
20. Nozais C. et al. Abundance, biomass, composition and grazing impact of the sea-ice meiofauna in the North Water, northern Baffin Bay / C. Nozais, M. Gosselin, C. Michel, G. Tita // *Marine Ecology Progress Series*. 2001. Vol. 217. P. 235–250.
21. Friedrich C. Ecological investigations on the fauna of the Arctic sea-ice // *Berichte zur Polarforschung*. 1997. Vol. 246. P. 1–211.
22. Maykut G.A. The ice environment // *Sea Ice Biota* Florida: CRC Press, 1985. P. 21–82.
23. Grainger E.H. et al. The sea ice fauna of the Frobisher Bay, Arctic Canada / E.H. Grainger, A.A. Mohammed, J.E. Lovrity // *Arctic*. 1985. Vol. 38. P. 23–30.
24. Hicks G., Coull B. The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods // *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 1983. Vol. 21. P. 67–175.
25. Conover R.J. et al. Copepods in cold oligotrophic waters – how do they cope? / R.J. Conover, L.R. Harris, A.W. Bedo // *Bulletin of the Plankton Society of Japan*. 1991. Vol. 38. P. 177–199.
26. Olafsson E. et al. Harpacticoid copepod communities of floating seaweed: Controlling factors and implications for dispersal / E. Olafsson, A. Ingolfsson, M.B. Steinarsdottir // *Hydrobiologia*. 2001. Vol. 453/454. P. 189–200.
27. Montagna P.A., Carey A.G. Distributional notes on Harpacticoida (Crustacea: Copepoda) collected from the Beaufort Sea (Arctic Ocean) // *Astarte*. 1978. Vol. 11. P. 117–122.
28. Melnikov I.A. Ecology of Arctic Ocean cryopelagic fauna // *The Arctic Seas – Climatology, Oceanography, Geology and Biology*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989. P. 235–256.
29. Werner I. Ecological studies on the Arctic under-ice habitat – colonization and processes at the ice-water interface // *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313*. Vol. 70, Kiel: Christian-Albrechts Universität, 1997. 167 p.
30. Melnikov I.A. et al., Sea ice biological communities

and nutrient dynamics in the Canada Basin of the Arctic Ocean / I.A. Melnikov, E.G. Kolosova, H.E. Welch, L.S. Zhitina // Deep-Sea Research I. 2002. Vol. 149. P. 1623–1649. **31.** Fortier M. et al. Visual predators and the diel vertical migration of copepods under Arctic sea ice during the midnight sun / M. Fortier, L. Fortier, H. Hattori et al. // Journal of Plankton Research. 2001. Vol. 23. P. 1263–1278. **32.** Werner L., Arbizu P.M. The sub-ice fauna of the Laptev Sea and the adjacent Arctic Ocean in summer 1995 // Polar Biology. 1999. Vol. 21. P. 71–79. **33.** Weslawski J.M. et al. Observations on the fast ice biota in the fjords of Spitsbergen / J.M. Weslawski, S. Kwasniewski, J. Wiktor, M. Zajaczkowski // Polish Polar Research. 1993. Vol. 14. P. 331–342. **34.** Gradinger R. et al. Development of Arctic sea ice organisms under graded snow cover / R. Gradinger, M. Spindler, D. Henschel // Polar Research. 1991. Vol. 10. P. 295–307. **35.** Darnis G. et al., Barber D., Fortier L. Sea ice and the onshore-offshore gradient in pre-winter zooplankton assemblages in southeastern Beaufort Sea / G. Darnis, D. Barber, L. Fortier // Journal of Marine Systems. 2008. Vol. 74. P. 994–1011. **36.** Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Distribution of the under-ice mesozooplankton in the Kara Sea in February 2002 // Polar Biology. 2009. Vol. 32. P. 1227–1231. **37.** Carey A.G. The ice fauna in the shallow southwestern Beaufort Sea, Arctic Ocean // Journal of Marine Systems. 1992. Vol. 3. P. 225–236. **38.** Siferd T.D. et al. Seasonal distribution of sympagic amphipods near Chesterfield Inlet, N.W.T., Canada / T.D. Siferd, H.E. Welch, M.A. Bergmann, M.F. Curtis // Polar Biology. 1997. Vol. 18. P. 16–22. **39.** Lønne O.J., Gulliksen B. On the distribution of sympagic macro-fauna in the seasonally ice covered Barents Sea // Polar Biology. 1991. Vol. 11. P. 457–469. **40.** Averintzev V.G. Cryopelagic life at Franz Josef Land // Environment and Ecosystems of the Franz Josef Land (Archipelago and Shelf) Apatity: Kola Scientific Center, Russian Academy of Science, 1993. P. 171–186. **41.** Poltermann M. Abundance, biomass and small-scale distribution of cryopelagic amphipods in the Franz Josef Land area (Arctic) // Polar Biology. 1998. Vol. 20. P. 134–138. **42.** Arndt C.E. et al. Ciliated epibionts on the Arctic sympagic amphipod *Gammarus wilkitzkii* as indicators for sympago-benthic coupling / C.E. Arndt, G. Fernandez-Leborans, L. Seuthe, J. Berge, B. Gulliksen // Marine Biology. 2005. Vol. 147. P. 643–652. **43.** Hop H. et al. The marine ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard / H. Hop, T. Pearson, E.N. Hegseth et al. // Polar Research. 2002. Vol. 21. P. 167–208. **44.** Lønne O.J., Gulliksen B. Sympagic macro-fauna from multiyear sea ice near Svalbard // Polar Biology. 1991. Vol. 11. P. 471–477. **45.** Melnikov L.A. The Arctic Sea Ice Ecosystem. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1997. 204 p. **46.** Dalpadado P. et al. Distribution of *Themisto* (Amphipoda) spp. in the Barents Sea and predator-prey interactions / Dalpadado P., Borkner N., Bogstad B., Mehl S. // Journal of Marine Science. 2001. Vol. 58. P. 876–895. **47.** Gradinger R. Integrated abundance and biomass of sympagic meiofauna in Arctic and Antarctic pack ice // Polar Biology. 1999. Vol. 22. P. 169–177. **48.** Schizas N.V., Shirley T.C. Seasonal changes in structure of an Alaskan intertidal meiofaunal assemblage // Marine Ecology Progress Series. 1996. Vol. 133. P. 115–124. **49.** Thistle D. Harpacticoid copepod emergence at a shelf site in summer and winter: Implications for hydrodynamic and mating hypotheses // Marine Ecology Progress Series. 2003. Vol. 248. P. 177–185. **50.** Dahms H.-U., Quian P.-Y. Life histories of the Harpacticoida (Copepoda, Crustacea): A comparison with meiofauna and macrofauna // Journal of Natural History. 2004. Vol. 38. P. 1725–1734. **51.** Weslawski J.M. et al. Winter in a Svalbard fiord ecosystem / J.M. Weslawski, S. Kwasniewski, J. Wiktor // Arctic. 1991. Vol. 44. P. 115–123. **52.** Conover R.J., Siferd T.D. Dark-season survival strategies of coastal zone zooplankton in the Canadian Arctic // Arctic. 1993. Vol. 4. P. 303–311. **53.** Hirche H.-J. Life cycle of the copepod *Calanus hyperboreus* in the Greenland Sea // Marine Biology. 1997. Vol. 128. P. 607–618. **54.** Conover R.J., Huntley M. Copepods in ice-covered seas – distribution, adaptations to seasonally limited food, metabolism, growth patterns and life cycle strategies in polar seas // Journal of Marine Systems. 1991. Vol. 2, 1–41. **55.** Hirche H.-J., Niehoff B. Reproduction of the Arctic copepod *Calanus hyperboreus* in the Greenland Sea – field and laboratory observations // Polar Biology. 1996. Vol. 16. P. 209–219. **56.** Tourangeau S., Runge J.A. Reproduction of *Calanus glacialis* under ice in spring in southeastern Hudson Bay, Canada // Marine Biology. 1991. Vol. 108. P. 227–233. **57.** Mauchline J. The biology of calanoid copepods // Advances in Marine Biology. 1998. Vol. 33. P. 1–710. **58.** Norrbin M.F. et al. Seasonal variation in lipid class and fatty acid composition of two small copepods in Balsfjorden, northern Norway / M.F. Norrbin, R.-E. Olsen, K.S. Tande // Marine Biology. 1990. Vol. 105. P. 205–211. **59.** Hopkins C.C.E. et al. Ecological investigations of the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: An analysis of growth and overwintering tactics in relation to niche and environment in *Metridia longa* (Lubbock), *Calanus finmarchicus* (Gunnerus), *Thysanoessa inermis* (Krøyer) and *T. rashii* (M. Sars) / C.C.E. Hopkins, K.S. Tande, S. Gronvik, J.R. Sargent // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1984. Vol. 82. P. 77–99. **60.** Poltermann M. et al. Life under Arctic sea ice – reproduction strategies of two sympagic (ice-associated) amphipod species, *Gammarus wilkitzkii* and *Apherusa glacialis* / M. Poltermann, H. Hop, S. Falk-Petersen // Marine Biology. 2000. Vol. 136. P. 913–920. **61.** Steele D.H., Steele V.J. The biology of *Gammarus* (Crustacea, Amphipoda) in the northwestern Atlantic. IX. *Gammarus wilkitzkii* Birula, *Gammarus stoerensis* Reid, and *Gammarus mucronatus* Say // Canadian Journal of Zoology. 1975. Vol. 53. P. 1105–1109. **62.** Poltermann M. Biologische und ökologische Untersuchungen zur kryopelagischen Amphipodenfauna des arktischen Meereises // Berichte zur Polarforschung. 1997. Vol. 225. P. 1–170. **63.** Weslawski J.M., Legezynska J. Life cycle of some Arctic amphipods // Polish Polar Research. 2002. Vol. 23. P. 253–264. **64.** Dunbar M.J. The determinants of production in Northern Seas: A study of the biology of *Themisto libellula* (Mandt.) // Canadian Journal Research. 1957. Vol. 35. P. 797–819. **65.** Steele D.H. Some aspects of the biology of *Gammarellus homari* (Crustacea, Amphipoda) in the Northwestern Atlantic // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1972. Vol. 29. P. 1340–1343. **66.** Hopkins T.L. Food web of an Antarctic midwater ecosystem // Marine Biology. 1985. Vol. 89. P. 197–212. **67.** Kattner G. et al. Fatty acid and alcohol composition of the small polar copepods, *Oithona* and *Oncaea*: Indication on feeding modes / G. Kattner, C. Albers, M. Graeve, S.B. Schnack-Schiel // Polar Biology. 2003. Vol. 26. P. 666–671. **68.** Gonzalez H., Smetacek V. The possible role of the cyclopoid copepod *Oithona* in retarding vertical flux of zooplankton material // Marine Ecology Progress Series. 1994. Vol. 113. P. 233–246. **69.** Sargent J.R., Falk-Petersen S. The lipid biochemistry of calanoid copepods // Hydrobiologia. 1988. Vol. 167/168. P. 101–114.

70. Stevens C.J. et al. Species-specific differences in lipid composition and omnivory indices in Arctic copepods collected in deep water during autumn (North Water Polynya) / C.J. Stevens, D. Deibel, C.C. Parrish // Marine Biology. 2004. Vol. 144. P. 905–915. 71. Auel H. et al. Respiration and lipid content of the Arctic copepod *Calanus hyperboreus* overwintering 1 m above seafloor at 2300 m water depth in the Fram Strait / H. Auel, M. Klages, I. Werner // Polar Biology. 2003. Vol. 143. P. 275–282. 72. Scott C.L. et al. Lipids and fatty acids in the copepod *Jaschnovia brevis* (Jaschnov) and in particulates from Arctic waters / Scott C.L., Kwasniewski S., Falk–Petersen S., Sargent J. // Polar Biology. 2002. Vol. 25. P. 65–71. 73. Arndt C.E. et al. Mouthpart-atlas of Arctic sympagic amphipods – trophic niche separation based on mouthpart morphology and feeding ecology / Arndt C.E., Berge J., Brandt A. // Journal of Crustacean Biology. 2005. Vol. 25. P. 401–412. 74. Hop H. et al. Ice amphipod distribution relative to ice density and under-ice topography in the northern Barents Sea / H. Hop, M. Poltermann, O.J. Lønne et al. // Polar Biology. 2000. Vol. 23. P. 357–367. 75. Scott C.L. et al. Lipids and trophic interactions of ice fauna and pelagic zooplankton in the marginal ice zone of the Barents Sea / C.L. Scott, S. Falk–Petersen, J.R. Sargent et al. // Polar Biology. 1999. Vol. 21. P. 65–70. 76. Poltermann M. Arctic sea ice as feeding ground for amphipods – food sources and strategies // Polar Biology. 2001. Vol. 24. P. 89–96. 77. Green J.M., Steele D.H. Observations on Marine Life Beneath Sea Ice, Resolute Bay, N.W.T. // Proceedings of the Circumpolar Conference on Northern Ecology, Ottawa, 1975". Ottawa: National Research Council, 1977. p. 77–86. 78. Werner I. et al. Occurrence of *Anonyx sarsi* (Amphipoda: Lysianassoidea) below Arctic pack ice: An example of cryo-benthic coupling? / I. Werner, H. Auel, R. Kiki // Polar Biology. 2004. Vol. 27. P. 474–481. 79. Graeve M. et al. Lipids in Arctic benthos: Does the fatty acid and alcohol composition reflect feeding and trophic interactions / M. Graeve, G. Kattner, D. Piepenburg // Polar Biology. 1997. Vol. 18. P. 53–61. 80. Bradstreet M.S.W., Cross W.E. Trophic relationships at high Arctic ice edges // Arctic 1982. Vol. 35. P. 1–12. 81. Arndt C.E. Feeding ecology of the Arctic ice–amphipod *Gammarus wilkitzkii* – physiological, morphological and ecological studies // Berichte zur Polarforschung. 2002. Vol. 405. P. 1–74. 82. Auel H., Werner I. Feeding, respiration and life history of the hyperiid amphipod *Themisto libellula* in the Arctic marginal ice zone of the Greenland Sea // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2003. Vol. 296. P. 183–197. 83. Werner I. Grazing of Arctic under-ice amphipods on sea-ice algae // Marine Ecology Progress Series. 1997. Vol. 160. P. 93–99. 84. Werner I. et al. Copepods in Arctic pack ice and the underlying water column: Living conditions and exchange processes / I. Werner, K. Meiners, H. Schünemann // Proceedings of the 16th IAHR International Symposium on Ice, Dunedin, New Zealand, 2nd-6th December 2002. Dunedin: International Association of Hydraulic Engineering and Research, 2002. P. 30–40. 85. Aarset A.V., Aunaas T. Metabolic responses of the sympagic amphipods *Gammarus wilkitzkii* and *Onisimus glacialis* to acute temperature variations // Marine Biology. 1990. Vol. 107. P. 433–438. 86. Aarset A.V. The ecophysiology of under-ice fauna // Polar Research. 1991. Vol. 10. P. 309–324. 87. Aarset A.V., Aunaas T. Osmotic responses to hyposmotic stress in the amphipods *Gammarus wilkitzkii*, *Onisimus glacialis* and *Parathemisto libellula* from Arctic waters // Polar Biology. 1987. Vol. 1. P. 189–193. 88. Grainger E.H., Mohammed A.A. High salinity tolerance in sea ice copepods // Ophelia. 1990. Vol. 31. P. 177–185.

### Сведения об авторах

Дворецкий Владимир Геннадьевич – к.б.н., старший научный сотрудник;

e-mail: vdvoretskiy@mmbi.info

Дворецкий Александр Геннадьевич – к.б.н., зав. лаб.; e-mail: vdvoretskiy@mmbi.info

## КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ФАУНЕ НАСЕКОМЫХ И ПАУКООБРАЗНЫХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ В XX-XXI СТОЛЕТИЯХ

**И.В. Блинова**

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

### Аннотация

Представлены таксономические и экологические исследования по насекомым и паукообразным Мурманской области.

### Ключевые слова:

*Insecta, Arachnida, Мурманская обл.*



Первые энтомологические сборы, экспедиции и обзоры северо-восточной части Фенноскандии относятся к XIX веку и связаны с именами финских исследователей, прежде всего, с J. Zetterstedt, J. Sahlberg, R. Envald, J.A. Palmen, R.M. Levander, K.K. Edgren, R. Frey, W. Hellen и с J.M.J. Tengström [1]. Наиболее известны следующие фундаментальные работы того времени: «*Insecta Lapponica*» [2], «*Diptera Scandinaviae*» [3], «*Catalogus Lepidopterorum Faunae Fennicae praecursorius*» [4] и «*Öfversigt af Finlands och den Skandinaviska halföns Cicadariae*» [5]. Первые списки паукообразных региона составлены известным французским арахнологом Симоном Эженом в 1887 г. [6] и процитированы в немецком издании «*Fauna arctica*» в 1906 г. [7]. Подготовленный В. Poppius в 1905 г. [8] аннотированный список жесткокрылых Кольского п-ова, состоящий из 1036 видов, является наиболее полным до настоящего времени. Позднее он использован С. Lindroth в классическом 3-х томном труде «*Фенноскандинавские жуки*» [9–11\*]. Также в начале XX в. отдельные исследования энтомо- и аранеофауны проводили на Мурманской биологической станции в Александровске [13]. К началу прошлого века относятся списки чешуекрылых и пауков Мурманского побережья [14–16].

Следующий этап начинается в 1930-х гг., и связан с активным освоением района Хибин при новом (Кольском) филиале Академии наук [17–21]. В это время еще продолжают экспедиции, финансируемые финскими университетами и научными обществами. Именно тогда были составлены первые для области списки стрекоз, прямокрылых и равнокрылых [22–24].

В данной работе представлены сведения по современным исследованиям фауны насекомых и паукообразных Мурманской области, чтобы можно было оценить биоразнообразие этой группы на сегодняшний день, а также использовать эти знания для сохранения редких видов, либо для комплексных биогеоценотических исследований.

В последние десятилетия изучение фауны беспозвоночных за Полярным кругом проходит особенно активно. В Мурманской области наиболее полно выявлена фауна чешуекрылых [25–35] и паукообразных [36–42]. Из ряда ревизий М.В. Козлова [27, 30–33] в области известно 813 видов чешуекрылых. Опубликован список 120 видов жалающих перепончатокрылых [43] и 138 видов наездников [44]. Отмечено 112 видов цикадовых [24, 45–47] и 68 видов тлей [48]. А.В. Танасевичем и И.О. Камаевым [40] составлен аннотированный список паукообразных из 228 видов. Уточнен региональный список клещей из 259 видов [49, 50]. Число кровососущих двукрылых оценивается 120 видами [51–55]. При инвентаризации разнообразия грибных комаров крайнего северо-западного района области выявлено 329 видов [56]. По материалам В.А. Яковлева [57] и Н.В. Даньковой, В.Д. Иванова [58] для области приведены списки 114 видов ручейников. Составлен аннотированный список 24 видов стрекоз Кандалакшского заповедника [59]. Даже учитывая, что не все группы выявлены полностью, число известных для области видов насекомых и паукообразных составляет 3699\*\* (рис. 1). Для сравнения в южнее расположенной и лучше изученной Карелии, обладающей штатом энтомологов, число насекомых достигает 8 тыс. [60].

\* На сегодняшний день более доступной является английская версия этих публикаций [12].

\*\* С учетом не включенных в рис. 1 клещей и клопов.

Opiliones – 3 вида	Araneae – 231 вид	Blattodea – 3 вида
		
Plecoptera – 29 видов	Orthoptera – 12 видов	Odonata – 33 вида
		
Homoptera – 185 видов	Coleoptera – 1036 видов	Hymenoptera – 288 видов
		
Trichoptera – 114 видов	Lepidoptera – 814 видов	Diptera – 629 видов
		

Рис. 1. Основные отряды паукообразных и насекомых Мурманской области

Всё еще регулярны находки новых для региона видов среди разных групп беспозвоночных. Самыми многочисленными являются новые виды чешуекрылых: 223 за 1995–2011 гг. [27, 29–33, 61–64]. 70 новых для области и 4 новых для России видов выявлено среди равнокрылых [47, 48] и 13 среди жесткокрылых [65, 66]. Реже отмечены новые виды перепончатокрылых, особенно среди ос и пчел [43, 44, 67]. Аранеофауна региона обогатилась 51 новым видом после последних ревизий и новых находок [40, 67–69], причем отмечены и новые для России виды [39]. Стрекоза *Somatochlora sahlbergi*, узко стенотопный тундровый вид с циркумполярным распространением [70], описана впервые для Европы с побережья Экостровской Имандры [71]. Веснянка *Amphinemura palmeni*, эндемик северной Фенноскандии [72, 73], описана по материалу, собранному с Нотозера [74]. Среди двукрылых описаны не только новые для области виды [75], но и новые для науки таксоны. Так, с озера у тундр села Поной описан новый вид педиции *Pedicia arctica* [76], а с территории Лапландского заповедника описаны два новых вида мошек *Odagmia laplandica* и *Argentisimulium tshuni* [77, 78]. Публикация предположительно более 10 новых для науки видов среди грибных комаров ожидается из заповедника Пасвик [44].

Территория области обследована неравномерно (рис. 2), и данные по региональному распространению всех видов членистоногих недостаточны. К числу наиболее изученных районов относятся Хибинский горный массив в центральной части Кольского п-ова [17–21, 79–85], побережье и о-ва Белого моря на юге области [29, 31, 35–37, 45, 63, 64, 86–93], а также побережье Баренцева моря [19–26, 28, 32, 39, 41, 42, 52, 94–99]. Некоторые группы (равнокрылые и пауки) подробно выявлены в центральной части области, на территории Лапландского заповедника [47, 48, \*\*\*]. Начато энтомологическое изучение территории заповедника Пасвик на северо-западе области [44, 56, 100–103]. Обзор работ по беспозвоночным, проведенных на территории Кандалакшского заповедника, сделан Е.В. Шутовой [104] и А.С. Корякиным и др. [105].

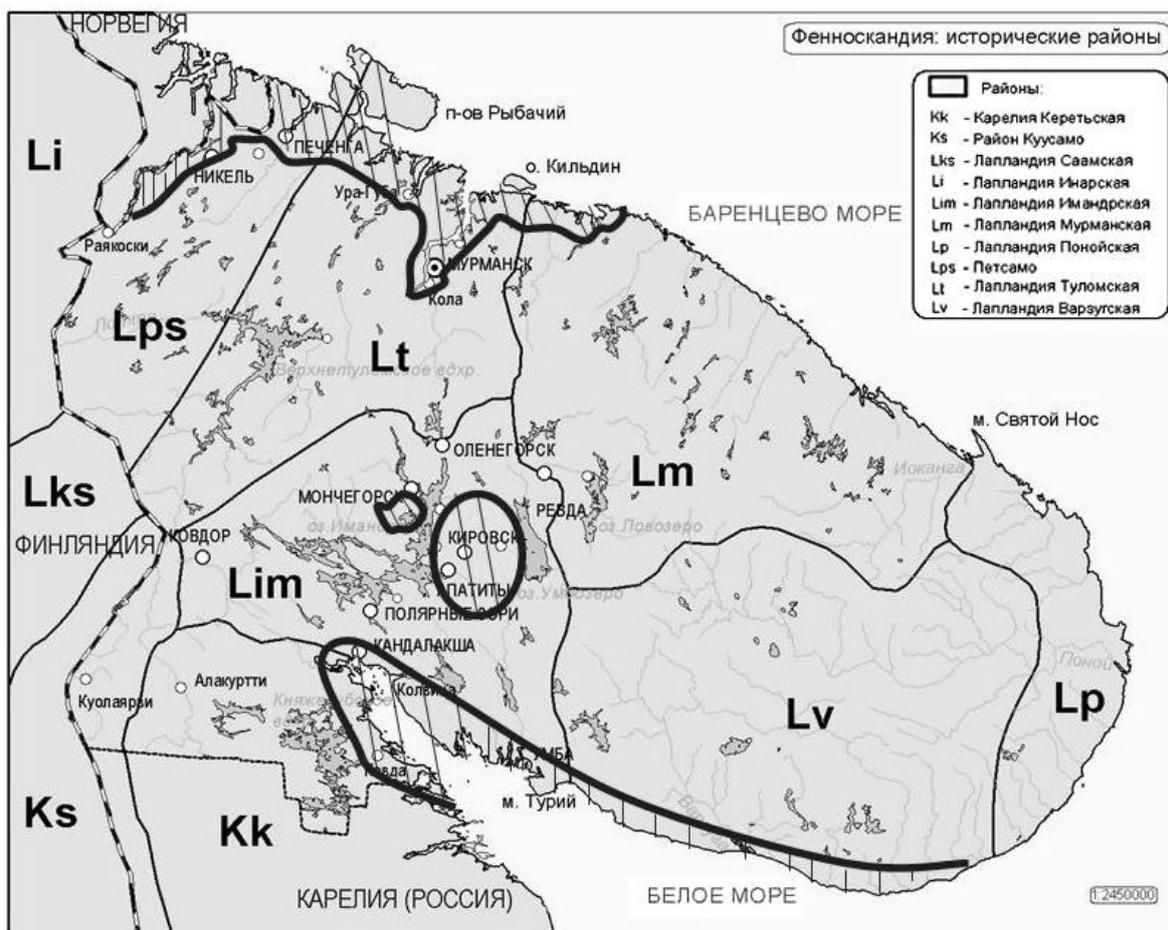


Рис. 2. Наиболее изученные районы по фауне насекомых и паукообразных в Мурманской области

Большинство представителей членистоногих являются характерными для бореальной зоны и часто представлены палеоарктическими видами. Поскольку по территории региона проходит граница между лесной и тундровой зонами, то распространение многих бореальных видов достигает своего северного предела по линии раздела. Региональное распространение и численность популяций отдельных видов членистоногих требуют уточнения. Из-за дефицита информации всего семь видов насекомых занесены в Красную книгу Мурманской области [106]. Из паукообразных не включено ни одного вида. В наиболее хорошо обследованной части Мурманской области, в Кандалакшском заповеднике, к числу охраняемых видов отнесено уже

\*\*\* На 2012 г. выявлено 262 вида пауков (В.Ш. Баркан, перс. сообщ.). Авторам этих сборов еще предстоит сопоставление списков с опубликованной сводкой по паукам Мурманской области [40] для того, чтобы определить новые для области виды.

107 [107]. В настоящее время для региона собран обширный материал по фауне беспозвоночных. Он позволяет оценить степень редкости многих видов или обратить внимание на те виды, для которых требуется более подробное изучение их биологии. По-видимому, и в новом издании Красной книги Мурманской области, планируемом на 2014 год, в число краснокнижных членистоногих должны быть включены охраняемые в Кандалакшском заповеднике плюс многие новые выявленные для области виды. Таким образом, примерное число редких в области видов насекомых и паукообразных может составить около 400 видов. При этом большинство из них пока заслуживают статуса «недостаточно изученные» (data deficient по международной классификации IUCN) или должны быть отнесены к видам «бионадзора». Некоторые редкие виды (*Amphinemura palmeni*, *Pedicia arctica*), иногда впервые описанные для региона или для науки, были не отмечены здесь повторно. Имеет смысл провести целенаправленные экспедиции в места их первых сборов. В настоящее время эти виды следует отнести к категории IUCN «critically endangered».

В топическом отношении в Мурманской области хорошо выявлена фауна почвенных беспозвоночных [49, 50, 65, 82, 91], амфибиотических и водных [57, 58, 108–114] и литорально-супралиторальных [88–90, 115]. Рассмотрены экологические комплексы насекомых-ксилофагов [20, 116–119]. Индикаторная роль насекомых и паукообразных изучена вблизи наиболее загрязненных промышленных предприятий области [38, 41, 120–128]. Проведены исследования насекомых комплекса гнуса [21, 51–55, 115, 123, 129–131]. Проанализированы особенности формирования островных энтомофаун на примере булавоусых чешуекрылых [132]. Единичные работы посвящены трофическим связям насекомых и их участию в опылении растений [19, 133], а также исследованию сезонной динамики и численности популяций насекомых и паукообразных [26, 37, 96, 97, 99, 134]. Выявлен состав беспозвоночных, паразитирующих на птицах [135–137]. Биоценотические связи между членистоногими и растениями в экосистемах Мурманской области, включая особенности жизненных циклов членистоногих, выявление их кормовой базы и консорциев, требуют подробного изучения.

Актуальными справочными материалами являются классические отечественные работы [138–141], а также ряд современных [142, 143]. Из Интернет-ресурсов стоит отметить универсальную базу данных Fauna Europaea Web Service [144], которая может оказать незаменимую помощь при проведении фаунистических исследований в Европе. Материалы многих европейских баз данных отдельных институтов объединены в настоящее время на едином портале (GBIF Data Portal, data.gbif.org), который также позволяет использовать геоинформационные технологии, и практически незаменим для сравнения новых региональных находок с картами мирового распространения членистоногих. Другим емким Интернет-ресурсом, поддерживаемым известными мировыми научными институтами, является так называемая «Энциклопедия жизни» (www.eol.org) – база данных, ориентированная на выдачу информации о каждом виде. Из числа методических приемов хочется обратить внимание на присвоение цифровой нумерации большому числу географических мест области в ранее опубликованных энтомологических работах [27, 30], что может быть использовано для классификации мест находок и в других работах.

В заключение хотелось бы отметить, что работа по изучению фауны насекомых и паукообразных в Мурманской области всегда носила спонтанный характер. Большинство сводок выполнены специалистами из других регионов. Было бы желательно, чтобы при обнаружении новых видов и публикации материалов авторы могли сообщать свои результаты в Комиссию\*\*\*\* по редким и находящимся под угрозой исчезновения объектам растительного и животного мира Мурманской области.

Автор благодарит за консультации и отписки своих и исторических работ: Е.В. Шутову, А.С. Корякина, М.В. Мельникова (Кандалакшский заповедник), Н.В. Поликарпову (заповедник Пасвик), В.Ш. Баркана (Лапландский заповедник), И.В. Зенкову (ИППЭС КНЦ РАН, Апатиты), В.Г. Миронова, С.Ю. Синева А.А. Пржиборо (ЗИН РАН), С.В. Пестова, А.Г. Татарина (ИБ Коми НЦ РАН, УрО РАН, Сыктывкар), С.В. Бугмырина (ИБ КарНЦ, Петрозаводск),

---

\*\*\*\* E-mail: kpr@kpr-murman.info

А.В. Танасевича (ЦЭПІ РАН, Москва), А.А. Нехаеву (ИПЭЭ РАН, Москва), В.Д. Иванова (СПбГУ), Г.А. Ануфриева (НижГУ), Д.Ю. Тишечкина (МГУ, Москва), Е.Г. Мозолевскую, Т.В. Шарапа (МГУЛ, Москва), Д.А. Дмитриева (Illinois Natural History Survey, USA), М.В. Козлова (University of Turku, Finland), J. Paukkunen, H. Silfverberg, S. Koponen (Finnish Museum of Natural History, Helsinki, Finland), L. Boumans (University of Oslo, Norway), J. Salmela (Natural Heritage Services, Rovaniemi, Finland), S. Karjalainen (Finland), A. Schröter (Gleichen, Germany), A.B. Bönsel (University of Rostock, Germany). Особая признательность С.В. Пестову за внимательный разбор работы и высказанные рекомендации, а также G.H. Harper (RBGE, UK) за проверку английского языка в резюме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Silfverberg H.* Finnish entomologists on the Kola Peninsula // *Notulae entomologicae*. 1988. Vol. 68 (3). P. 115–120.
2. *Zetterstedt J.W.* *Insecta Lapponica*. Lipsiae: Sumtibus Leopoldi Voss., 1840. 1140 p.
3. *Zetterstedt J.W.* *Diptera Scandinaviae*. Lund: Officina Lundbergiana, 1842-1860. Vol. 1–14. 6609 p.
4. *Tengström J.M.J.* *af. Catalogus Lepidopterorum Faunae Fennicae praecursorius* // *Notiser ur Sällskapetets pro Fauna et Flora Fennica förhandlingar*. 1869. Vol.10. P. 287–370.
5. *Sahlberg J.* Öfversigt af Finlands och den Skandinaviska halföns Cicadariae // *Notiser ur Sällskapetets pro Fauna et Flora Fennica förhandlingar*. 1871. Vol. 9 (12). P. 1–506.
6. *Simon E.* Liste des Arachnides recueillis en 1881, 1884 et 1885 par MM. J. De Guerne et C. Rabot en Laponie (Norvege, Finlande et Russie) // *Bull. Soc. Zool. de France*. 1887. T. XII. P. 456–466.
7. *Strand E.* Die arktischen Araneae, Opiliones und Chernetes // *Fauna arctica: eine Zusammenstellung der arktischen Tierformen mit besonderer Berücksichtigung des Spitzbergen-Gebietes auf Grund der Ergebnisse der Deutschen Expedition in das Nördliche Eismeer im Jahre 1898*. Bd. 4. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1906. S. 431–478.
8. *Poppius B.* Kola-hälffons och Enare Lappmarks Coleoptera // *Festschrift für Herrn Professor Dr. J.A. Palmén*. Helsingfors, 1905. № 12. P. 1–200.
9. *Lindroth C.* Die fennoskandischen Carabidae. 1. Spezieller teil // *Goteborgs Kungliga Vetenskaps och Vitter hets-Samhalles handlingar Sjätte Foljden*. 1945a. Bd. 4 (1). S. 1–709.
10. *Lindroth C.* Die fennoskandischen Carabidae. 2. Karten // *Goteborgs Kungliga Vetenskaps och Vitter Samhalles Sjätte Foljden*. 1945 b. Bd. 4 (2). S. 1–277.
11. *Lindroth C.* Die Fennoskandischen Carabidae. 3. Allgemeiner teil // *Goteborgs Kungliga Vetenskaps och Vitter hets-Samhalles handlingar Sjätte Foljden*. 1949. Bd. 4. S. 1–911.
12. *Lindroth C.H.* Ground beetles (Carabidae) of Fennoscandia: a zoogeographic study. Part. 1. Specific zoogeographic facts, 1992, 630 pp.; part. 2. Maps, 1988, 271 pp; part. 3. General facts, 1989, 814 pp. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Libraries and National Coleoptera Foundation.
13. *Дерюгин К.М.* Краткий очерк развития Мурманской Биологической Станции СПб. Общ. Естествоиспытателей // *Труды Импер. С.-Петербургскаго Общества Естествоиспытателей. Отд. Зоол. и физиол.* 1913. Т. ХLI. Вып. 4. 22 с.
14. *Дьяконов А.М.* Заметки о чешуекрылых Мурманского побережья // *Русск. энтомол. обозр.* 1911. Vol. XI (1). С. 13–17.
15. *Миллер Е.* К характеристике фауны чешуекрылых Мурманского побережья // *Bull. Soc. Entomol. Moscow*. 1915. Vol. 1. P. 124–135.
16. *Федотов Д.М.* К фауне пауков Мурман и Новой Земли // *Еж. Зоол. Муз. Ак. Наук*. 1911. Т. XVI. № 4. С. 448–474.
17. *Фридолин В.Ю.* Изучение насекомых Хибинских гор в связи с вопросами колонизации края // *Хибинские апатиты*. 1931. Т. 2. С. 446–451.
18. *Фридолин В.Ю.* Зоогеографические и биоценотические исследования в Хибинских горах // *Экспедиции Всесоюзной Академии наук*. 1931. Л., АН СССР, 1932. С. 334-341.
19. *Фридолин В.Ю.* Животно-растительное сообщество горной страны Хибин. Биоценотические исследования 1930–1935 гг. М.; Л., 1936. 295 с.
20. *Старк В.Н.* Короеды Хибинского массива // *Защита растений от вредителей*. 1931. Т. 7. № 1-3. С. 19–28.
21. *Гуцевич А.В.* О москитах Хибинских гор // *Паразитологический сборник*. Л., АН СССР. 1934. Т. 6. С. 5–17.
22. *Valle K.J.* Die Orthopterenfauna des nördlichsten Teile von Ostfennoskandia mit besonderer Berücksichtigung des Petsamo-Gebiets // *Not. Ent.* 1930. Vol. 10. P. 40–42.
23. *Valle K.J.* Über die Odonatonfauna des nördlichen Finnland mit besonderer Berücksichtigung des Petsamogebietes // *Ann. Zool. Soc. Zool.-Bot. Fenn. Vanamo*. 1931. Vol. 12(2). P. 21–46.
24. *Lindberg H.* Die Hemipterenfauna Petsamos // *Meddr. Soc. Fauna et Flora Fennica*. 1932. Vol. 7. P. 193–235.
25. *Valle K.J.* Die Lepidopterenfauna des Petsamogebiets unter faunistisch-zoogeographischer Berücksichtigung der Fauna ganz N-Fennoskandias // *Ann. Zool. Soc. Zool.-Bot. Fenn. Vanamo*. 1933. Vol. 1(3). P. 1–262.
26. *Синев С.Ю.* К фауне чешуекрылых (Lepidoptera) Печенгского района Мурманской области // *Связи энтомофауны Северной Европы и Сибири*. Л.: ЗИН РАН. 1988. С. 168–172.
27. *Kozlov M.V., Jalava J.* Lepidoptera of the Kola Peninsula, northwestern Russia // *Entomol. Fennica*. 1994. Vol. 5. P. 65–85.
28. *Исаков В.Н., Громов И.А.* Дневные бабочки (Lepidoptera, Rhopalocera) северо-запада Мурманской области // *Энтомол. обозр.* 1997. 76(1). С. 122–126.
29. *Шутова Е.В., Антонова Е.М. и др.* Чешуекрылые Кандалакшского заповедника / *Е.В. Шутова, Е.М. Антонова, А.В. Свиридов, Н.Н. Кутенкова* // *Флора и фауна заповедников*. М., 1999. Вып. 80. 46 с.
30. *Kozlov M.V., Jalava J. et al.* New records of Lepidoptera from the Kola Peninsula, northwestern Russia / *M.V. Kozlov, J. Jalava, E. Shutova* // *Entomol. Fennica*. 2000. Vol. 11. P. 131–136.
31. *Kozlov M.V., Kullberg J.* Lepidoptera of Terskij seashore of the Kola Peninsula, northwestern Russia // *Entomol. Fennica*. 2006. Vol. 17. P. 123–129.
32. *Kozlov M.V., Kullberg J.* Lepidoptera of tundra habitats of the northern Kola Peninsula, Northwestern Russia // *Entomol. Fennica*. 2008. Vol. 19. P. 114–121.
33. *Kozlov M.V., Kullberg J.* New and interesting Lepidoptera from the Kola Peninsula, Northwestern Russia, in 2000–2009 // *Entomol. Fennica*. 2011. Vol. 21. P. 254–272.
34. *Татаринов А.Г., Кулакова О.И.* Локальные фауны булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera: Papilionoidea, Hesperioidea) Европейского Севера России: Хибинь // *Вестн. Поморского ун-та, сер. Естеств. и точн. науки*. 2009. №1. С. 68–76.
35. *Шутова Е.В.* Анализ фауны дневных бабочек (Lepidoptera, Diurna) Мурманской области // *Сохранение биологического разнообразия наземных и морских экосистем в условиях высоких широт: материалы междунар. науч.-практич. конф. Мурманск, 13–15 апреля 2009 г.* Мурманск, 2009. С. 301–304.
36. *Безр С.А.* О фауне и экологии пауков Мурманской области // *Зоол. журн.* 1964. Т. 43(4). С. 525–533.
37. *Шутова Е.В.* Влияние способа сбора на изучение видового состава пауков (Aranei) // *IV Научная конференция Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова*. М.: БС МГУ, 1999а. С. 65–69.
38. *Koponen S., Koneva G.G.* Spiders along a pollution gradient (Araneae) // *C. Deltshv & P. Stoev (eds.), European Arachnology 2005 / Acta zoologica bulgarica. Suppl. № 1*. 2006. P. 131–136.
39. *Tanasevitch A.V., Rybalov L.B.* On spiders from tundra zone of Kola Peninsula, Russia (Arachnida, Aranei) // *Arthropoda Selecta*. 2010. Vol. 19 (1). P. 41–56.
40. *Танасевич А.В., Камеев И.О.*

Пауки Кольского полуострова (Arachnida: Aranei) // Кавказский энтомол. бюл. 2011. Т. 7. Вып. 1. С. 7–32. **41.** *Koponen S.* Ground-living spiders (Araneae) at polluted sites in the Subarctic // *Arachnologische Mitteilungen*. 2011. Vol. 40. P. 80–84. **42.** *Hexaeva A.A.* Таксономическая и зоогеографическая структура фауны пауков Arachnida, Aranei) окрестностей Мурманска // 14 съезд Русского энтомологического общества. Россия, С.-Петербург, 27 авг. – 1 сент. 2012 г. СПб., 2012. С. 311. **43.** *Paukkunen J., Kozlov M.V.* Kuolan niemimaan myrkkypistiäiset. [Aculeate Hymenoptera of the Kola Peninsula.] // University of Helsinki, Department of Forest Sciences Publications. 2012. Vol. 4. P. 189–200 (in Finnish). **44.** *Полевой А.В., Хумала А.Э.* Насекомые // *Летопись природы заповедника «Пасвик»*. Кн. 15 (2008). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 153–156. **45.** *Тишечкин Д.Ю.* Фауна цикадовых (Homoptera, Cicadinea) окрестностей Беломорской биологической станции МГУ // *Проблемы современной биологии*. Деп. ВИНТИ. 1987. С. 89–93. **46.** *Ануфриев Г.А.* О фауне цикадовых (Homoptera, Cicadinea) проектируемого национального парка "Хибины" // *Чтения памяти проф. В.В. Станчинского*. Вып. 3. Смоленск, 2000. С. 26–28. **47.** *Dmitriev D.A.* Cicadina (Hemiptera: Auchenorrhyncha) of the Kola Peninsula basing mainly on the material collected in the Lapland Biosphere Nature Reserve // *Denisia*. 2002. № 176. P. 339–348. **48.** *Стекольников А.В.* Аннотированный список тлей (Homoptera, Aphidinea) Лапландского заповедника // *Труды Лапландского государственного природного биосферного заповедника*. Вып. 6. Москва: Изд-во "Перо", 2012. С. 385–411. **49.** *Зенкова И.В., Зайцев А.С. и др.* Почвообитающие панцирные клещи (Acarina, Oribatei) таежной и тундровой зон Мурманской области / *И.В. Зенкова, А.С. Зайцев, Л.В. Залиш, А.А. Лисковская* // *Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Биогеография. Зеленый пояс Фенноскандии*. 2011а. № 1. С. 54–67. **50.** *Лисковская А.А.* Фаунистическое и экологическое разнообразие панцирных клещей (Acariformes: Oribatei) в экосистемах Кольского Севера: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2011. 27 с. **51.** *Гуцевич А.В., Гребельский С.Г.* О кровососущих двукрылых насекомых Кольского п-ова // *Тр. Военно-медиц. акад. им. Кирова*. 1951. Т. 46. С. 94–99. **52.** *Соловей В.А., Лиходед В.Г.* К фауне и экологии кровососущих двукрылых (Diptera) северо-западной части Мурманской области // *Энтомол. обзор*. 1966. Т. 46. Вып. 3. С. 565–560. **53.** *Лутта А.С., Быкова Х.И.* Слепни (сем. Tabanidae) Европейского Севера СССР. Л.: Наука, 1982. 184 с. **54.** *Шарков А.А., Лобкова М.П., Усова З.В.* Кровососущие комары и мошки Европейского Севера СССР / *А.А. Шарков, М.П. Лобкова, З.В. Усова*. Петрозаводск, 1984. 152 с. **55.** *Шарков А.А.* Кровососущие комары (Diptera, Culicidae) Мурманской обл. Петрозаводск, 1990. 32 с. **56.** *Полевой А.В.* Грибные комары (Diptera: Bolitophilidae, Keroplatidae, Mucetophilidae) заповедника «Пасвик» // *Труды КарНЦ РАН*. № 1. Сер. Биогеография. Вып. 10. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 95–104. **57.** *Яковлев В.А.* Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика): в 2-х ч. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. Ч. 1. 161 с.; Ч. 2. 145 с. **58.** *Данькова Н.В., Иванов В.Д.* Фауна ручейников (Trichoptera) рек Кольского полуострова. *Проблемы водной энтомологии России и сопредельных стран: материалы III Всерос. симпозиума по амфибиотическим и водным насекомым*. Воронеж, 2007. С. 87–95. **59.** *Шутова Е.В.* Аннотированный список видов стрекоз (Odonata) Кандалакшского заповедника // VIII–IX Междунар. семинары «Рациональное использование прибрежной зоны северных морей». Социально-экологические и экономические исследования в прибрежной зоне северных морей. Роль заповедников в обеспечении устойчивого развития прибрежной зоны северных морей. Изучение биотопов прибрежных экосистем. 17 июля 2004 г., Кандалакша. Материалы докладов. СПб., 2006. С. 146–149. **60.** *Yakovlev E.V., Humala A.E. et al.* Insects (Some results of entomofaunistic studies in Karelia during 1950–2000) / *E.V. Yakovlev, A.E. Humala, A.V. Polevoi, E.V. Yakovlev, A.E. Humala, A.V. Polevoi* // A.N. Gromtsev, S.P. Kitaev, V.I. Krutov, O.L. Kuznetsov, T. Lindholm, E.V. Yakovlev (eds.), Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, communities and species. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS, 2003. P. 135–144. **61.** *Свиридов А.В., Тихомиров А.М. и др.* Виды совок (Lepidoptera: Noctuidae), новые для различных регионов России, 1 / *А.В. Свиридов, А.М. Тихомиров, Е.В. Шутова, А.Е. Блинушов, И.В. Кузнецов, Л.В. Большаков, С.А. Рябов, П.С. Ситников, М.А. Клепиков* // *Russian Entomol. J.* 2002. Vol. 11, № 4. С. 445–450. **62.** *А.В. Свиридов, Т.А. Трофимова и др.* Виды совок (Lepidoptera: Noctuidae), новые для различных регионов России, 2 / *А.В. Свиридов, Т.А. Трофимова, М.В. Усков, А.В. Муханов, Л.Е. Лобкова, В.И. Щуров, Е.В. Шутова, И.В. Кузнецов, Ю.А. Ловцова, П.Н. Коржов, В.С. Окулов, М.А. Клепиков* // *Eversmannia*. 2006. № 7–8. С. 46–68. **63.** *Шутова Е.В.* Дополнения и изменения к списку видов чешуекрылых Lepidoptera Кандалакшского заповедника // VI–VII Международные семинары "Рациональное использование прибрежной зоны северных морей". Ч. 1. Комплексное управление прибрежными зонами. Роль заповедников в обеспечении устойчивого развития прибрежной зоны северных морей. 18 июля 2002 г., 17 июля 2003 г., Кандалакша. СПб., 2004. С. 144–160. **64.** *Шутова Е.В.* Второе дополнение к списку видов чешуекрылых Lepidoptera Кандалакшского заповедника // *Эколого-фаунистические исследования в Центральном Черноземье и сопредельных территориях*. Материалы третьей региональной конференции 19–21 февраля 2008 г., г. Липецк. Липецк, 2008а. С. 159–165. **65.** *Пожарская В.В., Зенкова И.В.* Жесткокрылые (Coleoptera: Staphilinidae, Carabidae, Elateridae) в почвах Хибин // *Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах (памяти проф. В.В. Никонова)*. Материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием по лесному почвоведению, г. Апатиты, 12–16 сент. 2011 г. Апатиты, 2011. Ч. 1. С. 44–48. **66.** *Пожарская В.В.* Почвообитающие беспозвоночные в экосистемах Хибинского горного массива: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2012. 24 с. **67.** *Blinova I., Mironov V.G.* New records of spiders and insects for NE Fennoscandia (Murmansk Region, Russia) // *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica*. 2012. Vol. 88. P. 80. **68.** *Marusik Yu.M., Fritzén N.R.* On a new *Dictyna* species (Araneae, Dictynidae) from the northern Palaearctic confused with the East Siberian *D. schmidti* Kulczyński, 1926 // *Zookeys*. 2011. Vol. 138. P. 93–108. **69.** *Nekhaeva A.A.* The first record of *Perregrinus deformis* (Tanasevitch, 1982) from Fennoscandia (Aranei: Linyphiidae) // *Arthropoda Selecta*. 2012a. Vol. 21 (1). P. 81–83. **70.** *Schröter A.* Review of the distribution of *Somatochlora sahlbergi* (Odonata: Corduliidae) // *IDF-Report [International Dragonfly Fund, Zerrf]*. 2011. Vol. 41. P. 1–27. **71.** *Valle K.J.* *Somatochlora sahlbergi* Trybom. Lapponia imandrensis, Jokostrow, leg. R. Enwald. Neu für Europa // *Meddelanden av Societas Pro Fauna et Flora Fennica*. 1915. P. 42. **72.** *Lillehammer A.* Stoneflies (Plecoptera) of Fennoscandia and Denmark // *Fauna Entomologica Scandinavica*. 1988. Vol. 21. 165 p. **73.** *Boumans L., Baumann R.W.* *Amphinemura palmeni* is a valid Holarctic stonefly species (Plecoptera: Nemouridae) // *Zootaxa*. 2012. Vol. 3537. P. 59–75. **74.** *Koponen J.* Plecopterologische Studien: Die Plecopteren-Arten Finlands // *Acta Societatis pro fauna et flora Fennica*. 1917. Vol. 44. P. 1–18. **75.** *Nartshuk E.P.* A revision of grassflies of the tribe *Chloropini* (Diptera, Chloropidae) of Finland, Estonia and North-West Russia // *Entomologica Fennica*. 1998. Vol. 9. P. 153–183. **76.** *Frey R.* Beschreibung einer neuen *Pedicia*-Art aus dem nördlichen Europa (Diptera, Tipulidae) // *Notulae Entomologicae*. 1921. Vol. 1. P. 110–112. **77.** *Чубарева Л.А., Янковский А.В.* Новый вид мошек *Odagmia laplandica* Chubareva et Yankovsky sp.n. из Лапландского заповедника (Кольский полуостров) (Diptera, Simuliidae) // *Паразитология*. 1992. Т. 26. № 4. С. 326–

328. **78.** Янковский А.В. Мошки (Diptera: Simuliidae) Лапландского государственного биосферного заповедника и описание нового вида рода *Argentisimulium* Rubzov et Yankovsky, 1982 // Энтомол. обзор. 2006. Т. 85(1). С. 226–234. **79.** Россолимо Т.Е. Высотное распределение и термопреферендум жужелиц в Хибинах // Зоол. журн. 1989. Т. 68, №4. С. 58–65. **80.** Эколого-экономическое обоснование национального парка «Хибинь». 1998. Приложение 14. Систематический список видов насекомых, выявленных на территории Хибинских и Ловозерских тундр (<http://hibiny.info/documents/eeo/165-app14>, 11.12.2012) **81.** Anufriev G.A. Some results of entomofauna research in the proposed National Park "Khibiny" area // Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia. Vol. 3. Diversity of the fauna of North Eurasia. P. 1. Novosibirsk, 2000. P. 16–18. **82.** Зенкова И.В., Пожарская В.В., Похилько А.А. Материалы к почвенной фауне Хибинского горного массива на примере горы Вудъяврчорр / И.В. Зенкова, В.В. Пожарская, А.А. Похилько // Вестник МГТУ. 2009а. Т. 12(3). С. 516–524. **83.** Зенкова И.В. и др. Высотная поясность и комплексы жесткокрылых в почвах Хибинского горного массива / И.В. Зенкова, В.В. Пожарская, Б.Ю. Филиппов, А.А. Колесникова, С.Д. Середюк // Труды Карел. НЦ РАН. 2011б. № 2. С. 107–118. **84.** Камаев И.О. Население пауков (Aranei) в высотном градиенте Хибин // Ломоносов-2010: XV Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, (Москва, МГУ, 12–15 апреля 2010 г.). Секция «Биология»: тез. докл. М., 2010. С. 122–123. **85.** Потапов Г.С., Колосова Ю.С. Фауна и зоогеографическая характеристика шмелей (Hymenoptera, Apidae: *Bombus*) Хибин // Евраз. энтомол. журн. 2011. Т. 10(4). С. 483–485. **86.** Уваров А.В. Видовой состав жесткокрылых на островах Северного архипелага Кандакшского залива // Уч. Зап. МГПИ. 1976. Ч. 1. С. 103–111. **87.** Уварова Л.А., Уваров А.В. Материалы к исследованию фауны муравьев на островах Северного архипелага Кандакшского залива // Уч. Зап. МГПИ. 1976. Ч. 1. С. 112–114. **88.** Пржиборо А.А. Данные по фауне и экологии насекомых с неполным превращением (Insecta, Pterigota, Hemimetabola) литорали и супралиторали Кандакшского залива Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. СПб., 1995. С. 89–90. **89.** Пржиборо А.А. Некоторые особенности и происхождение фауны насекомых и пауков литорали Кандакшского залива Белого моря // Экологические исследования беломорских организмов. СПб., 1997. С. 62–63. **90.** Данциг Е.М., Пржиборо А.А. К фауне коцид (Hymenoptera, Coccinea) приливно-отливной зоны Белого моря // Энтомол. обзор. 1995. Т. 74(2). С. 373–375. **91.** Ю.Б. Бызова и др. Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандакшского заповедника / Ю.Б. Бызова, А.В. Уваров, В.Г. Губина. М., 1986. 311 с. **92.** ШUTOва Е.В. Наземные беспозвоночные Кандакшского заповедника // Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии, г. Петрозаводск, 6–10 сентября 1999 г. Петрозаводск, 1999б. С. 107–108. **93.** Каталог биоты Беломорской Биологической станции МГУ / под ред. А.В. Чесунова, Н.М. Калякиной, Е.Н. Бубновой. М.: КМК, 2008. 384 с. Режим доступа: <http://biota.wsbmsu.ru/wiki/index.php/Metazoa>, 11.12.2012. **94.** Valle K.J. Über die tiergeographische Bedeutung der fennoskandischen Birkenregion // Acta Forest. Fenn. 1934. Vol. 40, № 13. 19 S. **95.** Усова З.В., Ходаков В.А. Фауна мошек (Diptera, Simuliidae) Мурманского побережья // Тр. Кандакшского заповедника. 1970. Вып. 8. С. 369–403. **96.** Цуриков М.Н., Мельников М.В. К фауне и экологии жесткокрылых (Coleoptera) острова Харлов, Восточный Мурман // VIII–IX Междунар. семинары «Рациональное использование прибрежной зоны северных морей». Социально-экологические и экономические исследования в прибрежной зоне северных морей. Роль заповедников в обеспечении устойчивого развития прибрежной зоны северных морей. Изучение биотопов прибрежных экосистем, 17 июля 2004 г., Кандакш. СПб.: РГГМУ, 2006. С. 182–188. **97.** Кисилев В.В. и др. Фауна и экология жесткокрылых Восточного Мурман / В.В. Кисилев, Р.В. Плотников, М.В. Мельников // Роль естественных наук в решении проблем современного общества. Материалы Всерос. студенч. конф., посвященной 60-летию образования Липецкого государственного ун-та, г. Липецк, 11–12 декабря 2009. Липецк: ЛГПУ, 2009. С. 67–70. **98.** Nekhaeva A.A., Nekhaev I.O. On the spider fauna of Bolshoy Aynov Island (Barents Sea) (Arachnida: Aranei) // Arthropoda Selecta. 2011. P. 319–322. **99.** Nekhaeva A.A. Seasonal dynamics of abundance and species diversity of spiders (Araneae) in the environs of Murmansk city (Russia) // Abstracts of 27<sup>th</sup> European Congress of Arachnology, Ljubljana, Slovenia, 2–7 Sept. 2012. Ljubljana, 2012b. P. 108. **100.** Балашиов С.В. Список видов насекомых // Летопись природы заповедника Пасвик. Кн. 7. 2000 г. Рязань, 2003. С. 60–63. **101.** Балашиов С.В. Список видов насекомых // Летопись природы заповедника Пасвик. Кн. 9. 2002 г. Рязань, 2005. С. 62–63. **102.** Ананьева С.И. и др. Фауна чешуекрылых насекомых (Insecta, Lepidoptera) заповедника «Пасвик» и прилегающих к нему территорий / С.И. Ананьева, А.Е. Блинущев, О.А. Хлебосолова // Экология, эволюция и систематика животных: сб. науч. тр. каф. зоологии и методики обучения биологии РГУ. Рязань, 2007. С. 37–46. **103.** Трушцына О.С. Фауна жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) заповедника «Пасвик» и прилегающих к нему территорий – аннотированный список видов // Экология, эволюция и систематика животных: сб. науч. тр. каф. зоологии и методики обучения биологии РГУ. Рязань, 2007. С. 123–128. **104.** ШUTOва Е.В. Изученность насекомых и других наземных беспозвоночных в Кандакшском заповеднике на 1997 год // Изучение беспозвоночных животных в заповедниках. М., 2001. С. 23–32. **105.** Корякин А.С. и др. Биоразнообразие Кандакшского заповедника: текущая информация, 2009 г. / А.С. Корякин, Е.В. ШUTOва, Л.А. Москвичева // Сохранение биологического разнообразия наземных и морских экосистем в условиях высоких широт. Материалы Международной научно-практической конференции. Мурманск, 13–15 апреля 2009 г. Мурманск: МГПУ, 2009. С. 126–129. **106.** Красная книга Мурманской области / под ред. Н.А. Константиновой, А.С. Корякина, О.А. Макаровой. Мурманск, 2003. 400 с. **107.** Корякин А.С. и др. Особо охраняемые виды в Кандакшском заповеднике / А.С. Корякин, Москвичева Л.А., ШUTOва Е.В. // VI–VII Международные семинары «Рациональное использование прибрежной зоны северных морей». Ч. 1., «Комплексное управление прибрежными зонами. Роль заповедников в обеспечении устойчивого развития прибрежной зоны северных морей», 18 июня 2002 г., 17 июля 2003 г., Кандакш. СПб.: РГГМУ, 2004. С. 48–90. Режим доступа: [http://www.kandalaksha-reserve.org/kandalaksha\\_dokumenty/oxran\\_vidy.htm](http://www.kandalaksha-reserve.org/kandalaksha_dokumenty/oxran_vidy.htm), 11.12.2012 **108.** Состояние водных беспозвоночных организмов в приграничных районах СССР и Норвегии. Академия наук СССР. Препринт / В.А. Яковлев, Т. Нест, А. Лангеланд. Апатиты, 1991. С. 6–47. **109.** Данькова Н.В., Иванов В.Д. К изучению гидропtilид (Trichoptera, Hydroptilidae) Кольского полуострова // Проблемы энтомологии в России: сб. научных трудов. СПб., 1998. Т.1. С. 110–111. **110.** Данькова Н.В., Иванов В.Д. Фауна ручейников (Insecta, Trichoptera) озер Кольского полуострова (Мурманская область) // Фауна, вопросы экологии, морфологии и эволюции амфибиотических и водных насекомых России: материалы II Всерос. симпози. по амфибиот. и водным насекомым. Воронеж: Воронежский государственный ун-т, 2004. С. 28–34. **111.** Данькова Н.В. и др. К изучению фауны и экологии ручейников (Insecta, Trichoptera) ручьев южных районов Мурманской области / Н.В. Данькова, В.Д. Иванов, А.Е. Силина // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2000. Вып. 3, №19. С. 3–8. **112.** Силина А.Е., Данькова Н.В. Вылет амфибиотических насекомых из ручья Северный на

Кольском полуострове // Фауна, проблемы экологии, этологии и физиологии амфибиотических и водных насекомых России. Материалы VI Всерос. трихотеролог. симпози., I Всерос. симпозиума по амфибиотическим и водным насекомым. Воронеж, 2000. С. 81–87. **113.** Dankova N.V., Shutova E.V. Light and floating emergence trapping of Trichoptera in Murmansk Region // Proc. 10th Int. Symp. Trichoptera – Nova Suppl. Ent., Keltern. 2002. Vol. 15. P. 491–498. **114.** Барышев И.А. Амфибиотические насекомые выростных участков молоди атлантического лосося в бассейне реки Варзуга // Фауна, вопросы экологии, морфологии и эволюции амфибиотических и водных насекомых России: материалы II Всероссийск. симпози. по амфибиотич. и водным насекомым. Воронеж: Воронежский ГУ, 2004. С. 7–14. **115.** Глухова В.М., Пржиборо А.А. О массовом развитии мокрецов (Diptera, Ceratopogonidae) на литорали Белого моря // Паразитология. 1995. Т. 29(1). С. 43–46. **116.** Шарпа Т.В. Жуки-ксилофаги Кандалакшского государственного заповедника // Научные труды МЛТИ. М., 1985. Т. 167. С. 172–174. **117.** Шарпа Т.В. Экология и лесохозяйственное значение короедов в заповедных и антропогенных лесах Кольского полуострова: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1992. 22 с. **118.** Мозолева Е.Г., Шарпа Т.В. Видовой состав насекомых-ксилофагов Мурманской области // Энтотом. обзор. 1996. Т. 75 (3). С. 558–566. **119.** Voolma K. et al. Distribution and spread of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) around the Gulf of Finland: a comparative study with notes on rare species of Estonia, Finland and North-Western Russia / K. Voolma, M.J. Mandelshtam, Shcherbakov, Yakovlev E.B., Ūnap H., Süda I., Popovichev B.G., A.N. Sharapa, T.V. Galasjeva, R.R. Khairtdinov, V.A. Lipatkin, E.G. Mozolevskaya // Entomol. Fennica. 2004. Vol. 15. P. 198–210. **120.** Kozlov M.V. et al. Population densities and diversity of Noctuidae (Lepidoptera) along an air pollution gradient on the Kola Peninsula, Russia / M.V. Kozlov, J. Jalava, A.L. Lvovsky, K. Mikkola // Entomol. Fennica. 1996a. Vol. 7. P. 9–15. **121.** Kozlov M.V. et al. Abundance of day-flying Lepidoptera along an air pollution gradient in the northern boreal forest zone / M.V. Kozlov, A.L. Lvovsky, K. Mikkola // Entomol. Fennica. 1996b. Vol. 7. P. 137–144. **122.** Zvereva E., Serebrov V., Glupov V., Dubovskiy I. Activity and heavy metal resistance of non-specific esterases in leaf beetle *Chrysomela lapponica* from polluted and unpolluted habitats / E. Zvereva, V. Serebrov, V. Glupov, I. Dubovskiy // Comparative Biochemistry and Physiology Part C. 2003. Vol. 135. P. 383–391. **123.** Kozlov M.V. et al. Abundance and diversity of human-biting flies (Diptera: Ceratopogonidae, Culicidae, Tabanidae, Simuliidae) around a nickel-copper smelter at Monchegorsk, northwestern Russia / M.V. Kozlov, N.K. Brodskaya, A. Haarto, K. Kuusela, M. Schäfer, V. Zverev // Journal of Vector Ecology. 2005. Vol. 30 (2). P. 263–271. **124.** Трушицына О.С. и др. Роль жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в оценке окружающей среды на промышленно-загрязненных территориях в условиях северо-запада Кольского полуострова / О.С. Трушицына, С.М. Жиряков, Г.П. Щербакова // Экология, эволюция и систематика животных: сб. науч. тр. каф. зоологии и методики обучения биологии РГУ. Рязань, 2007. С. 117–122. **125.** Зенкова И.В. Пионерная фауна отвалов нефелинсодержащих пород / Зенкова И.В., Калмыкова В.В., Лисковая А.А. // Почвоведение. 2009б. № 8. С. 1–8. **126.** Ананьева С.И. и др. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы / С.И. Ананьева, Е.А. Белова, А.Г. Булычев, И.А. Булычева, А.А. Заколдаева, И.В. Зацаринный, Л.Г. Исаева, А.Ю. Косякова, М.С. Ларькова, Н.В. Лукина, А.В. Мерищев, Н.В. Поликарпова, О.С. Трушицына, И.С. Собчук, Т.А. Сухарева, О.А. Хлебосолова. Рязань, НП «Голос губернии», 2012. 92 с. **127.** Конева Г.Г., Копонен С. Индикационная роль почвенной фауны // Ландшафтная экология. Вып. 6. М.: МГОПУ, 2006. С. 27–34. **128.** Koronen S. Mordorin Maassa - Kuolan sulatot ja niiden päästöjen vaikutus hämähäkkiyhteisöihin [In Mordor - smelters in Kola peninsula and their effect on the spider communities] // University of Helsinki, Department of Forest Sciences Publications. 2012. Vol. 4. 105–111. (in Finnish). **129.** Усова З.В. Фауна мошек Карелии и Мурманской области (Diptera, Simuliidae). М.-Л.: Изд. АН СССР, 1961. 286 с. **130.** Шарков А.А., Лутта А.С. Влияние ландшафта и климата на распространение кровососущих комаров Мурманской области // Паразитология. 1977. Т. 11. Вып. 4. С. 333–339. **131.** Шарков А.А., Рипатти А.П. Краткий определитель кровососущих комаров Мурманской области. Петрозаводск, 1987. 41 с. **132.** Болотов И.Н., Шугова Е.В. Закономерности формирования островных фаун булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Diurna) на северном пределе распространения лесов в области плейстоценовых материковых оледенений (на примере островов Белого моря) // Известия РАН. Сер. биол. 2006. № 3. С. 327–336. **133.** Блинова И.В. Особенности опыления орхидных в северных широтах // Бюл. МОИП. 2008. Т. 113(1). С. 39–47. **134.** Шугова Е.В. Многолетняя динамика численности каллифорид (Diptera, Calliphoridae) – паразитов птиц на юге Мурманской области // Материалы научной конференции, посвященной 70-летию Беломорской биологической станции МГУ. М.: Изд. "Гриф и К", 2008б. С. 146–150. **135.** Шугова Е.В. К биологии каллифорид (Calliphoridae, Diptera), паразитирующих на птенцах воробьиных птиц // Фауна и экология беспозвоночных животных в заповедниках РСФСР М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1986. С. 71–82. **136.** Макарова О.Л. и др. Гамазовые клещи (Parasitiformes, Mesostigmata) в гнездах мелких воробьиных птиц арктического архипелага Семь Островов, Баренцево море / О.Л. Макарова, А.В. Осадчий, М.В. Мельников // Зоологический журнал. 2010. Т. 89(6). С. 675–681. **137.** Матюхин А.В. Мухи-кровососки птиц (Ornithomyiinae, Hippoboscidae) арктического побережья Восточной Европы // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: тез. докл. междунар. науч. конф., г. Мурманск, 10-12 марта 2010 г. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. С. 149–151. **138.** Тыщенко В.П. Определитель пауков европейской части СССР. Л.: Наука, 1971. 283 с. **139.** Горностаев Г.Н. Насекомые. Энциклопедия природы России. М.: ABF, 1998. 560 с. **140.** Горностаев Г.Н. Определитель отрядов и семейств насекомых фауны России. М.: Логос, 1999. 176 с. **141.** Определитель насекомых Европейской части СССР / Под ред. Г.Я. Бей-Биенко, Г.С. Медведева. М.-Л.: Наука, 1964–1988. Т. I – V. **142.** Schultz J. W. A phylogenetic analysis of the arachnid orders based on morphological characters // Zool. J. Linn. Soc. 2007. Vol. 150. P. 221–265. **143.** Platnick N.I. The world spider catalog. 2000–2012. Ver. 13. <http://research.amnh.org/iz/spiders/catalog/>, 11.12.2012 **144.** Fauna Europaea Web Service / База данных. Fauna Europaea version 2.5, 23.07.2012, <http://www.faunaeur.org>, 11.12.2012

## Сведения об авторе

Блинова Илона Владимировна – д.б.н., зав. лаб. популяционной биологии растений;  
e-mail: ilbli@yahoo.com

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Н.Р. Кириллова**

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

### Аннотация

Обобщены исторические сведения по исследованию водной растительности в Мурманской области, выделены основные их направления и отражено современное состояние. В результате сформирован список водных сосудистых растений Мурманской области, который включает 82 вида.

### Ключевые слова:

*водные растения, история, гидробиотаника.*



### Введение

Водные и прибрежно-водные растения – один из важных компонентов северных экосистем, учитывая развитую гидросеть и заозеренность северных территорий. Они способствуют зарастанию болот, отмелей и последующему формированию на них луговой или болотной растительности; имеют множественные трофические (являются основной кормовой базой водоплавающих птиц, рыб и других организмов) и топические (служат местом и материалом гнездования, обитания) связи с окружающей средой. Известно, что в Мурманской области наиболее развита водная растительность в мелких, неглубоких озерах, хорошо прогреваемых днем, а также в мелководных заливах [1, 2]. Фрагментарные сведения о водной растительности Мурманской области встречаются во многих работах флористического и геоботанического плана, специальных исследований по этому вопросу проводилось не так много [3–5].

Целью настоящей работы является исторический обзор исследований водной растительности и описание перспективных направлений для будущих работ. Для осуществления поставленной цели были проанализированы имеющиеся в свободном доступе публикации, гербарные сборы водных растений на территории Мурманской области. На основании полученных сведений составлен список водных сосудистых растений Мурманской области.

### Материалы и методы

При подготовке статьи использовались доступные литературные источники, архивные и гербарные материалы (гербарии: Ботанического института РАН (г. Санкт-Петербург); Института биологии внутренних вод РАН; ПАБСИ КНЦ РАН; Кольского филиала Петрозаводского государственного университета; заповедника «Пасвик»), собственные данные. В рамках исследования под *водными растениями* понимаются растения, для которых водная среда или водопокрытый грунт служат оптимальным местообитанием; под *водной растительностью* понимается растительность, образованная сообществами истинно водных и прибрежно-водных растений [6].

Исследования водной флоры и растительности начались в России с конца XIX в., их история подробно описана в работах Э.В. Гарина [7] и В.Г. Папченкова [8], которые выделяют несколько этапов в развитии гидробиотаники: I – предыстория (конец XIX века – 1920-е гг.), II – накопление первичных данных (1930–1950-е гг.), III – обособление и становление гидробиотаники как науки (1960–1980-е гг.), IV – спад интенсивности исследований (1990-е гг.) и V – современный этап развития науки (с 2000 г.). Изучение водной растительности в Мурманской области можно разделить на следующие периоды: 1) сбор флористических сведений; 2) обобщение и анализ материала; 3) специальные исследования. История ботанико-флористических исследований в Мурманской области, в рамках которых изучали и водные растения, подробно изложена в работах Р.Н. Шлякова [9], В.А. Костиной, Н.А. Константиновой [10–12], Н.Е. Королевой [13–15] и других.

Изучение водной растительности Мурманской области проходило по следующим основным направлениям:

• *фитоценотическое направление.* Особенности распределения и характер растительных сообществ часто отмечали наряду с флористическим составом водоемов и водотоков [1, 2, 16–19]. Было указано, что в озерах Монче- и Волчьей тундр небольшое число макрофитов (16 видов) образуют сообщества 23 ассоциаций 4 формаций [18]. В озерах бассейна р. Териберка, р. Умба и р. Варзуга, оз. Сейдозеро экспедицией Л.А. Волковой [19] обнаружено 58 видов цветковых и споровых растений, относящихся к 26 семействам, при этом в озерах лесотундрового ландшафта выявлено 20 видов из 14 семейств, в водоемах северо-таежного ландшафта – 55 видов из 25 семейств. Высшая водная растительность озер ею охарактеризована как достаточно разнообразная, насчитывающая 55 ассоциаций, принадлежащих к 22 формациям. При этом в озерах лесотундры выявлены 23 ассоциации из 10 формаций, а в северо-таежных озерах – 32 ассоциации из 17 формаций. Наиболее распространенными водными растениями Кольского Севера названы *Isoetes lacustris* L., *Sparganium angustifolium* Michx., *Potamogeton praelongus* Wulf., *Potamogeton perfoliatus* L., *Batrachium peltatum* (Schrank) C. Presl, *Nuphar pumila* L., *Persicaria amphibia* (L.) S.F. Gray [19]. К водной флоре водоемов и водотоков островов Кандалакшского залива отнесено 64 вида растений из 22 семейств, синтаксономический состав высшей водной растительности насчитывает 74 ассоциации из 47 формаций. Такое относительно высокое разнообразие определено разнотипностью островов и многообразием изученных водоемов [3]. Для заповедника «Пасвик» и бассейна р. Паз отмечено 14 формаций 21 ассоциации [20], представленных преимущественно чистыми зарослями.

Анализ сведений о синтаксономическом разнообразии водной растительности в работах Л.А. Волковой, Н.Г. Панариной, а также собственные данные показали, что на территории Мурманской области отмечено 112 ассоциаций из 56 формаций водной и прибрежно-водной растительности. 6 формаций – пузырчатка обыкновенной, рдеста стеблеобъемлющего, рдеста альпийского, ежеголовника узколистного, хвоща приречного, тростника южного – отмечены во всех вышеуказанных работах, 39 формаций отмечены только для одной из них. Несмотря на то что эти исследования охватывают только часть Мурманской области, они могут дать довольно полное представление о водной растительности региона и служат хорошей основой для дальнейших изысканий в этом ключе;

• *экологическое направление.* Вопрос исследования связей растений водоемов с организмами, находящимися на других трофических уровнях, взаимоотношений между различными видами растений и с окружающей средой был поднят в работах сотрудников Кандалакшского государственного заповедника: И.П. Бреслина исследовала связь растений с жизнедеятельностью водоплавающих птиц, ею были выделены ремизные (используются птицами для укрытия), гнездостроительные (служат материалом для постройки гнезд), кормовые (употребляются птицами в качестве основного, сезонного или попутного корма) и орнитофильные (использующие птиц для своей жизнедеятельности) растения [21]. Из представленных в работе И.П. Бреслиной растений 13 принадлежат к группе водных и имеют следующее значение в жизнедеятельности птиц:

*Sparganium hyperboreum* Laest. – кормовое;

*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. – ремизное;

*Eriophorum polystachion* L. – ремизное, гнездостроительное;

*Carex acuta* L., *Carex aquatilis* Wahlenb., *Carex limosa* L., *Carex rostrata* Stokes, *Carex vesicaria* L. – кормовое, ремизное, гнездостроительное;

*Montia fontana* L. – орнитофильное;

*Caltha palustris* L. – ремизное;

*Ranunculus sceleratus* L. – орнитофильное;

*Comarum palustre* L. – ремизное;

*Menyanthes trifoliata* L. – кормовое, ремизное.

В.В. Бианки с соавторами изучал питание птиц и его роль в экосистемах [22–24]; характер влияния териогенных, орнитогенных и антропогенных факторов на формирование высшей водной растительности был определен в работе С.Н. Баккал, А.Е. Панарина, Н.Г. Хреновой [25]. В государственном природном заповеднике «Пасвик» исследовали трофические связи растений и

водоплавающих птиц [20, 26] и их эколопическое взаимодействие. Эколопическая структура (преобладание геофитов над гидрофитами, их проективное покрытие, наличие свободного зеркала водной поверхности) и величина биомассы в исследованных сообществах оказались оптимальными для поддержания жизнедеятельности растительной водоплавающих птиц: лебедя, чирка-свистунка, свиязи и кряквы.

Серьезное внимание уделено экологическому направлению в работах зарубежных исследователей, посвященных, например, влиянию макрофитов на разведение уток в рыбоводных прудах [27], влиянию водоплавающих птиц и рыб на водную растительность и беспозвоночных [28, 29] и т.д.;

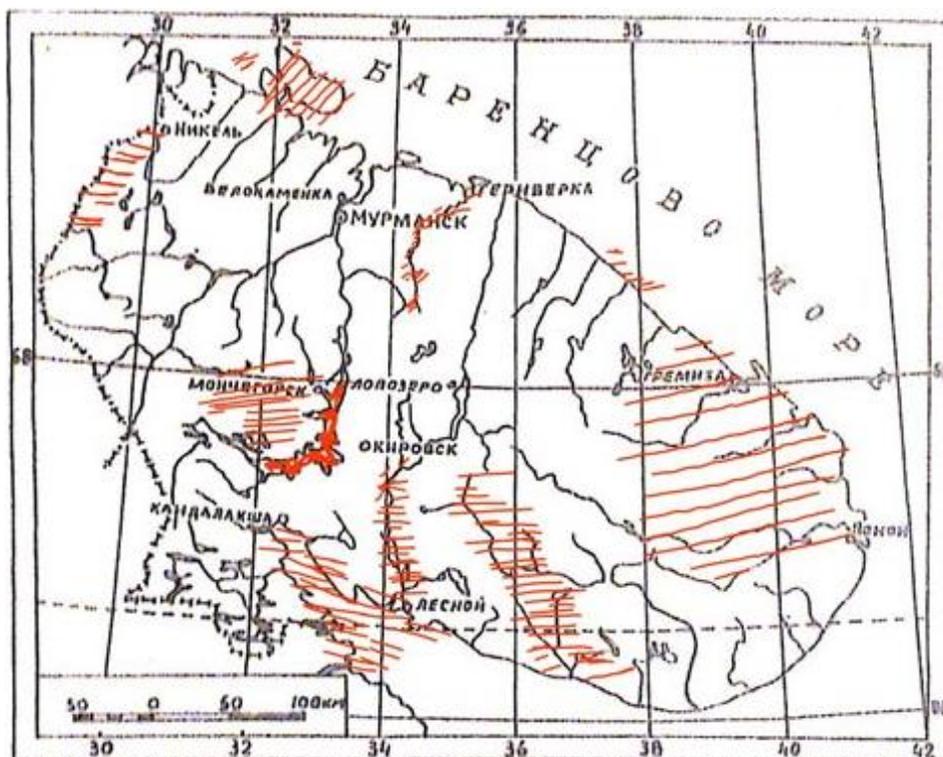
● *продукционное направление.* Продукционные исследования водной растительности в России эпизодичны и в настоящее время практически не представлены [8], что характерно и для Мурманской области. Исследования продуктивности водных растений, проведенные автором в заповеднике «Пасвик» [4, 5, 20, 26, 30], выявили, что сырая биомасса наиболее распространенных и ресурснозначимых водных растений (рдеста, осоки, хвоща и ежеголовника) варьирует от 51 до 131 г/м<sup>2</sup>, то есть средняя биомасса макрофитов в водоемах заповедника «Пасвик» меньше, чем в водоемах, например, Среднего Поволжья [31] в несколько раз: от 11 (для *Equisetum fluviatile*) до 44 (для *Potamogeton*). Эти отличия отражают географические и экологические особенности расположения района исследования;

● *хозяйственное использование.* Это направление связано с оценкой водных и водно-болотных угодий и типологии водной растительности для разных практических целей, в том числе рыбного и охотничьего хозяйства; с хозяйственным использованием биологических ресурсов искусственных водоемов (водохранилищ). Так, проводимые в 1966–1968 гг. лабораторией озероведения КарНЦ РАН комплексные исследования озер различных ландшафтов Кольского п-ова помогли выявить особенности водной флоры и растительности региона [2, 19]. Изменение водного режима и последующая за ним необратимая перемена условий обитания растений отрицательно сказывается на таких редких краснокнижных видах водной флоры, как *Lobelia dortmana* L. (единственное известное местонахождение исчезло после затопления оз. Ковдозеро), *Sparganium emersum* Rehm., *Sagittaria sagittifolia* L., *Potamogeton filiformis* Pers. (исчезли после искусственного подъема уровня воды в Чунозере [32]). Несмотря на это специального внимания изучению водной растительности при проектировании и эксплуатации искусственных водоемов не уделяется [33].

## География исследований

Важную роль в выявлении разнообразия растительного мира играют заповедники, на территории которых проводится детальная инвентаризация и постоянные наблюдения. Так, в Лапландском государственном биосферном заповеднике в первой флористической сводке Т.П. Некрасовой [1] были охарактеризованы различные типы растительности, в том числе группа «растения водоемов» (22 вида). В настоящее время во флоре Лапландского государственного заповедника насчитывают около 45 видов водных растений, из которых 3 вида (*Potamogeton filiformis* Pers., *Sparganium emersum* Rehm., *Sagittaria sagittifolia* L.) исчезли после искусственного подъема уровня воды на Чунозере [32], такая же судьба, вероятно, и у *Isoetes setacea* Durcu, который был собран в этом же районе в 1938 году.

В Кандалакшском государственном заповеднике при исследовании флоры островов Кандалакшского залива учитывали и водные растения [34–40]. С.Р. Майоровым с соавторами проведены флористические исследования 39 озер, размещающихся на 5 островах Кандалакшского залива, приведен список из 24 видов гидрофитов [41]. С 1986 по 2004 г. проведена неоднократная инвентаризация флоры большинства водоемов и ряда ручьев заповедника [42], изучено фитоценотическое разнообразие их растительного покрова, прослежена динамика водной флоры и растительности, установлены закономерности зарастания озер различной трофности [43, 44]. Исследовано современное состояние охраны озерных экосистем [45], водоемы классифицированы по составу и распространению высшей водной растительности [46]. Используются индикаторные свойства макрофитов для оценки качества воды в водоемах о. Великого и Ковдского п-ова [47]. Результаты многолетних исследований обобщены в монографии [48] и диссертационной работе Н.Г. Панариной «Растительный покров водоемов и водотоков Кандалакшского государственного природного заповедника (Кандалакшский залив, Белое море)» [3].



*Исследования водных растений в Мурманской области  
(частота штриховки показывает степень изученности водной растительности)*

На территории государственного природного заповедника «Пасвик» ботанические исследования начиная с XIX – начала XX вв. проводили главным образом норвежские и финские ботаники [49–51], так как по Тартусскому договору (1920 г.) до 1947 г. (Парижский мирный договор) правобережье реки и другие территории входили в состав Финляндии. Сразу после окончания Второй мировой войны и проведения границ между СССР, Норвегией и Финляндией на правом берегу р. Паз установился строгий режим охраны государственной границы. Длительное время район был вообще недоступен для исследований. Первый конспект флоры [52] насчитывал 286 видов сосудистых растений, из которого, по рекомендации орнитолога В.В. Бианки (для оценки потенциальных кормовых растений водоплавающих птиц), В.А. Костиной был составлен список водных и прибрежно-водных сосудистых растений включающий 46 видов [53]. Финские ученые также изучали флору «Пасвика» и выделили 29 водных растений [54]. В ходе дальнейшей инвентаризации флоры общее количество видов сосудистых растений выросло до 475 видов [55–61], а водных растений – до 50 (около 10% от общего числа видов флоры).

Кроме упомянутых выше исследований, в наиболее доступной, центральной части области проведено значительное число работ: оз. Имандра изучали Г.Д. Рихтер [62], Г.М. Крепс [63, 64], В.В. Крючков с соавторами [65]; оз. Ловозеро – отряд Кольской экспедиции АН СССР под руководством Н.В. Полонского и Ловозерская экспедиция Ленинградского гидрометеорологического управления [66]; на севере и северо-востоке работали Ю.Д. Цинзерлинг, Е.Н. Косинская [67] (рис.). В рамках подготовки коллективной монографии «Флора Мурманской области» [68–72] ботаниками была исследована большая часть территории Мурманской области.

## Список водных растений Мурманской области

На основании данных литературных источников и собственных исследований, был составлен список водных сосудистых растений Мурманской области, который, безусловно, может еще корректироваться как за счет новых находок, так и изменений в понимании систематических границ таксонов.

- *Agrostis stolonifera* L.
- *Alisma lanceolatum* With.
- *Alisma plantago-aquatica* L.
- *Alopecurus aequalis* Sobol.
- *Batrachium dichotomum* (Schmalh.) Trautv.
- *Batrachium eradatum* (Laest.) Fries
- *Batrachium penicillatum* Dumort.
- *Butomus umbellatus* L.
- *Calla palustris* L.
- *Callitriche cophocarpa* Sendtner
- *Callitriche hamulata* Kutz. Ex Koch
- *Callitriche hermaphroditica* L.
- *Callitriche palustris* L.
- *Caltha palustris* L.
- *Cardamine nymani* Gand.
- *Carex acuta* L.
- *Carex aquatilis* Wahlenb.
- *Carex concolor* R. Br.
- *Carex lasiocarpa* Ehrh.
- *Carex limosa* L.
- *Carex rostrata* Stokes
- *Carex vesicaria* L.
- *Ceratophyllum demersum* L.
- *Comarum palustre* L.
- *Elatine hydropiper* L.
- *Elatine orthosperma* Dueben.
- *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult.
- *Equisetum fluviatile* L.
- *Eriophorum polystachion* L.
- *Glyceria fluitans* (L.) R.Br.
- *Hippuris vulgaris* L.
- *Isoetes lacustris* L.
- *Isoetes setacea* Durieu
- *Lemna minor* L.
- *Lemna trisulca* L.
- *Limosella aquatica* L.
- *Lobelia dortmana* L.
- *Menyanthes trifoliata* L.
- *Montia fontana* L.
- *Myriophyllum alterniflorum* DC.
- *Myriophyllum spicatum* L.
- *Myriophyllum verticillatum* L.
- *Naumburgia thyrsoflora* (L.) Reichenb.
- *Nuphar lutea* (L.) Sm.
- *Nuphar pumila* L.
- *Nymphaea candida* Presl.
- *Nymphaea tetragona* Georgi
- *Pedicularis palustris* L.
- *Persicaria amphibia* (L.) S.F.
- *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.
- *Potamogeton alpinus* Balb.
- *Potamogeton berchtoldii* Fieb.
- *Potamogeton filiformis* Pers.
- *Potamogeton friesii* Rupr.
- *Potamogeton gramineus* L.
- *Potamogeton natans* L.
- *Potamogeton obtusifolius* Mert. & Koch
- *Potamogeton perfoliatus* L.
- *Potamogeton praelongus* Wulf.
- *Potamogeton tenuifolius* Rafin.
- *Ranunculus reptans* L.
- *Ranunculus sceleratus* L.
- *Rorippa amphibia* (L.) Besser
- *Sagittaria natans* Pall.
- *Sagittaria sagittifolia* L.
- *Scirpus lacustris* L.
- *Scirpus sylvaticus* L.
- *Sparganium angustifolium* Michx.
- *Sparganium emersum* Rehm.
- *Sparganium erectum* L.
- *Sparganium glomeratum* (Laest.) L. Neum.
- *Sparganium gramineum* Georgi
- *Sparganium hyperboreum* Laest.
- *Sparganium minimum* Wallr.
- *Stratiotes aloides* L.
- *Subularia aquatica* L.
- *Tillaea aquatica* L.
- *Typha latifolia* L.
- *Utricularia intermedia* Hayne
- *Utricularia minor* L.
- *Utricularia ochroleuca* R. Hartm.
- *Utricularia vulgaris* L.

## Заключение

Таким образом, работы по изучению водной растительности Мурманской области, начатые в конце XIX – начале XX вв. проводили по следующим основным направлениям: флористическому, фитоценологическому, экологическому, продукционному, хозяйственному использованию. География обследования ботаниками водной растительности Мурманской области охватывает значительную часть ее территории, проведение специальных исследований с составлением списков представлено в Кандалакшском, Лапландском заповедниках и заповеднике «Пасвик». На данный момент обобщенный список водных сосудистых растений Мурманской области представлен 82 видами, что составляет около 6% от общего числа видов сосудистых растений Мурманской области. В локальных флорах водные растения составляют около 10% от общего числа видов, играют важную роль в функционировании водных и наземных экосистем, их изучение в различных аспектах представляет значительный интерес для фундаментальных и прикладных исследований.

Автор выражает искреннюю признательность за консультации, ценные замечания Н.Е. Королевой, В.А. Костиной (лаб. Флоры и растительности, ПАБСИ), И.В. Блиновой, А.А. Похилько (лаб. популяционной биологии, ПАБСИ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасова Т.П. Видовой состав флоры цветковых и высших споровых Лапландского заповедника: тр. Лапландского государственного заповедника. Вып. 4. М., 1960. С. 127–188. 2. Волкова Л.А. Высшая водная растительность озер системы Коньгьявр–Колгьявр // Докл. отделений и комиссий геогр. об-ва СССР. Озера Кольского п-ова. Вып. 9. Л., 1969. С. 77–84. 3. Панарина Н.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Кандалакшского государственного природного заповедника (Кандалакшский залив, Белое море): автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2006. 18 с. 4. Канева Н.Р. Исследование водной и прибрежно-водной флоры и растительности заповедника «Пасвик». 2001 г. // Научные исследования в заповедниках и национальных парках РФ за 1998–2005 гг. Вып. 3, ч. 1. Научные исследования в заповедниках / сост. Л.С. Исаева-Петрова и др.; отв. ред. Д.М. Очагов. М.: ВНИИ Природы, 2006. С. 294–295.

5. Канева Н.Р. Ресурсы водных растений заповедника «Пасвик» (Мурманская область), кормовых для водоплавающих птиц // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера: материалы XI Перфильевских научных чтений, посвященных 125-летию со дня рождения И.А. Перфильева. г. Архангельск, 23–25 мая 2007 г. Ч. 1. Архангельск, 2007. С. 67–69. 6. Папченко В.Г. и др. Рекомендуемые для использования общие понятия гидробиологии / В.Г. Папченко, А.В. Щербаков, А.Г. Лапиров // Материалы VI Всероссийской школы-конференции по водным макрофитам «Гидробиология 2005». Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2006. С. 377–378. 7. Гарин Э.В. Водные и прибрежно-водные макрофиты России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР): ретроспективный библиографический указатель. Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2006. 180 с. 8. Папченко В.Г. Гидробиология России: итоги и перспективы // Материалы I (VII) Международной конференции по водным макрофитам «Гидробиология 2010» (п. Борок, 9–13 октября 2010 г.). Ярославль: «Принт Хаус», 2010. 372 с. 9. Шляков Р.Н. Исследования флоры и растительности Мурманской области за 50 лет советской власти // Почвенно-ботанические исследования на Кольском севере. Апатиты, 1969. С. 11–23. 10. Константинова Н.А. Изучение флоры Мурманской области (1980–2005) / Н.А. Константинова, В.А. Костина // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 79–86. 11. Костина В.А. К вопросу изученности флоры сосудистых растений Мурманской области (Россия) // Устойчивость экосистем и проблема сохранения биоразнообразия на Севере. Кировск, 2006. Т. 1. С. 106–109. 12. Костина В.А. Сосудистые растения / В.А. Костина, Т.В. Филимонова // Разнообразие растений, лишайников и цианопрокариот Мурманской области: итоги изучения и перспективы охраны. СПб., 2009. С. 6–25. 13. Королева Н.Е. Вклад Русского Ботанического общества в изучение Кольского края // Материалы конференции научных обществ, посвященной 75-летию КНЦ и Всемирному дню науки за мир и развитие. Апатиты: Изд-во «K&M», 2005. С. 56–60. 14. Королева Н.Е. Растительность // Разнообразие растений, лишайников и цианопрокариот Мурманской области: итоги изучения и перспективы охраны. СПб., 2009. С. 75–90. 15. Королева Н.Е. 100 лет геоботанических исследований в Мурманской области: итоги и перспективы // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 2. С. 42–50. 16. Воронихин Н.Н. Водоросли и их группировки в озерах Имандра и Потозеро (Кольский полуостров) // Тр. Бот. ин-та АН СССР. М.–Л.: Изд. АН СССР, 1935. Сер. II. Вып. 2. С. 107–151. 17. Чернов В.К. Результаты лимнологического обследования озер южной части Мурманской области в связи с поисками диатомитов // Уч. зап. ЛГУ. 1939. Вып. 9, № 30, 162 с. 18. Зинова А.Д. Сравнительная характеристика исследованных озерно-речных систем Монче и Волчьей тундры / А.Д. Зинова, А.А. Нагель // Тр. отдел Ленингр. обл. гидрометеорол. упр. 1935. Т. 1. С. 113–132. 19. Волкова Л.А. Высшая водная растительность озер Кольского полуострова / Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Ч. 2. Гидрохимия и гидробиология. Л.: Наука, 1974. С. 78–119. 20. Кириллова Н.Р. Ресурсная оценка кормовых угодий растительной водоплавающих птиц заповедника «Пасвик» (Мурманская область) по биомассе водных растений // Водное хозяйство России. 2012. №1. С. 92–102. 21. Бреслина И.П. Растения и водоплавающие птицы морских островов Кольской Субарктики. Л.: Наука, 1987. 200 с. 22. Бианки В.В. Годовое потребление энергии и вещества птицами Белого моря / В.В. Бианки, Т.А. Ильина // Орнитология. 1991. Вып. 25. С. 3–14. 23. Бианки В.В. Введение. Питание птиц и его роль в экосистемах моря / В.В. Бианки, Н.С. Бойко, Е.В. Шутова // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. СПб., 1995. Ч. 2. С. 152–179. 24. Бианки В.В. Питание гоголей *Viscerhala clangula* в Кандалакшском заливе / В.В. Бианки, Н.С. Бойко, В.М. Хаитов // Рус. орнитол. журн. Экспресс вып. 2003. № 225. С. 615–629. 25. Баккал С.Н. Некоторые аспекты экологии размножения серощекой поганки *Prodicapt grisegena* на юге Мурманской области / С.Н. Баккал, А.Е. Панарин, Н.Г. Хренова // Русский орнитол. журнал. 2001. Т. 171. С. 3–15. 26. Kirillova N. Primary studies on biomass production of waterplants and ecotopic structure of their populations according to lifeforms for the sustainability of waterfowl in the subarctic wetlands / Wetlands and flyways in the Barents Euro-Arctic region and the Green Belt of Fennoscandia // Abstracts of the international conference. Murmansk, 13–15.09.2011. Murmansk, Pasvik Reserve, 2011. P. 18. 27. Broyer J. The influence of macrophyte beds on ducks breeding on fishponds of the Dombes region, France / J. Broyer, L. Curtet // Wildfowl. 60. 2010. P. 136–149. 28. Marklund O. Effects of waterfowl and fish on submerged vegetation and macroinvertebrates / O. Marklund, H. Sandsten, L.-A. Hansson, I. Blindow // Freshwater Biology. 47. 2002. P. 2049–2059. 29. Interactions between coot (*Fulica atra*) and submerged macrophytes: the role of birds in the restoration process / M.R. Perrow, J.H. Schutten, J.R. Howes, T. Holzer, F.J. Madgwick, A.J.D. Jowitt // Hydrobiologia. Kluwer Academic Publishers. Printed in Belgium. 1997. P. 241–255. 30. Канева Н.Р. Флора и растительность. Изучение водных фитоценозов // Летопись природы заповедника «Пасвик», кн. 11. 2004 год / сост. и отв. ред. Н.В. Поликарпова. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2009. С. 90–93. 31. Папченко В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с. 32. Берлина Н.Г. Сосудистые растения Лапландского заповедника (аннотированный список видов) // Флора и фауна заповедников. М., 1997. Вып. 64. 56 с. 33. ГЭС Хевоскоски на реке Патсойоки. Водохранилище. Сокращенное проектное задание // Архив каскада Пазских ГЭС. Ленинград, 1965. 196 с. 34. Бреслина И.П. Флора и растительность островов Северного архипелага Кандалакшского залива. Кандалакша. 1968. Ч. 2. 152 с. 35. Бреслина И.П. Флора острова Наумихи (Кандалакшский залив, Белое море) // Бот. исслед. за Полярным кругом. Апатиты, 1985. С. 18–23. 36. Бреслина И.П. Флора Средних луд Кандалакшского залива Белого моря // Биол.-флорист. исслед. в связи с охраной природы в заполярье. Апатиты, 1980. С. 132–143. 37. Богданова Н.Е. Флора сосудистых растений острова Великого / Н.Е. Богданова, В.Н. Вехов // Тр. Кандалакшского заповедника. Вып. VII. Бот. исследования. Мурманск: Мурман. книж. изд-во, 1969. С. 126–178. 38. Воробьева Е.Г. Анализ флоры островов Кандалакшского залива // Флора и растительность островов Белого и Баренцева морей. Мурманск, 1996а. С. 89–100. 39. Воробьева Е.Г. Флора островов в вершине Кандалакшского залива // Флора и растительность островов Белого и Баренцева морей. Мурманск, 1996б. С. 57–89. 40. Соколов Д.Д. Новые данные о флорах нескольких островов Кандалакшского заповедника (Мурманская обл.) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1999. Т. 104, вып. 2. С. 43–44. 41. Майоров С.Р. Озерные гидрофиты островов Кандалакшского залива Белого моря / С.Р. Майоров, Т.Е. Крамина, Г.А. Пронькина // Бот. журнал. 1994. Т. 79, № 12. С. 85–90. 42. Хренова Н.Г. Флора островных озер Кандалакшского залива / Н.Г. Хренова, Т.А. Тимофеева // V Всерос. конф. по водным растениям «Гидробиология 2000»: тез. докл. Борок, 2000. С. 226. 43. Хренова Н.Г. Высшая водная растительность озер острова Лодейного Кандалакшского заповедника // Флора и растительность островов Белого и Баренцева морей. Мурманск, 1996. С. 138–161. 44. Хренова Н.Г. Особенности зарастания озер о. Великого и Ковдского полуострова (Кандалакшский залив, Белое море) // V Всерос. конф. по водным растениям «Гидробиология 2000»: тез. докл. Борок, 2000. С. 225–226. 45. Хренова Н.Г. Сучасний стан охорони водойм у

Кандалакшському державному природному заповіднику (Біле море) / *Н.Г. Хренова, А.Е. Панарін* // Матер. XI з'їзду Україн. бот. товариства. Харків, 2001. С. 409. **46.** *Хренова Н.Г.* Обзор флоры и растительности основных типов водоемов в Кандалакшском заповеднике / *Н.Г. Хренова, А.Е. Панарин* // Труды Беломорской биологической станции. Т. VIII. Матер. VI Междунар. конф. 10 августа 2001 г.: сб. ст. М.: Русский ун-т, 2002. С. 211–220. **47.** *Панарин А.Е.* Оценка качества воды в озерах о. Великого и Ковдского п-ова / *А.Е. Панарин, Н.Г. Панарина, М.Н. Кожин* // Рац. использ. прибреж. зоны северных морей. Ч. 1. Комплекс. управл. прибреж. зонами. Роль заповедников в обеспечении устойчивого развития прибреж. зоны северных морей. 18 июля 2002 г., 17 июля 2003 г., Кандалакша: матер. докл. VI–VII Междунар. семинаров. СПб.: Изд. РГТМУ, 2004. С. 94–108. **48.** *Панарина Н.Г.* Растительный покров водоемов и водотоков Кандалакшского государственного природного заповедника (Кандалакшский залив, Белое море) / *Н.Г. Панарина, В.Г. Папченков* // Труды Кандалакшского заповедника. Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2005. Вып. 11. 168 с. **49.** *Norman J.M.* Norges arktiske flora. I. Speciel plantetopografi. Kristiania, 1894. 760 p. **50.** *Norman J.M.* Norges arktiske flora. I. Speciel plantetopografi. Kristiania, 1900. P. 761–1487. **51.** *Parvela A.A.* Petsamon alueen viljelyskasviston historia ja levinneisyys // Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja (Acta agralia fennica). 1931. № 23. P. 33–97. **52.** *Костина В.А.* Флора заповедника Пасвик (сосудистые растения). Апатиты, 1995. 52 с. **53.** Летопись природы заповедника «Пасвик», кн. 1. 1992–1993 и 1993–1994 годы / сост. О.А. Макарова. Мурманск: НИЦ «Пазори», 1997. 108 с. **54.** *Alm T. et. al.* Pasvik naturreservat – et foreløpig overseen. Tromsø: Botanisk avdelning IMV / *T. Alm, K.E. Bräthen, A. Ofen*, I. Floraen // Tromsø museum. 1995. 37 p. **55.** *Костина В.А.* Дополнение к флоре сосудистых растений государственного природного заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Бот. журнал. 1998. Т. 83, № 6. С. 127–132. **56.** *Костина В.А.* Сосудистые растения заповедника Пасвик / Флора и фауна заповедников. Вып. 103. М., 2003. 43 с. **57.** *Канева Н.Р.* Флора и растительность. Новые виды и новые места обитания видов / *Н.Р. Канева, Д.С. Ламзов* // Летопись природы заповедника «Пасвик», кн. 11. 2004 год / сост. и отв. ред. Н.В. Поликарпова. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2009. С. 83–88. **58.** *Канева Н.Р.* Флористические находки в заповеднике Пасвик (Мурманская область) // Бюл. МОИП. Отд. биол. Т. 113, вып. 3. 2008. С. 63. **59.** *Кравченко А.В.* Дополнения и уточнения к флоре сосудистых растений заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Труды Карельского научного центра РАН. Петрозаводск. 2009. № 2. С. 79–83. **60.** *Кравченко А.В.* Новые данные о распространении сосудистых растений в заповеднике «Пасвик» и на смежных территориях Мурманской области // Труды Карельского научного центра РАН. Петрозаводск. 2011. № 2. С. 23–28. **61.** *Кравченко А.В.* Дополнения к флоре заповедника «Пасвик» (Мурманская область) / *А.В. Кравченко, А.Н. Сенников* // Бюл. МОИП. отд. биол. 2009. Т. 114, вып. 6. С. 57–59. **62.** *Рихтер Г.Д.* Работы по исследованию озера Имандра летом 1925 г. // Вестник Карело-Мурманского края. 1926. Вып. 16. С. 1. **63.** *Крепс Г.М.* Краткая характеристика растительного покрова района Большой и Йокостровской Имандры // Работы ММБИ. 1926. Т. 2. С. 1–20. **64.** *Крепс Г.М.* Материалы к растительности ландшафтов оз. Имандра // Работы ММБИ. 1929. Т. 3. С. 1–26. **65.** *Крючков В.В.* Экология водоемов охладителей в условиях заполярья / *В.В. Крючков, Т.И. Моисеенко, В.А. Яковлев.* Апатиты, 1985. 351 с. **66.** *Вельтищев П.А.* Фауна и флора литорали оз. Ловозера в связи с питанием рыб озера // Материалы к изучению вод Кольского полуострова. Апатиты, 1940. С. 338–365. **67.** *Цинзерлинг Ю.Д.* Материалы к характеристике пресноводной растительности северо-востока Кольского полуострова / Ю.Д. Цинзерлинг, Е.Н. Косинская // Труды СОПС АН СССР. 1935. Вып. 10, 164 с. **68.** Флора Мурманской области: в 5 т. Т. 1. (Poaceae) / под ред. Б.Н. Городкова. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1953. 254 с. **69.** Флора Мурманской области: в 5 т. Т. 2. (Syringaceae, Orchidaceae) / под ред. А.И. Поярковой. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1954. 288 с. **70.** Флора Мурманской области: в 5 т. Т. 3. (Ranunculaceae) / под ред. А.И. Поярковой. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1956. 449 с. **71.** Флора Мурманской области: в 5 т. Т. 4. (Diacynaceae) / под ред. А.И. Поярковой. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1959. 393 с. **72.** Флора Мурманской области: в 5 т. Т. 5. (Primulaceae, Asteraceae) / под ред. А.И. Поярковой. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1966. 548 с.

## Сведения об авторе

*Кириллова Наталья Руслановна* – младший научный сотрудник лаборатории популяционной биологии растений; e-mail: knr81@mail.ru

## КООРДИНАЦИЯ УПРАВЛЕНИЙ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**О.В. Фридман, А.Я. Фридман**

Институт информатики и математического моделирования  
технологических процессов КНЦ РАН

### Аннотация

Рассматривается применение нейронных сетей для повышения эффективности управлений и детектирования источников возмущений при использовании градиентного метода координации децентрализованного управления сетевыми структурами на основе предложенных ранее необходимых и достаточных условий координируемости локально организованной иерархии динамических систем.

### Ключевые слова:

*координация, управление, нейронные сети.*



При моделировании сложных динамических систем, таких как региональный промышленно-природный комплекс, невозможен учет достаточно большого числа реальных факторов, поскольку это приводит к чрезмерному усложнению модели. Поэтому в модель приходится вводить лишь ограниченное число таких факторов, которые по тем или иным соображениям считаются наиболее существенными.

При этом возможны два подхода. Не учтенные в описании модели факторы можно считать абсолютно несущественными и полностью их игнорировать при принятии решений с использованием этой модели, или можно явно не вводить «несущественные факторы» в математическую модель, но учитывать их влияние, допустив, что отклик модели на то или иное воздействие (выбор альтернативы) может быть известен лишь приближенно или нечетко.

В работах [1, 2] представлена реализация второго подхода путем исследования чувствительности результатов многокритериальной оптимизации поведения объекта моделирования к изменениям исходных данных и внутренних характеристик системы с использованием средств имитационного моделирования.

Имитационные модели не только по свойствам, но и по структуре соответствуют моделируемому объекту, поскольку имеется однозначное и явное соответствие между процессами, получаемыми на модели, и процессами, протекающими на объекте.

Основным преимуществом имитационных моделей по сравнению с аналитическими является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели учитывают наличие дискретных или непрерывных элементов, нелинейные характеристики, случайные воздействия и др. Поэтому имитационное моделирование широко применяется на этапе проектирования сложных систем.

Имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени, имеется возможность управлять временем в модели: замедлять в случае быстропротекающих процессов и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью. Кроме того, имеются средства для имитации поведения объектов, реальные эксперименты с которыми дороги, невозможны или опасны.

Настоящая работа продолжает исследования, представленные в [3]. Компьютерный эксперимент проводился с помощью системы визуального блочного математического моделирования VisSim. По методике, разработанной для иерархической управляемой системы [2], проведено моделирование децентрализованной системы управления сетью объектов [4–8]. Моделирование проводилось в несколько этапов:

- проанализирована устойчивость исследуемой системы к внешним возмущениям;

- определены диапазоны устойчивости системы к малым внутренним возмущениям, реализованным путем добавления обратных связей между выходами и входами узлов сети (в направлении от общего выхода системы к общему входу);

- определены диапазоны устойчивости системы при поочередном подключении управления на каждый узел сети. Управления задавались пропорционально градиенту обобщенного критерия [1], значения градиента критерия подавались в качестве управления по одному на вход каждого из возбуждаемых узлов сети;

- исследовалось поведение системы при одновременном подключении всех управляющих элементов, возбуждение подавалось только на один узел сети, определены диапазоны устойчивости для такой ситуации.

Следующим шагом эксперимента было подключение координатора, построенного аналогично иерархической системе. Исследовано подключение блока координации только на возбуждаемый узел и полное подключение координатора (на все узлы сети) с одиночным подключением управления (на возбуждаемый узел сети) и полным подключением управления (на все узлы сети). Полученные результаты представлены в работах [4–8].

Градиентные методы сравнительно просты в реализации, но в общем случае применимы только к системам, где неопределенность порождается случайными событиями и процессами (иногда для их описания применяют термин "игры с природой"). Проблема состоит в том, что в реальных системах сложно априорно определить, имеется ли сознательное противодействие сигналам координатора. На описанных выше этапах моделирования возмущение на отдельные узлы исследуемых систем подавалось «вручную», в каждый момент времени было известно, какой именно узел модели подвергается внешнему (или внутреннему, структурному) воздействию. В реальных системах эта информация отсутствует, что требует реакции всех подсистем на возмущения, порожденные только одной из них. Поэтому далее был разработан метод поиска «возмущенного» узла моделируемой системы [9, 10]. Для решения этой задачи в качестве «поискового» блока предложено использовать нейронную сеть. На рис. 1 представлена упрощенная схема исследуемой системы.

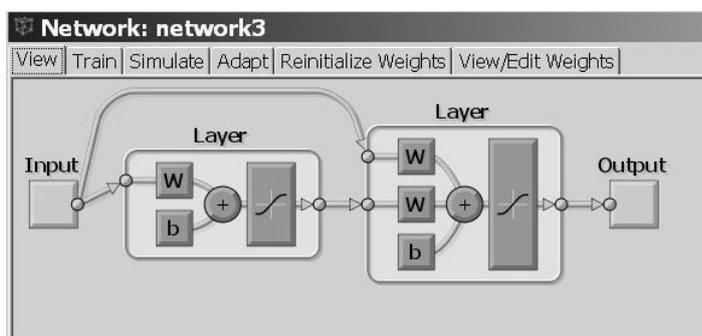


Рис. 2. Структура однонаправленной сети

слое – 1 нейрон. На рис. 2 представлена структура использованной нейронной сети.

Для обучения и тестирования сети использовались результаты предыдущих этапов моделирования. Обученная сеть должна определять «возмущенный» узел системы.

В настоящее время исследована распознавательная способность сети при подаче внешнего возмущения на каждый узел моделируемой системы на разных временах моделирования. Оказалось, что по величине диапазонов устойчивости обратные связи между узлами сети можно условно разбить на "сильные", возмущение которых значительно изменяет реакцию системы, и "слабые". "Сильные" связи замыкаются в основном на три первых узла сети. Как показали исследования, на внешнее возбуждение реагируют только «сильные» узлы системы. Обучение проводилось в условиях 10%-го внешнего возмущения. Диапазон внешних возмущений: 1 – 1000%. Времена моделирования: 0.5% – 100%. После обучения сеть однозначно распознает узел, на который подано внешнее возмущение с амплитудой, как большей, так и меньшей, чем в обучающей выборке во всем диапазоне времен моделирования.

Моделировались нейронные сети различной структуры, такие как линейный слой, однонаправленная сеть, каскадная направленная сеть, перцептрон, самоорганизующаяся карта. Наилучшее распознавание дает однонаправленная сеть. Структура сети предельно упрощена: сеть состоит из двух слоев, в первом слое 9 нейронов, каждый из которых соответствует узлу моделируемой системы, во втором

Кроме того, исследовались ситуации, когда возмущение разной амплитуды подавалось на несколько узлов моделируемой системы. Сеть определяет все возмущенные узлы при начале распознавания на интервале от 0.5% до 100% от времени моделирования, но для оценки степени их возмущения требуется дообучение сети.

Исследования по применению нейронных сетей в качестве «поискового» блока проводились для статической ситуации, когда реакция системы на возмущение стабилизировалась. Для изучения реакции системы на возмущение в динамике протестирована распознающая способность нейронных сетей, которые могут быть построены в среде VisSim. Моделировались нейронные сети различной структуры. Наиболее подходящей признана сеть Кохонена, на базе которой смоделирован нейросетевой блок. На рис. 3 приведена структура базовой сети, которая использовалась для построения нейросетевого блока.

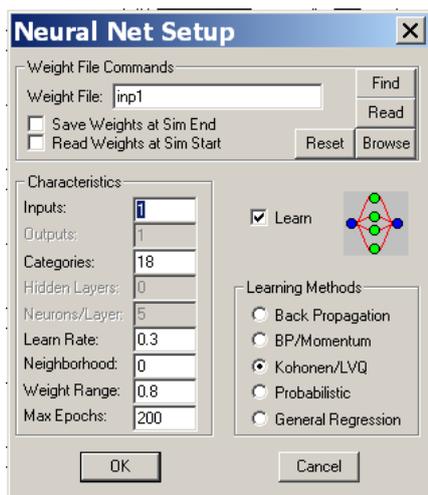


Рис. 3. Структура базовой сети нейросетевого блока

координатору для компенсации воздействия на возбужденный узел. В табл. 1 приведены результаты сравнения компенсирующего воздействия координатора без информации нейроблока и с его использованием.

Нейросетевой блок представляет собой 9 сетей Кохонена, каждая из которых получает сигнал с соответствующих блоков моделируемой системы. Обучение производится на идеальном сигнале, каждая сеть учится распознавать возмущение на соответствующем узле системы. Аналогично статическому случаю были проведены исследования по определению возбужденных узлов моделируемой системы. Нейроблок определяет номера узлов, на которые подается одиночное внешнее возмущение в диапазоне возмущений 3–100% от тестового возмущения (на котором обучалась сеть) в диапазоне времен моделирования 10–100%.

Следующим этапом работы является полное подключение управления и координации (на все узлы моделируемой системы) при использовании нейросетевого блока для получения информации о локализации возмущения в системе. Эта информация подается на вход

Таблица 1

Значения установившейся погрешности при возбуждении одиночных узлов системы

Способ подключения	Уровень возбуждения	Номер возбуждаемого узла		
		1-й узел	2-й узел	3-й узел
Координация	20%	-24.87	2.68	-24.6
Координация+сеть		-20.01	1.98	-19.9
Координация	10%	-12.43	1.2	-24.7
Координация+сеть		-10.04	0.99	-9.94
Координация	7%	-8.7	0.69	-8.6
Координация+сеть		-7.03	0.59	-6.95
Координация	5%	-6.21	0.52	-6.14
Координация+сеть		-5.01	0.42	-4.97

Проведены исследования по оценке эффективности работы нейроблока в случае внешнего возбуждения, подаваемого на несколько узлов сети. В таблицах 2, 3 приведены результаты этих исследований.

Исследования показали, что эффективность работы нейроблока с ростом числа возбуждаемых блоков падает как с точки зрения уменьшения установившейся погрешности, так и времени компенсации для возбуждаемых блоков.

Проведены исследования по реакции «невозбуждаемых» узлов в случае внешнего возбуждения. Например, при подаче возбуждения на первый узел на седьмом (невозбуждаемом) узле возникает реакция. Подключение нейроблока примерно вдвое сокращает время, необходимое для компенсации этой реакции и снижает установившуюся погрешность, т.е. уменьшается возбуждение узла.

Таблица 2

Значения установившейся погрешности при возбуждении узлов системы попарно

Способ подключения	Уровень возбуждения	Номера возбуждаемых узлов		
		1-й и 2-й узлы	1-й и 3-й узлы	2-й и 3-й узлы
Координация	5%	-5.59	-12.36	-5.52
Координация+сеть		-4.53	-10.07	-4.57

Таблица 3

Установившиеся погрешности при одновременном возбуждении трех первых узлов системы

Способ подключения	Установившаяся погрешность и время компенсации					
	Уровень возбуждения					
	5 %		10%		20%	
Координация	-11.74	20 с	-23.5	20 с	-46.96	20 с
Координация+сеть	-9.23	10 с	-19.8	15 с	-39.6	20 с

Таблица 4

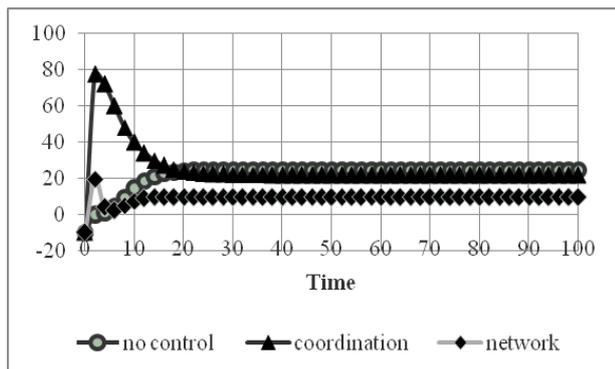
Диапазоны устойчивости при подаче малых структурных возбуждений на узлы системы

"Сильные" связи		"Слабые" связи	
Подключение	Диапазон устойчивости	Подключение	Диапазон устойчивости
Связь 3-1		Связь 5-4	
С полн. упр. и коорд.	0.00005 ÷ -0.00005	С полн. упр. и коорд.	0.35 ÷ -0.24
С выборочной координацией	0.000052 ÷ -0.00005	С выборочной координацией	0.39 ÷ -0.25
Связь 4-3		Связь 9-8	
С полн. упр. и коорд.	0.000005 ÷ -0.000005	С полн. упр. и коорд.	0.1 ÷ -0.1
С выборочной координацией	0.000007 ÷ -0.000007	С выборочной координацией	0.15 ÷ -0.15
Связь 9-1		Связь 8-4	
С полн. упр. и коорд.	0.0000005 ÷ -0.0000005	С полн. упр. и коорд.	0.01 ÷ -0.06
С выборочной координацией	0.0000006 ÷ -0.0000006	С выборочной координацией	0.01 ÷ -0.06
Связь 7-1		Связь 8-2	
С полн. упр. и коорд.	0.0000005 ÷ -0.0000005	С полн. упр. и коорд.	0.002 ÷ -0.002
С выборочной координацией	0.0000006 ÷ -0.0000006	С выборочной координацией	0.0025 ÷ -0.0023

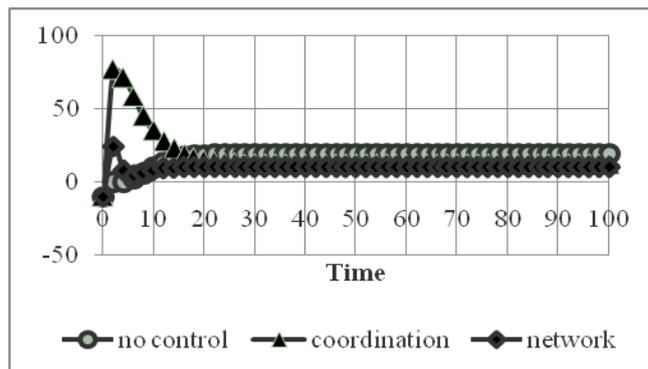
При моделировании структурных возмущений, как и при внешнем воздействии, подключение нейроблока выявило возбуждение не только на узле, на который подается структурное возмущение, но и на других узлах сети. Выборочная координация (в соответствии с

информацией поискового блока о возбужденных узлах сети) позволяет несколько расширить диапазоны устойчивости моделируемой системы, что в реальной системе приведет к существенной экономии ресурсов, т.к. координирующие воздействия нужно подавать не на все узлы сети. Результаты эксперимента приведены в табл. 4. "Сильными" называются связи, возмущение которых значительно изменяет реакцию системы. «Связь 3-1», например, означает, что обратная связь замыкается с выхода третьего узла на вход первого.

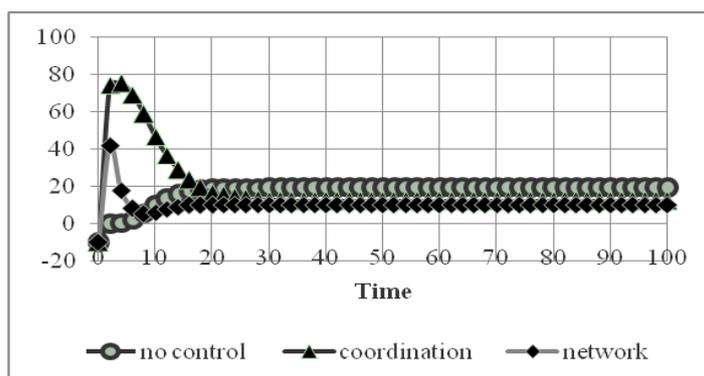
На рис. 4–6 приведены графики реакции моделируемой системы при возбуждении ее узлов без компенсации, при подключении блоков координации и управления и при подключении нейросетевого блока. Из анализа графиков следует, что подключение нейроблока примерно вдвое сокращает время компенсации воздействия и снижает значение установившейся погрешности как на возбуждаемых узлах, так и на невозбуждаемых узлах и для всей системы в целом.



*Рис. 4. Установившаяся погрешность при возбуждении на первом узле, связь 9-1, реакция на возбужденном узле:*  
 а) без управления и координации (установившаяся погрешность – 24.6%)  
 б) с полной координацией (установившаяся погрешность – 21.9%)  
 в) с полной координацией и нейросетевым блоком (установившаяся погрешность – 9.6%)



*Рис. 5. Установившаяся погрешность при возбуждении на первом узле, реакция на невозбужденном третьем узле:*  
 а) без управления и координации (установившаяся погрешность – 19.51%);  
 б) с полной координацией (установившаяся погрешность – 12.13%);  
 в) с полной координацией и нейросетевым блоком (установившаяся погрешность – 10.2%)



*Рис. 6. Установившаяся погрешность при возбуждении на первом узле, реакция системы:*  
 а) без управления и координации (установившаяся погрешность – 19.51%);  
 б) с полной координацией (установившаяся погрешность – 12.13%);  
 в) с полной координацией и нейросетевым блоком (установившаяся погрешность – 9.57%)

## Выводы

1. Использование предложенного градиентного метода координации для исследованных объектов управления позволяет:

- повысить устойчивость системы к внешним возмущениям и свести к минимуму взаимное влияние узлов сети, если локальные управляющие элементы намеренно не искажают информацию, передаваемую на уровень координатора;
- расширить диапазон устойчивости системы к структурным возмущениям более чем в два раза.

2. Однонаправленная сеть, используемая в качестве поискового блока для поиска «возмущенного» узла моделируемой системы в статическом режиме, показала хорошую распознавательную способность при подаче внешнего возмущения на каждый узел моделируемой системы в диапазоне воздействий от 1 до 1000% на времена моделирования от 0.5 до 100%.

3. В динамическом режиме проведены исследования по определению возбужденных узлов моделируемой системы. Нейроблок определяет номера узлов, на которые подается одиночное внешнее возмущение в диапазоне возмущений 3–100% от тестового возмущения (на котором обучалась сеть) в диапазоне времен моделирования 10–100%.

4. Подключение нейроблока приводит к уменьшению установившейся погрешности по сравнению с полной координацией при подаче внешнего возмущения как на одиночный узел, так и на несколько узлов.

5. При подаче внешнего возмущения на несколько узлов сеть выявила реакцию на возмущение не только на возмущаемых узлах, но и на связанных с ними.

6. Для невозбуждаемых узлов при подключении нейроблока время компенсации воздействия примерно вдвое сокращается, а возбуждение уменьшается.

7. При моделировании структурных возмущений, так же как и при внешнем воздействии, подключение нейроблока выявило возбуждение не только на узле, на который подается структурное возмущение, но и на других узлах сети. Выборочная координация (в соответствии с информацией поискового блока о возбужденных узлах сети) позволяет расширить диапазоны устойчивости моделируемой системы, сократить время компенсации воздействия в два раза, снизить значение установившейся погрешности.

8. Эффективность работы нейроблока с ростом числа возмущаемых узлов падает, как с точки зрения уменьшения установившейся погрешности, так и времени компенсации для возбуждаемых узлов.

Исследования проводились при поддержке РФФИ

(проекты 13-07-00318-а, 12-07-00689-а, 12-07-000550-а, 12-07-00302-а, 11-08-00641-а),  
Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 16), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей  
Программы фундаментальных научных исследований).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фридман, А.Я. Условия координируемости двухуровневого коллектива динамических интеллектуальных систем // Одиннадцатая национальная конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008, г. Дубна, 28 сентября – 3 октября 2008 г., Россия: тр. конф. М.: ЛЕНАНД, 2008. Т. 1. С. 25–31.
2. Фридман А.Я. Устойчивость и чувствительность решений задачи координации иерархической многоцелевой системы / А.Я. Фридман, О.В. Фридман // VIII Всероссийская школа-семинар «Прикладные проблемы управления макросистемами», г. Апатиты, 29 марта – 2 апреля 2010 г. / Труды Института системного анализа РАН / Под ред. Ю.С. Попкова, В.А. Путилова. М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. Т. 59. С. 240–252.
3. Фридман О.В., Фридман А.Я. Модели и методы координации решений по управлению региональным промышленно-природным комплексом // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 2. С. 65–78.
4. Фридман А.Я. Ситуационное моделирование иерархической многоцелевой системы / А.Я. Фридман, О.В. Фридман // Тр. всерос. конф. "XXXV Дальневосточная математическая школа-семинар имени акад. Е.В. Золотова", г. Владивосток, 31 августа – 5 сентября 2010 г. С. 892–898.
5. Фридман А.Я. Градиентный метод координации управлений иерархическими и сетевыми структурами / А.Я. Фридман, О.В. Фридман // Информационно-управляющие системы. 2010. № 6. С. 13–20.
6. Фридман А.Я. Координация иерархических организационных систем: игровой и градиентный подходы / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, В.А. Зеленцов // Проблемы теории и практики управления. 2011. № 6. С. 14–22.
7. Fridman A. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems / A. Fridman, O. Fridman // Systems Research Forum. 2010. Vol. 4, № 2. P. 121–136.
8. Fridman A. Incremental Coordination in Collaborative Networks / A. Fridman, O. Fridman // Proceedings of International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control

Systems (ICUMT-2010), October 18-20, 2010, Moscow, Russia [Электронный ресурс] (CD-ROM). Paper № 1569337294. **9.** Fridman A. Combining Neural Networks and Incremental Techniques for Coordination in System of Systems / Alexander Fridman, Olga Fridman.// Cybernetics and Systems 2012: Proceedings of Twentieth European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2012), 2012, Vienna, Austria. P. 203–207. **10.** Фридман О.В. Применение нейронных сетей для детектирования источника возмущений в сетевых структурах / О.В. Фридман, А.Я. Фридман // IX Всероссийская школа-семинар "Прикладные проблемы управления макросистемами", г. Апатиты, 26–30 марта 2012 г. Материалы докладов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. С. 72–73.

#### **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, зав. лаб.; e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru

**УДК 004.89, 004.9**

### **УПРАВЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПРИ КОНЦЕПТУАЛЬНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: КОНТЕКСТНЫЙ ПОДХОД**

**А.А. Зуенко, А.Я. Фридман**

Институт информатики и математического моделирования  
технологических процессов КНЦ РАН

#### **Аннотация**

Предлагается интеллектуальная технология моделирования сложных организационно-технических систем, использующая контекстно-ориентированный подход к управлению ограничениями, которые характеризуют объект исследования. Технология позволяет решать с единых позиций задачи стратегического планирования, оперативного управления, а также автоматизации контроля корректности процесса моделирования.

#### **Ключевые слова:**

*концептуальное моделирование организационно-технических систем, контекстно-ориентированный подход, интеллектуальные базы данных.*



#### **Введение**

Вопрос обоснованного выбора в пользу того или иного управленческого решения (альтернативы) актуален в различных организационно-технических системах (промышленных предприятиях, группах предприятий и т.д.). К выбору следует подходить особенно ответственно, если он может повлечь необратимые изменения самой системы и/или окружающей среды (экономические, экологические катастрофы и т.п.). Поэтому целесообразно

автоматизировать процедуры поддержки принятия управленческих решений.

Принципиальная неполнота знаний о сложных системах как объектах исследования существенно ограничивает применимость классических аналитических моделей и требует использования интеллектуальных технологий и методов имитационного моделирования.

Ситуация усложняется, если объект характеризуется структурной динамикой, в частности, допускается взаимозаменяемость отдельных подобъектов. Структурная динамика может быть обусловлена как внутренними, так и внешними возмущающими воздействиями, при этом ставится задача обеспечения устойчивого функционирования (минимальной деградации) системы под действием возмущений различной природы.

Современные системы моделирования, как правило, ориентированы на пользователя-непрограммиста, который может выступать в роли аналитика предметной области, определяющего структуру и состав модели предметной области, а также в роли конечного

пользователя, проводящего моделирование и оценивающего результаты. С целью исключения ошибок, обусловленных человеческим фактором, целесообразно возложить контроль корректности процесса моделирования на саму систему моделирования.

В статье рассматриваются системы концептуального имитационного моделирования сложных организационно-технических объектов, ориентированные на комплексное решение обозначенных проблем. В основе технологии лежит иерархическая концептуальная модель (ИКМ) пространственных динамических объектов (в частности, промышленно-природных комплексов (ППК), предназначенная для декларативного задания и обработки различных альтернатив управленческих решений. Особенностью ИКМ ППК является ориентация на максимальное применение современных геоинформационных технологий и экспертных знаний, что позволяет успешно моделировать пространственно-распределенные объекты.

При наличии подобной модели самостоятельную проблему составляет автоматизация контроля корректности процесса моделирования с учетом контекстных ограничений (например, на доступные ресурсы, их значения, на структуру модели, временные ограничения, экологические требования и т.п.), которые характеризуют предметную область, выбранные управленческие альтернативы, текущий шаг имитации и т.д.

Кроме того, управление сложными организационно-техническими объектами связано с анализом большого объема информации о значениях параметров этих объектов и требует использования интеллектуальных методов снижения трудоемкости такого анализа.

В статье представлен контекстно-ориентированный подход к управлению ограничениями в системах на основе ИКМ. Применение подхода позволяет оперативно активировать требуемые в текущий момент ограничения и, соответственно, значительно сократить перебор при анализе параметров ИКМ, а также дает возможность организовать контроль корректности всего процесса моделирования в рамках парадигмы “программирование в ограничениях”.

### **Концептуальное моделирование сложных объектов**

Тематике концептуального моделирования объектов различной природы посвящено много публикаций (см., например, [1–3]). Системы концептуального моделирования изначально использовались для проектирования программных комплексов, затем область их применения пополнилась исследованиями организационно-технических объектов, в частности природно-промышленных комплексов и социально-экономических систем. Основная цель создания подобных программных систем состоит в автоматизации всех этапов работы с ИКМ. ИКМ представляет собой обобщенную вычислительную модель. Кратко поясним отличие ИКМ от простых вычислительных моделей.

*Простая вычислительная модель* [3] определяется как совокупность переменных и частичных отношений между ними. Для представления отношений используются функциональные отображения (операторы).

Простые вычислительные модели позволяют эффективно синтезировать вычислительные процессы на основе заданных отношений лишь для простых ациклических последовательностей обработки.

Для синтеза более сложных вычислений используются *расширенные вычислительные модели*, содержащие дополнительные механизмы управления (операторы цикла, условного перехода и т.п.). К числу современных вариантов реализации таких моделей можно отнести модели PowerSim.

При построении информационных моделей сложных объектов эффективно использование различных приемов декомпозиции (см., например, [4, 5]), с помощью которых задача моделирования сводится к совокупности более простых для формализации и решения подзадач. Одним из самых существенных недостатков простых вычислительных моделей и их расширений является то, что они описывают только способы преобразования данных и не позволяют производить структурную декомпозицию данных и процессов их обработки, поэтапно уточняя процесс преобразований. Далее рассмотрим обобщенные вычислительные модели (ОВМ) [6], а именно ИКМ, как средство преодоления этого недостатка.

ОВМ представляют собой надстройку над простой или расширенной вычислительной сетью в том смысле, что на множествах процессов (функций) и потоков данных (переменных)

дополнительно устанавливаются иерархические отношения “часть-целое”. Это дает возможность, с одной стороны, поэтапно уточнять описание предметной области, а с другой стороны, – автоматически контролировать согласованность описаний исследуемого процесса на различных уровнях декомпозиции, анализируя различного рода структурные ограничения. На уровне интерпретации ОВМ обычно представляется двудольным ориентированным графом (ОВМ-сетью), в котором выделены два типа вершин: объекты (данные) и функции (процессы обработки данных). Дуги связывают объектные и функциональные вершины. Входящие в вершину-функцию дуги соотносят с ней объекты, которые выступают в качестве входных аргументов для функции, исходящие – указывают на объекты, в которые должна производиться запись вырабатываемых функцией результатов. Каждой объектной вершине сопоставляются тип и значение. С каждой функциональной вершиной связаны целое число, играющее роль приоритета, и тип.

В рамках систем концептуального моделирования на основе типизации элементов ИКМ исследуемого процесса разработаны процедуры проверки ее корректности (полнота, связность, разрешимость и т.д.). В результате, у пользователя имеется возможность оперативно (по мере уточнения знаний) вносить изменения в ИКМ или создавать модели различных объектов, а затем автоматически проверять их корректность.

Однако в существовавших ранее системах концептуального моделирования все проверки корректности модели были жестко “зашиты” в специализированных программных процедурах, поэтому возникало несоответствие между “открытым” декларативным представлением ИКМ, допускающим оперативную модификацию ее структуры и подключение новых элементов из вычислительной среды, и процедурным вводом ограничений в систему. В частности, при переходе от одной предметной области к другой отсутствовала возможность “наращивать” набор ограничений для проверки корректности модели. Другими словами, основным недостатком рассматриваемого класса программных систем – “жесткая фиксация” ограничений в коде программы.

Особенно остро этот недостаток систем концептуального моделирования стал ощущаться при переходе от задач синтеза компьютерных программ к задачам моделирования сложных организационно-технических систем, характеризующихся структурной динамикой, где появилась необходимость контроля корректности процесса имитации и выработки координирующих управляющих воздействий при детектировании возмущений.

Далее кратко описывается подход к управлению ограничениями, который позволил преодолеть эти трудности. Реализация подхода проиллюстрирована на примере системы ситуационного концептуального моделирования (ССКМ) ППК.

### **Контекстный подход к управлению ограничениями**

Понятие “контекст” используется в лингвистике, теории перевода, системном программном обеспечении (контекст задачи/процесса, контекст запроса), при изучении формальных языков и грамматик (контекстно-свободные и контекстно-зависимые языки), а также при разработке систем поддержки принятия решений (см., например, [7]).

В рамках информационных технологий контекст определяется как информация, конкретизирующая описание ситуации, в которой находится в данный момент исследуемый объект. В общем случае контекст используется для определения, какая информация релевантна той или иной ситуации (для той или иной задачи). Учитывая направленность на интеллектуализацию технологий, контекст включает в себя не только информацию, но и знания, релевантные текущей задаче.

В ССКМ постановка задачи моделирования происходит поэтапно и начинается с описания исследуемой модели и интересующей ситуации с помощью концептов, принятых в системе моделирования. На уровне интерпретации *ситуация* – это фрагмент дерева ИКМ, дополненный значениями переменных модели. *Исходной ситуацией* называется конечный список фактов, вводимый пользователем при постановке задачи моделирования. На основе анализа исходной ситуации встроенная в ССКМ экспертная система (задавая при необходимости дополнительные вопросы пользователю) доопределяет исходную ситуацию до *полной ситуации*, которой соответствует связный фрагмент модели, возможно, включающий некоторые альтернативы.

*Достаточная ситуация* получается из соответствующей ей полной ситуации путем выбора альтернатив, предпочтительных по результатам классификации ситуаций. Достаточные ситуации должны быть предварительно классифицированы по структурам реализации исследуемой системы и упорядочены внутри каждого класса по критерию доминирования вклада одного из скалярных критериев качества объекта, на котором находится лицо, принимающее решение (ЛПР), в обобщенный критерий качества этого объекта.

Контекстно-ориентированный подход к управлению ограничениями в ССКМ основывается на следующей классификации ограничений: 1) ограничения, которые описывают конструкции, допустимые в системе моделирования – *ограничения системы моделирования*; 2) ограничения, характерные для элементов (типов элементов) модели, которые используются в исследуемой предметной области – *ограничения предметной области*; 3) ограничения, присущие элементам (типам элементов), которые входят в данный фрагмент модели (ситуацию) – *ограничения фрагмента модели*; 4) ограничения на значения переменных, формируемые в процессе имитации в рамках заранее выбранного фрагмента модели – *ограничения этапа имитации*.

Программно контекстно-ориентированное управление ограничениями осуществляется на уровне семантического интерфейса реляционных баз данных (БД) ССКМ. Разработанный семантический интерфейс реляционной БД обеспечивает возможность декларативного ввода в систему ограничений, контролирует корректность взаимодействия блоков модели, обеспечивая возможность отслеживать действия блоков модели над общими данными на основе анализа гибко модифицируемых и оперативно подгружаемых предметно-ориентированных ограничений. Применение реляционных баз данных обусловливается необходимостью сопровождать открытую модель предметной области и обеспечивать точность реализации запросов, как в фактографических информационных системах. Эти аспекты работы подробно освещены в [8].

Перечислим некоторые достоинства контекстно-ориентированного управления ограничениями в системах концептуального моделирования:

- возможность активировать только те контекстные ограничения, которые актуальны для исследуемой в текущий момент модели предметной области. Это позволяет гибко перенастраивать и оперативно анализировать как ограничения, общие для всего класса допустимых моделей, так и специфичные для конкретной предметной области (фрагмента модели, шага имитации), способствуя уменьшению трудоемкости задач, решаемых в рамках предлагаемого подхода;

- на основе анализа контекстов на этапе построения модели обеспечивается более детальный контроль корректности ее структуры, состава и правильности подключения расчетных модулей;

- на этапе имитации путем сопоставления незапланированных запросов и контекстных ограничений отслеживаются некорректные обращения к БД системы моделирования.

Трансляция контекстных ограничений в запросы к БД системы моделирования обеспечивает возможность контролировать корректность данных моделирования путем оценки результатов запросов. Реляционная БД системы моделирования – это конечное множество *таблиц*. Таблица состоит из схемы и конкретных данных, где схема – конечный набор *атрибутов*, причем каждому атрибуту соответствует множество значений, называемое *доменом*. Задача оценки запроса (точнее, конъюнктивного запроса) над БД соответствует конкретному примеру задачи удовлетворения ограничений [9], что достигается простой заменой терминов: “атрибуты” заменяются на “переменные”, “таблицы” и “запросы” – на “ограничения”, “домены” – на “области возможных значений переменных”.

С целью ускорения исполнения запросов к БД происходит их предварительное преобразование, обеспечивающее сужение области поиска за счет анализа внутренней структуры запроса. Такой анализ также сводится к решению задачи удовлетворения ограничений.

Применение контекстно-ориентированного подхода к обработке ограничений позволило объединить преимущества таких направлений, как ситуационное концептуальное моделирование и программирование в ограничениях (*constraints programming*), а также реализовать эти преимущества при автоматизации контроля корректности процесса моделирования.

Далее более подробно обсудим особенности интеллектуальной технологии моделирования сложных нестационарных объектов с иерархической структурой, которая основана на

применении методов контекстно-ориентированного управления ограничениями в ситуационном концептуальном моделировании организационно-технических систем. Технология ориентирована на решение с единых позиций задач стратегического планирования, оперативного управления, а также автоматизации контроля корректности процесса моделирования.

### **Интеллектуальная технология моделирования сложных организационно-технических объектов**

Основные отличия методов контекстно-ориентированного управления при решении задач поддержки принятия решений в ССКМ от проблематики работ [1, 7] таковы:

■ в ходе классификации ситуаций необходимо подтвердить или опровергнуть гипотезу о соответствии поведения моделируемой системы и ее текущей модели. Если выявлено несоответствие, то необходимо принять решение о выборе новой текущей модели из заданного набора моделей, отображающих различные возможные варианты изменения структуры моделируемой системы. Изменения могут быть вызваны как штатными, так и нештатными воздействиями на систему, в последнем случае требуется дополнительно определить меры по минимизации ущерба, что может быть реализовано на основе известных методов [2];

■ после выбора текущей модели требуется выявить предпочтения ЛПР по тенденции будущего поведения системы и предложить ему вариант(ы) изменения существующей структуры системы, в максимальной степени реализующие эти предпочтения, а также при необходимости провести имитацию предложенных вариантов.

Другими словами, система моделирования должна обладать средствами оперативной (в процессе имитации) реконфигурации структуры модели для обеспечения ее катастрофоустойчивости [6].

Процедура инкрементного ситуационного моделирования с применением представленного контекстного подхода состоит из перечисленных ниже этапов [2].

1. *Мониторинг ситуации* на моделируемой системе по обобщенному критерию качества [2] объекта, на котором находится ЛПР.

2. *Детектирование изменений* с учетом контекстных ограничений в целях выявления подобъекта, являющего первопричиной проблемы.

3. *Классификация ситуации* на проблемном объекте.

4. *Выявление класса желательных ситуаций* на этом объекте с точки зрения ЛПР.

5. *Анализ чувствительности* с целью поиска точек воздействия.

6. *Выработка управляющих решений* (с учетом контекстов).

7. *Корректировка контекстов* для поддержания их релевантности по отношению к текущей ситуации.

При невозможности выбора единственной структуры на этапе выработки управляющих решений, имеющиеся альтернативы могут исследоваться в имитационном режиме согласно сценариям, представляющим собой последовательность достаточных ситуаций и определяющим конкретный вариант расчета.

Описанные этапы моделирования обеспечивают решение задач стратегического и оперативного планирования. При стратегическом планировании в данном случае вырабатывается последовательность переключений между альтернативными вариантами структуры исследуемого объекта в зависимости от складывающейся на данном объекте обстановки. Задача же оперативного управления сводится к формированию управляющих воздействий внутри выбранной структуры при возникновении возмущений.

В настоящее время для решения задач стратегического планирования в рамках ССКМ предпринимаются попытки интеграции предложенной технологии ситуационного управления и технологии управления структурной динамикой полимодельных комплексов, описанной в [6].

Для детектирования возмущающих воздействий (возмущенного узла системы) при решении задачи оперативного управления применяются нейросетевые технологии и разработан градиентный метод координации децентрализованного управления иерархическими и сетевыми структурами [10]. Применение контекстно-ориентированного подхода при решении этой задачи обусловлено необходимостью учитывать нелинейность исследуемых объектов, ввиду чего координирующие воздействия для группы возмущенных узлов не равны сумме координирующих воздействий, подаваемых на отдельные узлы системы, а зависят от окружения этих узлов.

Представленная интеллектуальная технология позволяет производить поиск аналогий при не полностью определенных ситуациях, исследовать вопросы координации управления с учетом организационной структуры объекта, автоматизировать генерацию моделей для решения новых задач управления объектом на основе частных моделей, созданных экспертами для составных частей объекта.

## **Заключение**

Совместное использование контекстно-ориентированного подхода, представленного в настоящей работе и реализующего концепцию программирования в ограничениях (constraints programming), а также методов концептуального моделирования сложных объектов, дало возможность значительно повысить эффективность и оперативность принятия решений по управлению гибкими дискретными системами в условиях меняющейся обстановки и, в конечном счете, обеспечить их катастрофоустойчивость. Оперативный анализ контекстов позволил унифицировать контроль ошибок при описании пользователем структуры иерархической модели, подключении расчетных модулей, некорректном обращении к данным, а также упростить детектирование возмущений и сократить перебор в ходе моделирования.

Исследования проводились при поддержке РФФИ

(проекты №№ 13-07-00318-а, 12-07-00689-а, 12-07-000550-а, 12-07-00302-а, 11-08-00641-а), Президиума РАН (проект 4.3 Программы № 15), ОНИТ РАН (проект 2.3 в рамках текущей Программы фундаментальных научных исследований).

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Бржезовский А.В.* Синтез моделей вычислительного эксперимента / А.В. Бржезовский и др. СПб.: Наука, 1992. 231 с. 2. *Фридман, А.Я.* Ситуационное моделирование природно-технических комплексов / А.Я. Фридман, О.В. Фридман, А.А. Зуенко. СПб.: Изд. Политехнического ун-та, 2010. 436 с. 3. Тыгу Э.Х. Концептуальное программирование. М.: Наука, 1984. 255 с. 4. Бусленко Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. М.: Сов. радио, 1993. 439 с. 5. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такаха. М.: Мир, 1993. 344 с. 6. Охтилев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. М.: Наука, 2006. 410 с. 7. Smirnov A. Context-Driven Decision Support for Megadisaster Relief / A. Smirnov, T. Levashova, N. Shilov // Journal of Emergency Management. Prime National Publishing Corporation, September / October, 2006. Vol. 4–5. P. 51–56. 8. Зуенко А.А. Контекстный подход в системах сопровождения открытых моделей предметной области / А.А. Зуенко, А.Я. Фридман // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 3. С. 41–51. 9. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. 1408 с. 10. Фридман А. Координация иерархических организационных систем: игровой и градиентный подходы / А. Фридман, О. Фридман, В. Зеленцов // Проблемы теории и практики управления. 2011. № 6. С. 14–22.

## **Сведения об авторах**

*Зуенко Александр Анатольевич* – к.т.н., н.с.; e-mail: zuenko@iimm.kolasc.net.ru

*Фридман Александр Яковлевич* – д.т.н., профессор, зав. лаб.; e-mail: fridman@iimm.kolasc.net.ru

**19 марта 2013 г.**

Указом Президента Российской Федерации № 247 от 19 марта 2013 года

- за заслуги в развитии химического комплекса присвоено почетное звание «Заслуженный химик Российской Федерации» заведующей лабораторией флотационных реагентов и обогащения комплексных руд Федерального государственного бюджетного учреждения науки Горного института КНЦ РАН **Валентине Алексеевне Ивановой**.

Указом Президента Российской Федерации № 254 от 19 марта 2013 года

- за заслуги в области связи и многолетний добросовестный труд присвоено почетное звание «Заслуженный работник связи Российской Федерации» помощнику директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Полярного геофизического института КНЦ РАН **Валерию Федосеевичу Григорьеву**.

- за заслуги в охране окружающей среды и природных ресурсов присвоено почетное звание «Заслуженный эколог Российской Федерации» заведующей лабораторией геоэкологических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Горного института КНЦ РАН **Светлане Петровне Месяц**.

**25 марта 2013 г.**

#### **Есть ли жизнь без Штокмана?**

«Ах, худо, друг мой, очень худо! Мы все надеялись на чудо, а чуда что-то нет покуда, а чуда не произошло». Так в «Средневековом диалоге» отвечает герцог на вопрос, как он поживает. Эти строки барда Вероники Долиной вспоминались 25 марта.

В этот день в ходе рабочей поездки в Апатиты и Кировск губернатор Мурманской области Марина Ковтун посетила Кольский научный центр. Глава региона побеседовала с руководителями КНЦ РАН и представителем КНЦ в Координационном совете по научно-технической и инновационной политике в Мурманской области и первой из губернаторов, перешагнув порог Центра гуманитарных проблем Баренц-региона, встретила там с сотрудниками ЦГП и Института экономических проблем КНЦ РАН.



Лейтмотивом всех встреч звучало: реализация Штокмановского проекта, связанного с разработкой крупнейшего газоконденсатного месторождения на шельфе Баренцева моря и сулившего многообещающие перспективы, отодвинута на неопределенный срок. Проект – ожидаемое и не случившееся чудо – попал в разряд условно потерянных, поставив вопрос: «Есть ли у региона жизнь без Штокмана?». Такой сценарий в области не просчитывался. Поиск ответа привел Марину Ковтун в Кольский научный центр.

Она приехала сюда впервые после того, как почти год назад заняла свой высокий пост. Нет, значимость науки Марина Ковтун очень даже понимает. Недаром она начала встречу со слов: «КНЦ – это место, где собрался цвет науки, где поистине куется наше будущее. Мы очень горды, что на Кольском полуострове есть научное учреждение, работа которого имеет большое значение не только для развития Кольского Севера, но и для всей российской науки».

Одной из первых тактических задач региона она назвала обеспечение условий для развития научной сферы. В КНЦ за последние 5 лет реализовано 43 проекта по региональному конкурсу «Север», правительство Мурманской области намерено и впредь участвовать в софинансировании научных исследований. Губернатор внимательно ознакомилась с монографией «Тренды экономического и социального развития Мурманской области».

Год – столько времени понадобилось для оценки положения в регионе. А оно очень беспокоит губернатора. Отсутствие масштабного проекта сказалось на настроениях в обществе. Отток населения, недостаток рабочих рук, обеднение рудных баз, повышение себестоимости продукции горнорудных предприятий и снижение цены на нее делают экономику и в целом жизнь на Севере неконкурентоспособной. Изменившиеся экономические условия требуют прорывных идей, новых подходов и точек роста. Всё это может дать наука. Но наука и власть, подчеркнула губернатор, не должны существовать отдельно друг от друга, как параллельные прямые: «Теория без практики мертва, а практика без теории слепа. Необходимо проложить мостик между наукой и властью». В свою очередь ученые напомнили, что с момента зарождения Кольского научного центра академическая наука всегда работала в конструктивном взаимодействии с местной властью и одной из задач Центра является помощь в решении вопросов развития региона.

Науке требуются молодые кадры? Вот плоды большой работы по постдипломному образованию: количество научных сотрудников в возрасте до 35 лет во всех институтах КНЦ превышает среднероссийский показатель, а в Институте информатики и математического моделирования технологических процессов доля молодых сотрудников – половина научного состава.

Необходимо поддержать горнодобывающий комплекс, формирующий основу (60%) областного бюджета? Пожалуйста. Акционерному обществу «Апатит», нуждающемуся в расширении базы открытых горных работ, Горный институт предложил проект отработки восточной части Центрального рудника, который продлит его жизнь еще на 20 лет при добыче дополнительных 5 млн тонн руды в год. На Ковдорском ГОКе можно реализовать проект по развитию карьера на глубину 850 метров. Предприятием XXI века называют новый ГОК «Олений ручей», где открытым способом добыто более 1.5 млн тонн руды и чье будущее связывается со строительством в 2018 году подземного рудника при освоении месторождения Партомчорр.

В экономике нужны инновации? Это Кольский химико-технологический кластер. Его создание предполагает организацию производства продуктов, востребованных как в гражданских отраслях – энергетике, автопроме, электронике, космической промышленности и других, так и для производства военной техники и модернизации вооружений, что обеспечивает национальную безопасность.

Однако в региональном правительстве одобренная идея кластера финансирования не получила. Палочкой-выручалочкой постепенно перестает быть и горнодобывающий комплекс, налоговые поступления в областную казну будут снижаться. Так, по расчетам регионального министерства экономического развития, сообщила глава региона, в том же 2018 году из-за жестких указаний президента страны о повышении заработной платы весь областной бюджет полностью пойдет на эти цели. А упомянутая выше монография о трендах, заканчивающаяся 2010-м годом, требует продолжения исследований в измененных реалиях и более действенных выводов.

Не умаляя значения прогнозов, от которых зависит будущее, власть, тем не менее, живет в настоящем, и уже сегодня ей нужны меры, чтобы выйти из достаточно тяжелых условий. Наводя мосты, Марина Ковтун призвала ученых КНЦ РАН к более тесному сотрудничеству с региональными комитетами, предложила им войти в состав инициированного ею Экспертного совета и пересмотреть региональную стратегию экономического развития до 2025 года, придав ей прикладной характер. Ученые откликнулись на призыв губернатора и наметили следующую встречу с ней в Мурманске. А темой встречи и будет обсуждение региональной стратегии.



*Обсуждаем закон об Арктической зоне***Национальные особенности экономики и северян**

К закону об Арктической зоне за время российских политических и экономических реформ подступались неоднократно, но все эти инициативы заканчивались ничем. В этот раз федеральный законопроект был не только разработан, но и вынесен на широкое обсуждение, что дает редкий шанс нам, северянам, позаботиться о себе. О том, как проблемы и перспективы видят ученые КНЦ РАН, мы побеседовали с заслуженным экономистом РФ, доктором экономических наук, главным научным сотрудником Института экономических проблем Владимиром Селиным.

**- Владимир Степанович, наверное, нам сразу повезло уже в том, что Мурманская область, в отличие от прошлых документов, сейчас полностью вошла в Арктическую зону?**

- Повезло не только нам. Законопроект резко расширяет Арктическую зону: как минимум, в полтора раза. Южная граница Арктики шла примерно по Полярному кругу, даже кое-где севернее, сейчас она сдвинулась на 300 км южнее. С другой стороны, Север занимает 60% территории нашей страны, а правящие органы выделяют из него еще Арктическую зону, которой намерены как-то заниматься. Что будет с остальным Севером и северянами? Не хотелось бы думать, что о них забудут.

**- А чем Арктика, в таком случае, вообще отличается от Севера? Ведь говорят же иногда, что это – одно и то же.**

- Север никогда не рассматривали с акваториями. Принципиальное отличие Арктики в том, что она с ними связана. Арктика захватывает огромный океанический сектор со всеми его ресурсами. На северных территориях они потихоньку исчерпываются, в том числе нефть и газ, и нам приходится идти все дальше на север, а там начинается более суровая зона – Арктическая. Необходимо иметь в виду, что потребность в энергетических ресурсах в перспективе будет расти. На сегодня более половины всей мировой нефти и газа потребляет около 15% населения – это Европа, США и Япония. Но, наверное, рано или поздно захотят жить лучше и другие регионы: Китай, Индия, Африка, и для этого понадобятся ресурсы. А других глобальных запасов, кроме как в Арктике, уже нет. Поэтому и мировое сообщество, и Россия стали уделять Арктике больше внимания.

**- Значит, в экономике Россия опять делает ставку на ресурсы? А как же инновации?**

- Любая страна использует свою специфику, национальные особенности, трудовые ресурсы. Так делали Китай, Корея, Тайвань, достигая неких вершин. Россия имеет конкурентное преимущество – богатые минерально-сырьевые ресурсы. Этим надо пользоваться, а не уповать без всяких оснований на какие-то прорывы в инновационной экономике. Что, мы завтра начнем самолеты лучше «Боинга» делать? Мы слишком долго и целеустремленно разрушали свою самолетостроительную промышленность, чтобы теперь в одночасье вернуть себе позиции мировых лидеров. Более реалистичный путь – сделать инновационными те ресурсные отрасли, в которых наша страна еще сохраняет статус «мировой кладовой».

**- 20 февраля Президент РФ утвердил Стратегию развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. В этот документ попал важный пункт, за который ратовал и Ваш институт, и Отделение экономики РАН: стимулирование устойчивого платежеспособного спроса на высокотехническое оборудование и инновационные технологии, материалы и услуги в Арктической зоне с учетом необходимости формирования инфраструктуры при добыче углеводородного сырья, в том числе путем совершенствования государственных закупок и закупок компаний с государственным участием и субъектов естественных монополий.**

- Для ускорения инновационных процессов нужно создать условия для платежеспособного спроса нашей экономики на новые технологии и новые материалы. Кто может обеспечить такой

спрос? В первую очередь – ресурсные отрасли. Там много средств и там действительно заинтересованы в высоких технологиях, потому что для освоения труднодоступных арктических месторождений требуются совсем другие технологии и материалы. Можно поставить наши естественные монополии, которые потребляют минерально-сырьевые ресурсы страны, в такое положение (как тот же Китай делает), чтобы они покупали отечественную технику. Да, сейчас они говорят: «Это дорого и неэффективно, проще купить за «бугром». Нет, давайте в рамках государственных программ, систем госзакупок прописывать: в течение года такие-то заводы начинают делать такую-то технику под ваш заказ. Тогда это и будет технологический прорыв с использованием нашего конкурентного преимущества – ресурсов. Не надо никаких фантастических проектов с наноплампочками. Это не базовая отрасль. Если же у нас начнется выпуск современной горной техники, бурового оборудования, танкеров по доставке сжиженного газа и т.п. – тогда в опорные отрасли придут высочайшие технологии. За собой они сразу потянут металлургию, химию, электронику и все, что связано с наукоемкими технологиями. Вот инновационный прорыв, который наиболее реален, во всяком случае, на первом этапе. Это принципиальный вопрос, связанный с развитием всей нашей экономики, некий «ресурсный» локомотив, который потащит за собой промышленность и создаст другой уровень ВВП, современный технологический уклад. Резко возрастет емкость внутреннего рынка, тогда как на сегодня у нас 80% алюминия, никеля, титана, редких металлов уходит на запад.

**- Поскольку в Арктике экстремальные условия хозяйствования и проживания, их нужно чем-то компенсировать. Как Вы оцениваете социальные меры законопроекта?**

- Их много – хороших, полезных, нужных. Но их реализация обязательно упрется в деньги. А даст ли их нам государство – большой вопрос. Мы предлагаем создать федеральный Фонд наследия Арктической зоны РФ для финансовой поддержки субъектов РФ и муниципальных образований, в том числе в случае истощения разрабатываемых месторождений полезных ископаемых и ухудшения социально-экономической ситуации в созданных на их основе населенных пунктах. Формироваться фонд может за счет налога на природные ресурсы предприятий и организаций, добывающих и перерабатывающих эти природные ресурсы в Арктической зоне, и за счет части налога на добавленную стоимость, дополнительно формирующуюся в арктических регионах за счет повышенных трудозатрат этих предприятий и организаций. Ведь сейчас Арктическая зона РФ, в которой живет и трудится всего 1% населения страны, создает более 4% валового внутреннего продукта и 10% валютных поступлений.

Есть и чисто «тактические» вопросы. Например, в области гарантий и компенсаций есть пункт о предоставлении людям, проработавшим в Арктической зоне не менее шести лет и нуждающимся в улучшении жилищных условий, безвозмездных субсидий на строительство или приобретение жилья в местах постоянного проживания, т.е. на Севере. Мы предлагаем дополнить его подпунктом о предоставлении лицам, проработавшим в Арктической зоне не менее 15 лет и достигшим пенсионного возраста, безвозмездных субсидий на строительство или приобретение жилья в других районах России.

Законопроект имеет и технические недостатки, некоторые его положения как будто переписаны из советского законодательства. Например, в области трудовых отношений предусматривается заключение на Севере трудового договора сроком до 2 лет. Да, в 80-х годах, когда договор заключался на год, это была льгота. Сейчас у нас общая норма 5 лет. Спрашивается, почему в Арктике нужно 2 года? Конечно, если компании требуется 2 года – пусть заключает договор на этот срок, а если ей нужно 5 лет – зачем ее ограничивать двумя годами?

**- То есть некоторые пункты нужно подкорректировать?**

- Конечно. А некоторые – вообще убрать. Те, которые можно отнести хоть к Дагестану, хоть к Тульской области. Надо, чтобы закон затрагивал только специфику Арктики. Но вообще, любой закон мы можем только приветствовать, потому что он так или иначе создает некую основу стабилизации ситуации в Арктической зоне РФ и основу для ее развития. А значит, некоторые дополнительные условия и для улучшения жизни в нашей Мурманской области.

*Интервью взяла Светлана Алтухова*

**НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ ИНСТИТУТАМИ КНЦ РАН НА 2013 ГОД**

- Ежегодный международный семинар «Физика авроральных явлений». *ПГИ КНЦ РАН*, конец февраля – начало марта, 4 дня.
- V Всероссийская научно-практическая конференция «Теория и практика системной динамики». *ИИММ КНЦ РАН*, 26–28 марта.
- Международная научно-практическая конференция «Европейский Север: инновационное освоение морских и нефтегазовых ресурсов (образование, наука, производство)». *ИЭП им. Г.П. Лузина КНЦ РАН*, март, 3 дня.
- VII Научно-техническая конференция молодых ученых, специалистов и студентов вузов: «Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий». *ИХТРЭМС им. И.В. Тананаева КНЦ РАН*, апрель, 3 дня.
- Региональная конференция и школа молодых ученых «Почвоведение на Кольском полуострове и сопредельных территориях: прошлое, настоящее, будущее». *ПАБСИ КНЦ РАН*, апрель.
- Рабочее совещание и школа молодых учёных: «Полярные процессы в атмосферах планет». *ПГИ КНЦ РАН*, 15–18 апреля.
- X Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия. *ГИ*, апрель, 2 дня.
- XXXI Конференция молодых ученых «Океанография и биология арктических морей». *ММБИ КНЦ РАН*, май, 2 дня.
- XIII Международная научная конференция студентов и аспирантов «Проблемы Арктического региона». *ММБИ КНЦ РАН*, май, 2 дня.
- XIII Региональная (с международным участием) научная конференция студентов и аспирантов «Проблемы Арктического региона». Секция «Геология и геофизика Арктического региона». *ММБИ КНЦ РАН*, май, 1 день.
- Международный научный семинар «Океанографические и биологические базы данных в оценке современных климатических процессов». *ММБИ КНЦ РАН*, июнь, 3 дня.
- Всероссийская (с международным участием) конференция «Геология и геохронология породообразующих и рудных процессов в кристаллических щитах». *ГИ КНЦ РАН*, 8–12 июля.
- II Всероссийская молодежная полевая школа-семинар «Современные проблемы озеленения урбанизированных территорий в Северных регионах». *ПАБСИ КНЦ РАН*, август, 5 дней.
- II Всероссийская научная конференция «Биоразнообразие и культуроценозы в экстремальных условиях». *ПАБСИ КНЦ РАН*, август, 2 дня.
- Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Уникальные геологические объекты Кольского полуострова». *ГИ КНЦ РАН*, июнь–август, 2 дня.
- Научно-практический семинар «Теоретические и практические основы использования морских млекопитающих в биотехнических системах». *ММБИ КНЦ РАН*, сентябрь, 2 дня.
- Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ». *ГоИ КНЦ РАН*, 24–27 сентября, 4 дня.
- Школа молодых учёных: «Геофизические исследования на высоких широтах». *ПГИ КНЦ РАН*, начало октября, 1 день.
- Всероссийская (с международным участием) молодежная научная школа «Сбалансированное природопользование». *ИХТРЭМС им. И.В. Тананаева КНЦ РАН*, октябрь, 3 дня.
- XXIV Молодежная научная школа-конференция, посвященная памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца. *ГИ КНЦ РАН*, октябрь, 3 дня.
- IX Всероссийская научная школа «Математические исследования в естественных науках». *ГИ КНЦ РАН*, октябрь, 2 дня.
- Научная школа молодых ученых «Геотехнология и обогащение полезных ископаемых». *ГоИ КНЦ РАН*, 24–25 октября.
- V Всероссийская научная конференция с международным участием «Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов». *ИХТРЭМС им. И.В. Тананаева КНЦ РАН*, 12–15 ноября.

**Васильев В.В., Селин В.С. Методология комплексного природохозяйственного районирования северных территорий и российской Арктики.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 260 с.

Монография посвящена методологическим проблемам комплексного природохозяйственного районирования северных территорий и Российской Арктики. Выделены стратегические противоречия, которые будут определять экономические тенденции этого макрорегиона не только в ближайшем будущем, но и в стратегической перспективе. С одной стороны, это уникальное для "мирового Севера" образование, которое в целом не только не является дотационным, но и обеспечивает устойчивость всей национальной экономики. С другой стороны, не прекращаются попытки сократить имеющиеся немногочисленные меры поддержки северных территорий. Однако северные и арктические пространства исключительно неоднородны как по природно-климатическим условиям, так и по уровню социально-экономического развития. Поэтому основная часть исследования посвящена методологии районирования, в том числе в ретроспективном аспекте. Обоснованы комплексные методические подходы к выделению зоны Севера и Арктики, и показана возможность применения этих подходов для целей государственного регулирования.

Издание рассчитано на широкий круг специалистов, включая научных работников и преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, государственных и муниципальных служащих. Оно может также применяться как учебное пособие для аспирантов и студентов экономических и географических специальностей.

**Горидько Н.П. и др. Инновационные векторы экономического роста северных регионов: возможности, оценки, прогнозы / Н.П. Горидько, Р.М. Нижегородцев, В.А. Цукерман.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 199 с.

Монография посвящена вопросам исследования экономического роста регионов Российского Севера в контексте инновационного развития. С позиций парадигмы макроэкономического неравновесия исследуются проблемы источников, инструментов и механизмов обеспечения инновационных сдвигов в северных регионах. На основе регрессионного анализа проводится оценка вклада информационного производства в экономический рост каждого из северных регионов, а также решается задача прогнозирования объема текущего реального ВРП. По полученным данным, отражающим воздействие каждого из факторов производства (капитал, труд, информация) на экономический рост регионов Российского Севера, проводится их кластеризация и делаются содержательные выводы относительно перспектив и основных направлений государственного регулирования инновационных сдвигов в экономике этих регионов.

Издание предназначено для специалистов в области региональной экономики, макроэкономической политики, моделирования и прогнозирования экономического роста, а также для аспирантов и студентов старших курсов экономических и инженерно-экономических специальностей.

**Комплексные исследования природы Шпицбергена: материалы международной научной конференции, г. Мурманск, 1–3 ноября 2012 г. Вып. 11.** М.: ГЕОС, 2012. 284 с.

В сборнике представлены материалы 11-й международной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена», проведенной Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов: океанологов, гидрометеорологов, гидробиологов, ботаников, геологов, геофизиков, археологов, гляциологов, а также для студентов и преподавателей высшей школы.

**Ларичкин Ф.Д., Пономаренко Т.В. Затраты в комбинированных горнопромышленных производствах: формирование и управление: уч. пос.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 154 с.

Рассмотрены эволюция и современные точки зрения отечественных и зарубежных ученых и специалистов по наиболее важным теоретическим и прикладным вопросам учета, калькулирования и управления затратами на горнопромышленных предприятиях с глубокой комплексной переработкой многокомпонентного минерального сырья.

С использованием междисциплинарного подхода дан критический анализ, показаны недостатки известных традиционных подходов и методов, предложена наиболее рациональная методика

калькулирования индивидуальной себестоимости каждого без исключения основного и попутного ценного компонента (продукта) комбинированного горнопромышленного производства. Установлена необходимость строгого разграничения прямых и косвенных затрат многопродуктового производства, что должно найти отражение в учетной политике предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Обоснована необходимость совершенствования методологии учета, калькулирования, управления затратами на отечественных горнопромышленных предприятиях с учетом специфических особенностей комбинированной переработки сырья, использованием международных стандартов финансовой отчетности (МСФО) и информационных технологий на основе внедрения ERP-систем (Enterprise Resource Planning System).

Пособие предназначено для студентов вузов экономического, геологического, горного и химико-металлургического профиля, преподавателей высшей школы, а также может быть полезно для специалистов научно-исследовательских, проектных организаций и промышленных предприятий минерально-сырьевого комплекса.

**Моделирование атмосферного загрязнения и изменения климата в северных широтах / А.А. Бакланов, А.Г. Махура, Л.С. Назаренко, Н.Л. Тауснев, А.А. Кучин, О.Ю. Ригина.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 105 с.

Настоящая монография является логическим продолжением комплекса исследований, проводимых в течение длительного времени коллективом авторов. В начале становления данных работ основное внимание было уделено вопросам информационного обеспечения научных исследований по экологической тематике и методам математического моделирования загрязнения отдельных объектов окружающей среды. В 1998–2004 гг. основные усилия были направлены на моделирование возможных экологических последствий от объектов радиационного риска в Европейской Арктике. В ходе выполнения работ были реализованы несколько международных проектов: "Риск и радиоактивные отходы", "Арктический Риск", "Риск и окружающая среда" и "Северный Риск" и SOL – мегагрант, который продолжается до настоящего времени.

В рамках исследований была разработана методология долгопериодного моделирования и оценки радиационного риска, которая в дальнейшем была развита для более широкого класса загрязнителей и источников риска. Результаты исследований, предлагаемые в рамках данной книги, сфокусированы на моделирование долгопериодного атмосферного переноса и выпадения загрязнителей с оценкой последствий для окружающей среды и климата. На основе анализа данных наблюдений и развития численных моделей исследуются физические процессы изменения климата, взаимодействия его с океаном, долгопериодного атмосферного переноса и выпадения загрязнителей от медно-никелевых предприятий Севера России, оцениваются возможные последствия для Арктики и Севера Евразии.

Книга представляет интерес для преподавателей и студентов, изучающих экологию и метеорологию, специалистов по изменению климата и охране окружающей среды.

**Морская стратегия России и приоритеты развития Арктики.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 262 с.

Монографическое исследование, проведенное коллективом специалистов из академических институтов и высших учебных заведений, посвящено современным геополитическим и экономическим тенденциям и проблемам Российской Арктики, подробно рассмотренным на традиционной IV Всероссийской морской научно-практической конференции «Стратегия морской деятельности России и экономика природопользования в Арктике» (Мурманск, 7–8 июня 2012 года), проведенной при поддержке РГНФ (проект 12-0214000г). Показана специфика реализации направлений морской стратегии России в полярных акваториях. Особое внимание уделено геологическим, технологическим и организационно-экономическим вопросам освоения ресурсов арктического шельфа, в том числе с позиций тенденций на глобальных энергетических рынках. Подробно исследованы возможности и стратегическое значение развития арктических коммуникаций, необходимость усиления государственного регулирования и государственно-частного партнерства в этой сфере.

Монография может быть использована в качестве учебного пособия для студентов самых различных специальностей, включая морскую экономику, политологию, экономическую географию и т.п.

Исследование выполнялось в рамках программы Президиума РАН № 31 «Роль пространства в модернизации России: природный и социально-экономический потенциал» при поддержке гранта РГНФ 12-32-06001 «Российская Арктика: современная парадигма развития» и гранта Минобрнауки 2012-1.2.1.-12-000-3002-007 «Формирование стратегических приоритетов развития Российской Арктики».

**Приймак Т.И. и др. Экологические аспекты гипергенеза минерального сырья в условиях Субарктики / Т.И. Приймак, А.П. Зосин, В.А. Маслобоев.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 108 с.

При освоении минеральных ресурсов в условиях низкой ассимиляционной способности экосистем Севера не учитывается возможность восстановления природных ресурсов. Воздействие на среду обитания складированных забалансовых руд, отходов обогащения, загрязненных сточных вод, а также фильтрационных вод хвостохранилищ обуславливает необходимость разработки природоохранных мероприятий, учитывающих низкие средние температуры региона, невосполнимость минерального и природного сырья.

На примере некоторых рудных предприятий Мурманского территориально-промышленного комплекса исследована современная ситуация с обращением с минерально-сырьевыми ресурсами и предложены способы решения возникающих экологических проблем.

**Труды КНЦ РАН. Гуманитарные исследования. Вып. 3.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 145 с.

Статьи адресованы специалистам разных областей гуманитарного знания: этнологам, историкам, социологам, антропологам, а также преподавателям и студентам общественно-гуманитарных специальностей и всем, кого интересуют история, наука и культура Европейского Севера России.

**Труды КНЦ РАН. Информационные технологии. 2012. Вып. 3.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 217 с.

Серия «Информационные технологии» представляет результаты исследований, направленных на создание и развитие теоретической базы, информационных технологий и информационных систем поддержки широкого спектра видов деятельности – от научных исследований до практического управления технологическими и социально-экономическими системами. В настоящий выпуск включены результаты, полученные исследователями ИИММ КНЦ РАН в 2012 г. Ряд работ выполнен при активном участии сотрудников и студентов факультета информатики и прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского университета, а также исследователей других научных и образовательных учреждений.

Сборник адресован специалистам в области создания и практического использования информационных систем и технологий в различных сферах управленческой и производственной деятельности, преподавателям и студентам вузов соответствующих специальностей.

**Урбанавичюс Г.П. Лихенофлора Лапландского государственного природного биосферного заповедника (аннотированный список) / Г.П. Урбанавичюс, И.Н. Урбанавичене, А.В. Мелехин.** Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. 158 с.

Первая сводка по лихенофлоре Лапландского заповедника (Мурманская обл., северо-запад России) включает 613 видов лишайников и 38 нелихенизированных видов грибов (включая 28 лихенофильных). Приводятся сведения по их распространению и субстратно-экологической приуроченности.



*Юбилеи*



### **БЕЛИШЕВА Наталья Константиновна**

д.б.н. (2006), с 2009 г. возглавляет научный отдел медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН. В Кольском научном центре РАН работает с 2001 г. Область научных интересов – роль геокосмических агентов в эволюции и развитии биосистем, астробиология, геомагнитное поле (ГМП) и космические лучи (КЛ), психофизиология, медицина. За время работы исследованы биологические эффекты гелий-неонового лазера, ростостимулирующие свойства УФ-облученной крови, разработана методика биоиндикации геопатогенных зон, показаны эффекты раздельного и комбинированного облучения клеточных культур СВЧ и рентгеновскими лучами, выявлено значение вариаций ГМП и КЛ для функционального состояния организма человека: головного мозга, вегетативной, сердечно-сосудистой систем, периферической крови, психоэмоционального состояния. Впервые показано значение для биосистем солнечных протонных событий, ассоциированных с наземным увеличением солнечных КЛ, разработана концепция двухфакторного механизма модуляции функционального состояния биосистем посредством дозового соотношения воздействий вариаций ГМП и КЛ. Проводимые исследования открыли новое направление в изучении биоэффективности вариаций геокосмических агентов, включающих КЛ и интенсивность нуклонной компоненты у поверхности Земли, и были поддержаны отечественными и международными грантами.

Участвовала в региональных программах: "Состояние и охрана окружающей среды Мурманской области", "Север-2003: проблемы и решения". Автор свыше 200 публикаций. Член-корр. МАНЭБ; Российской и Международной Ассоциации клеточных культур; Международного общества редких и исчезающих птиц; Международной ассоциации по воздействию факторов окружающей среды – CIFA; Русского географического общества. Член редколлегии журнала «Вестник Кольского научного центра РАН».

Коллеги по работе желают Наталье Константиновне крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.



### **ПЕТРОВ Валентин Петрович**

д.г.-м.н. (1995), заслуженный деятель науки РФ (1999), академик РАЕН (2000), профессор (2002). В Кольском научном центре РАН с 1968 года. Основные научные исследования относятся к области геологии, петрологии и металлогении метаморфических комплексов докембрия. Изучены пространственно-временные закономерности, геотектонические и термодинамические

режимы формирования метаморфической структуры земной коры Балтийского щита; разработана геолого-генетическая типизация метаморфических процессов, исследованы особенности их проявления при формировании раннепротерозойских метаморфических поясов и роль в формировании месторождений полезных ископаемых в метаморфических комплексах.

Научную деятельность Валентин Петрович совмещает с научно-организационной работой. Будучи с 1980 г. заместителем председателя Президиума Кольского филиала АН СССР / Кольского научного центра РАН, активно способствует развитию и укреплению научно-исследовательского потенциала и опытно-экспериментальной базы крупнейшего в Арктическом секторе мира академического научного учреждения.

В 1994 г. возглавил работу по созданию в КНЦ РАН нового подразделения – Международного центра по развитию науки, культуры и образования Баренц/Евро-Арктического региона, в 2005 г. преобразованного в научное учреждение при Президиуме КНЦ – Центр гуманитарных проблем Баренц-региона. В качестве директора Центра инициировал формирование и создал условия развития нового для Кольского научного центра РАН исследовательского направления – изучение гуманитарных проблем Кольского Севера. Под его руководством начались системные работы по изучению архивных материалов, связанных с историей развития академических исследований в регионе.

Успешно совмещает академическую и преподавательскую деятельность. В.П. Петров – профессор, зав. кафедрой североведения Кольского филиала Петрозаводского государственного университета; создатель и руководитель базовой научно-учебной кафедры «Этнологии и североведения», функционирующей при ЦТП КНЦ РАН.

Является редактором научных изданий Геологического института КНЦ и Центра гуманитарных проблем; членом редакционного совета, руководителем редакции «Кольской энциклопедии»; заместителем главного редактора «Вестника Кольского научного центра РАН». Председатель Мурманского регионального отделения РАЕН; член Коллегии Министерства науки и образования Мурманской области; член региональной экспертной комиссии РГНФ; председатель Музейного совета КНЦ РАН.

Результаты научной работы отражены в более чем 200 научных публикациях, в т.ч. в 12 коллективных и 1 авторской монографиях. Он является соавтором серии опубликованных метаморфических карт по Балтийскому щиту и документальных публикаций по истории КНЦ РАН.

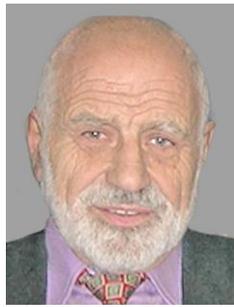
Награжден орденом «Знак Почета» (1980), «Орденом Дружбы» (2006), медалью им. П.Л. Капицы (РАЕН), Почетной грамотой Мурманской областной Думы (1998), Почетной грамотой Мурманской области (2008), Грамотами АН СССР – РАН. С 1971 по 1977 гг. – секретарь парткома КФАН СССР, член Кировского ГК КПСС. Неоднократно избирался депутатом Апатитского городского совета народных депутатов.



*Юбилеи*



Юбилей



### **ЦУКЕРМАН Вячеслав Александрович**

к.т.н., доцент, заведующий отделом промышленной и инновационной политики. В Институте экономических проблем КНЦ РАН с 1994 г.

Вся производственная и научная деятельность связана с Крайним Севером. Трудовую деятельность начинал в 1962 году мастером в комбинате «Апатит». В 1963–1994 гг. работал в научно-исследовательском и проектном институте «Механобр», руководил филиалами НИИ в г. Норильске и на Кольском п-ове. Специалист в области технологии переработки полезных ископаемых, региональной промышленной и инновационной политики. С 2003 года и по настоящее время руководит разделами в Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Прогноз потенциала инновационной индустриализации России».

Автор более 750 научных трудов, в том числе 25 монографий, 73 авторских свидетельств и патента. Лауреат премии им. Н.Н. Колосовского за выдающиеся работы в сфере региональной экономики. Член ученого совета ИЭП, член редколлегии журнала «Север и рынок». Ведет активную преподавательскую деятельность, профессор, зав. кафедрой менеджмента и экономики Кировского филиала ГОУ ВПО «Костромской государственной университет». Награжден почетными грамотами губернатора Мурманской области и Мурманской областной Думы.



### **РАКАЕВ Анвар Ибрагимович**

д.т.н., ведущий научный сотрудник Горного института КНЦ РАН. В Кольском научном центре РАН с 1972 г.

Основная научная деятельность связана с оптимизацией рудоподготовительных и сепарационных процессов, созданием прогрессивных технологий обогащения руд. Им установлены и теоретически обоснованы новые закономерности измельчения руд в стержневых мельницах, разработана методология выбора оптимальных параметров измельчения и способов формирования качественного состава питания и продуктов обогащения на всех стадиях переработки руды, предложены новые методы интенсификации раскрытия минералов при гравитационном обогащении. В рамках выбранного и развиваемого Анваром Ибрагимовичем научного направления предложен и обоснован целый ряд новых технологических решений в области обогащения редкометаллических, апатитонепелиновых, оливинитовых, пегматитовых и др. руд.

Под руководством А.И. Ракаева разработаны эффективные комбинированные технологии переработки хромовых руд Сопчеозерского месторождения (Кольский полуостров), массива Рай-Из (Полярный Урал) и Аганозерского месторождения (Республика Карелия), чем внесен существенный вклад в освоение хромитовой базы России. На основе этих разработок созданы регламенты на проектирование обогатительных фабрик, введен в строй обогатительный комплекс в п. Магнитка Челябинской области.

Автор более 170 научных работ, в том числе монографии, 13 изобретений и патентов, большая часть которых внедрена в производство. На протяжении многих лет он успешно совмещает научную работу с преподавательской деятельностью в Кольском филиале Петрозаводского государственного университета.

За добросовестную и творческую работу неоднократно отмечался грамотами института, Президиума КНЦ РАН, администрации Мурманской области, Президиума РАН, в 1985 г. ему присвоено звание «Ветеран Труда». В 2004 и 2010 г. награжден знаками «Шахтерская слава» III и II степени соответственно.



*Юбилеи*

65



#### **ЯХНИН Александр Григорьевич**

к.ф.-м.н. (1986), заведующий лабораторией магнитосферно-ионосферных взаимодействий ПГИ КНЦ РАН. В Полярном геофизическом институте КНЦ РАН с 1986 г.

Сфера научных интересов – физические процессы в системе солнечный ветер – магнитосфера – ионосфера. Занимается анализом динамики полей, волн и потоков частиц во время буревых и суббуревых магнитных возмущений, изучением циклотронного взаимодействия электромагнитных волн с потоками заряженных частиц в околоземной плазме.

Внес существенный вклад в изучение природы магнитосферных возмущений. Впервые определил пространственные и временные характеристики тонкой структуры взрывной фазы суббури, выявил основные ионосферные проявления особого типа возмущений – «стационарной магнитосферной конвекции», исследовал морфологию сияний полярной шапки и связь этих сияний с плазменным слоем магнитосферы; определил местоположение источников вихрей конвекции на дневной стороне магнитосферы. В последние годы А.Г. Яхнин вместе с соавторами выполнил цикл работ, ставших классическими, по изучению взаимосвязи высыпаний энергичных протонов с электромагнитными ионно-циклотронными волнами.

Опубликовал свыше 150 научных работ, в том числе он соавтор 3-х монографий. У А.Г. Яхнина очень высокий индекс цитирования, имеется более 800 ссылок на его публикации, что



Юбилеи

свидетельствует о высоком уровне выполненных им работ и признании их мировой научной общественностью.

А.Г. Яхнин является членом ученого совета ПГИ, многократно руководил как международными проектами (INTAS), так и российскими грантами РФФИ. Был членом совета программы РАН Отделения физических наук “Плазменные процессы в Солнечной системе”. В настоящее время он руководит разделом в программе №22 Президиума РАН «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы».

С 2006 г. Александр Григорьевич неизменный руководитель ежегодного семинара «Физика Авроральных явлений».



#### **КАШУЛИН Петр Александрович**

д.б.н. (2001), гл. научный сотрудник ПАБСИ КНЦ РАН (с 2003). В Полярно-альпийском ботаническом саде-институте КНЦ РАН с 1990 г.

Круг научных интересов включает изучение мембранных механизмов старения и чувствительности растений к различным повреждающим факторам, сигнальных функций слабых физических воздействий в адаптационных процессах в Субарктике. Получил новые данные по биологическим аспектам действия вторичного биогеогенного излучения растительных объектов, индуцированного различными физическими факторами, о физиолого-биохимических механизмах дистанционного взаимовлияния биологических систем. Ведет педагогическую деятельность. Профессор кафедры биологии КФ ПетрГУ (1999), кафедры геоэкологии Апатитского филиала МГТУ (2004).

Награжден Почетной грамотой РАН (1999). Имеет благодарность от губернатора Мурманской области (2006).



#### **КОЛОСОВ Валерий Николаевич**

д.т.н., ведущий научный сотрудник, профессор филиала СПбГИЭУ. В Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН с 1979 г.

Специалист в области физики конденсированного состояния. Научные интересы связаны с физикой и материаловедением металлов и сплавов, технологией конденсаторных порошков.

Изучая взаимосвязь кристаллической и электронной структур полупроводниковых соединений и их поведение при деформациях, обнаружил переход полупроводник–металл в сплаве Bi-Sb при одноосном растяжении кристаллов. Создал комплекс для изучения широкого спектра физико-механических характеристик

сверхпроводящих материалов и выполнил исследования по разработке оригинальной технологии электролитических сверхпроводящих покрытий высокочистого ниобия и станида ниобия. Разработанные покрытия использованы в сверхпроводниковых устройствах различного назначения (СВЧ-резонаторах, криогенных гироскопах и др.). С 1994 г. основное научное направление – технология натриетермических высокочастотных танталовых и ниобиевых конденсаторных порошков, успешно прошедшая опытную проверку.

Входит в состав ученого и диссертационного советов института, является руководителем проекта РФФИ. Председатель Мурманского отделения Углеродного общества. Награжден Почетной грамотой РАН (1999), дипломами Кембриджа (Великобритания) «The Twentieth Century Award for Achievement» (2000) и «Ведущий ученый мира» (2007), Почетной грамотой Мурманской областной Думы (2008), дипломом и золотой медалью XIV Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (2008). Автор более 250 научных публикаций, в т.ч. 1-й монографии и 22-х авторских свидетельств и патентов РФ на изобретения.



### **МАТВЕЕВ Виктор Алексеевич**

д.т.н. (2009), и.о. зав. лабораторией (с 2012 г.). В Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН с 1975 г.

Область научных интересов – физико-химическое и химико-технологическое обоснование и разработка новых технологических направлений комплексной переработки многокомпонентного минерального

сырья (нефелина, сыннырита, ричесоррита, эвдиалита) с получением глинозема, солей щелочных элементов, силикатных и редкометалльных продуктов, минеральных удобрений, реагентов для очистки воды, водных стоков и газовых выбросов. Большинство технологических схем прошло цикл физико-химических и экспериментальных исследований, опытных, опытно-промышленных испытаний. Внес вклад в разработку компонентов простейших взрывчатых веществ (ВВ), новых видов промышленных ВВ с пониженным содержанием тротила, а также новых методов заряжения водосодержащих ВВ в сильнообводненные и трещиноватые скважины с проверкой на полигоне и внедрением в ОАО «Олкон», «Апатит» и «Карельский окатыш». За цикл исследований по разработке новых видов промышленных взрывчатых веществ на основе продуктов переработки минерального сырья вошел в число лауреатов премии Правительства РФ (1997).

Автор около 160 научных работ, в том числе 2-х монографий, более 35 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Награжден грамотой РАН (1999), тремя бронзовыми медалями ВДНХ (1978–1982).



*Юбилеи*

## NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES

Yu.A. Balashov, T.B. Bayanova	Redox Parameters of Different Age Formations of the Baltic Shield.....	3
V.K. Kardzavin	Influence of Kyanite Carbon Concentration on Formation of Diamonds.....	6
A.A. Kozyrev, M.M. Kagan, K.N. Konstantinov, I.G. Panasenko	Monitoring of Stresses and Deformations In Rock Mass Block Structures by Means of Deformations Measurements in Geodynamic Site of "Apatite" Stock Company.....	11
V.M. Busyrev, O.E. Churkin	Valuation of Efficiency of Prospective Deposits Development in Compliance with the Owner and Subsoil User' Interests.....	16
V.M. Busyrev	Value of Mineral Resources in the Deposits and Its Characteristics.....	20
A.I. Kalashnik, N.A. Kalashnik	Study of Protecting Bulk Hydrotechnical Facility as a Pilot Model of Tailings Impoundment Dam of Mining and Processing Enterprise.....	27
N.A. Kalashnik	Geomechanical data and Geodynamic Occurrences Database of Offshore Oil and Gas Fields .....	31
E.D. Tereschenko, V.A. Ljubchich, A.N. Milichenko, S.V. Pilgaev	Application of Extremely Low Frequency Electromagnetic Waves for Emergency Communication in Mines.....	36
V.G. Dvoretzky, A.G. Dvoretzky	Biology of Sympagic Crustaceans in the Arctic (Review).....	43
I.V. Blinova	A Brief Review of Studies of Insects and Spiders in Murmansk Region Since 1900.	58
N.R. Kirillova	The Study of the Water Vegetation in the Murmansk Region.....	66
O.V. Fridman, A.Ya. Fridman	Coordination of Control Signals in Complex System by Means of Neural Networks .....	73
A.A. Zuenko, A.Ya. Fridman	Constraints Control in Conceptual Simulation of Organizational Technical Systems: Context Based Approach .....	79
	<b>CHRONICLE</b> .....	85
	<b>TOPICAL INTERVIEWS</b> .....	87
	<b>CONFERENCES, WORKSHOPS</b> .....	89
	<b>NEW BOOKS</b> .....	90
	<b>ANNIVERSARIES</b> .....	93
	<b>CONTENTS</b> .....	99

**Yu.A. Balashov, T.B. Bayanova**

#### **REDOX PARAMETERS OF DIFFERENT AGE FORMATIONS OF THE BALTIC SHIELD**

On the territory of the Baltic Shield, intrusive, volcanic and metamorphic rock complexes of different ages and types are located. Up till now, there are no systematic data on variations in oxygen fugacity for these rocks although such information is one of the most important factors of geochemical and petrological analyses for deciphering the generation conditions of individual massifs and associated types of ore-bearing. The paper presents an attempt to generalize the redox parameters of formation and transformation of ore-bearing systems of the Kola Peninsula and other regions as well as comparing them to modern knowledge regarding the oxygen fugacity in variable-age mantle and crustal complexes in other regions of the Baltic Shield.

*Keywords: lithosphere, rocks of Earth's crust and mantle, rare earth elements, fugacity of oxygen.*

**V.K. Kardzavin**

#### **INFLUENCE OF KYANITE CARBON CONCENTRATION ON FORMATION OF DIAMONDS**

Results of physicochemical modeling of formation process for graphite and diamond are introduced for a wide range of temperature and pressure within the area of kyanite existence. The research uses data of chemical analysis for kyanite with different carbon content. It was determined that diamonds formation is possible for definite values of T, P and carbon concentration. Some specific changes in composition of solid phase were revealed at presence of reducing conditions with a fluid containing minor concentrations of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.

We demonstrate the possibility to crystallize and exist for both polymorphic modifications of carbon into the Ky-Sil-And system and metastable area of diamond with graphite. This allows to state that combined crystallization of diamond and graphite in a silica-alumina system testifies upon comparatively low temperature conditions of their formation (temperature below 1000°C).

*Keywords: carbon, diamond, physicochemical modeling, kyanite, P-T diagram, thermodynamical parameters, composition, solid phase, fluid phase.*

**A.A. Kozyrev, M.M. Kagan, K.N. Konstantinov, I.G. Panasenko**

#### **MONITORING OF STRESSES AND DEFORMATIONS IN ROCK MASS BLOCK STRUCTURES BY MEANS OF DEFORMATIONS MEASUREMENTS IN GEODYNAMIC SITE OF KIROVSKY MINE OF "APATITE" STOCK COMPANY**

Tectonics of the Kukisvumchorr and Ukspor apatite-nepheline deposits, United Kirovsky mine, has been described. Relevance of using highly sensitive and time stable monitoring systems under high stressed rock mass conditions has been justified. A geodynamic testing site with an underground data recording station located in a level of -24 m, Ukspor side of UKM and a surface data collection, storage and treatment station have been presented. Information has been given on instrumental-and-methodical base and procedure of geophysical information exchange between geodynamical testing site and surface station for data collection and processing. The results have been shown on deformations and rock mass slopes recording on the underground mine field during a long term period including different stages of mining-induced earthquake' preparation and realization.

*Keywords: monitoring, slope, deformation, tectonics, earthquake, precursor, underground*

**V.M. Busyrev, O.E. Churkin**

#### **EVALUATION OF EFFICIENCY OF PROSPECTIVE DEPOSITS DEVELOPMENT IN COMPLIANCE WITH THE OWNER AND SUBSOIL USER' INTERESTS**

The article reports the state and degree of the mineral resources using in the Murmansk region. It states the methods to determine the subsoil minerals value and evaluate efficiency of new deposits development. Design decisions are proposed in compliance with balance of economic relations between the state and subsoil users, which contribute to the efficient use of the regional mineral-resources base.

*Keywords: mineral resources, value, valuation methods, balance of interests.*

**V.M. Busyrev**

#### **VALUE OF MINERAL RESOURCES IN THE DEPOSITS AND ITS CHARACTERISTICS**

The analysis of mineral reserves use and recovery was carried out. The issue of rational development of deposits will be worsening in future. The paper proposes a method of its solution on the objective economic basis taking into account value of consumed reserves. The method of valuation was given depending on mining-geological and mining-technical conditions of deposits development.

*Keywords: mineral resources, reserves, use, recovery, value, method of valuation, influencing factors.*

**A.I. Kalashnik, N.A. Kalashnik**

**STUDY OF PROTECTING BULK HYDROTECHNICAL FACILITY AS A PILOT MODEL OF TAILINGS IMPOUNDMENT DAM OF MINING AND PROCESSING ENTERPRISE**

The geomechanic model has been developed to study protecting bulk hydrotechnical facility-dam. The model has been investigated in elastic-plastic setting using computer modeling methods; as a result, the deformation regularities and facility body displacements were established as well as drawdown curve formation in the body depending on the level of external water load. Obtained results correlate well with the data of georadar and seismic-tomography studies of the facility and can be used during justification of preventive measures on hazardous deformations of protecting dams of tailings impoundments of mining and processing enterprises in the Kola Peninsula.

*Keywords: dam, geomechanic model, computer modeling, risk.*

**N.A. Kalashnik**

**GEOMECHANICAL DATA AND GEODYNAMIC OCCURRENCES DATABASE OF OFFSHORE OIL AND GAS FIELDS**

It is shown that the necessary condition of geodynamical safety problem solution of offshore oil and gas fields is informational geomechanical support based on databases. The basic principles are described for accepted hierarchy-relational model and created database structure. The fragments of information-logical modules with specific examples of offshore fields and accidents are given. As a result of carried out studies the geomechanical data and geodynamic occurrences, database of 210 offshore oil and gas fields and 450 emergency accidents have been created having significantly important functioning peculiarities: data obtained from various field-specific sources are integrated for system analysis; in search of general trends (dependencies) there is a possibility to obtain target information in real time including large data volumes; report generation (regular, comparative and summary) and representative sampling are carried out automatically; possibility to obtain data of the higher level (advanced knowledge) is provided due to automatic processing (search, sorting, cleaning, grouping, aggregation and calculation) and revealing of earlier known data dependencies and relations.

*Keywords: offshore oil and gas fields, database, information, geomechanical, geodynamic occurrences, safety.*

**E.D. Tereschenko, V.A. Ljubchich, A.N. Milichenko, S.V. Pilgaev**

**APPLICATION OF EXTREMELY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC WAVES FOR EMERGENCY COMMUNICATION IN MINES**

The paper deals with problems of organization of extremely low frequency emergency communication in mines. The experimental data of registration of radio signal at the Earth's surface are presented. The radio signal was radiated by subsurface mobile low-power source of extremely low frequency electromagnetic waves in the mine "Barentsburg" in the Spitsbergen. Three dimensional modeling of nonhomogeneous ground by the method of grid approximation of Maxwell's equations has been performed for interpretation of the experimental data. It was demonstrated, that the largest increase of observed magnetic field amplitude can be determined by high conducting areas in the ground, for example, the coal seam.

*Keywords: emergency communication in mines, mobile extremely low frequency wave transmitter, vertical magnetic dipole, method of grid approximation, coal seam.*

**V.G. Dvoretzky, A.G. Dvoretzky**

**BIOLOGY OF SYMPAGIC CRUSTACEANS IN THE ARCTIC (REVIEW)**

This review presents data on the composition and distribution of the copepods and amphipods, most common ice-associated crustaceans, in the Arctic Ocean. These groups play an important role in polar marine ecosystems forming main part of the total production of sympagic fauna. Harpacticoida and Cyclopoida are the most frequent taxa inhabiting the interstitial spaces of Arctic sea ice where their abundance may reach some thousands individuals per 1 m<sup>2</sup>. Calanoida occur in the sea ice as eggs and nauplii while copepodites and adults live beneath sea ice. Biomasses of cryopelagic copepods vary from 0 to 20 mgC m<sup>-2</sup>. The ice-associated amphipods inhabit the subsurface of the ice, large holes, crevices and channels that have widened during the summer melt. Maximum of amphipod biomass (3.5 gC/m<sup>2</sup>) has been recorded near Franz Josef Land in the Barents Sea. Life strategies of sympagic fauna are characterized by longer life cycles, slower growth rates and fewer generations per year. The main food sources for ice-associated organisms are sea ice microalgae, organic matter and detritus. Successful development in the Arctic conditions is provided with a complex of the adaptations including behavioural (reproductive and trophic strategy), physiological (resistance/durability to the enhanced salinity and low temperature, lipid accumulation and metabolic plasticity) and anatomic features (the specialised mouth part and appendages).

*Keywords: crustaceans, sea ice, Arctic.*

**I.V. Blinova**

**A BRIEF REVIEW OF STUDIES OF INSECTS AND SPIDERS  
IN MURMANSK REGION SINCE 1900**

Faunistic studies of insects and spiders on the Kola Peninsula have always been sporadic and were mostly conducted by visiting scientists. These studies were begun mostly by Finnish workers and were pursued actively between 1840 and 1934. Since 1930, arthropod exploration has been undertaken by some scientists at the Kola Science Centre, at regional Nature Reserves and by visiting zoologists as well.

The number of arachnid and insect species in the region is c.4000, which is only a half of the corresponding number in Karelia. At least 400 species can be described as rare ones. The regional distribution of all arthropods is insufficiently known. The better explored areas include the Barents and White Sea coasts and the Khibiny Mountains. Soil invertebrates and amphibiotic & aquatic insects are among the most thoroughly studied. Invertebrate-plant interactions in the region's ecosystems, including life cycles and consortia, require for further study.

*Keywords: Insecta, Arachnida, Murmansk Region.*

**N.R. Kirillova**

**THE STUDY OF THE WATER VEGETATION IN THE MURMANSK REGION**

The paper compiles historical information about the research of aquatic vegetation in the Murmansk region, the main trends and their present state. The result is a list of water vascular plants of the Murmansk region, which includes 82 species.

*Keywords: water plants, history, hydrobotanic.*

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

**COORDINATION OF CONTROL SIGNALS IN COMPLEX SYSTEMS BY MEANS  
OF NEURAL NETWORKS**

We apply neural networks to increase control efficiency and locate initial sources of disturbances in network systems during coordinating them by a gradient coordination technique based on the earlier proposed necessary and sufficient coordinability conditions for locally organized hierarchies of dynamic systems.

*Keywords: coordination, control, neural network.*

**A.A. Zuenko, A.Ya. Fridman**

**CONSTRAINTS CONTROL IN CONCEPTUAL SIMULATION  
OF ORGANIZATIONAL TECHNICAL SYSTEMS: CONTEXT-BASED APPROACH**

The authors propose an intelligent technology to simulate complex organizational technical systems based upon a context-oriented approach to control the constraints that specify the object under research. The technology allows to unify solving of such problems as strategic and operative planning and automated control of simulation correctness.

*Keywords: conceptual simulation of organizational and technical systems, context management technique, intelligent DB.*