

**Уважаемые коллеги, поздравляем Вас!**

**Научно-технический и производственный журнал «Маркшейдерский вестник» подтвердил свой статус одного из рецензируемых научных изданий ВАК.**

**Публикуемые статьи диссертанты могут включать в перечень своих научных трудов**

## ОБНОВЛЕННЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ 2016 г.



**Иофис Михаил Абрамович**  
председатель Редсовета,  
д.т.н., профессор, г.н.с.  
ИПКОН РАН,  
(495)360-89-60, [iofis@mail.ru](mailto:iofis@mail.ru)



**Капитонов Сергей Иванович**  
главный редактор,  
ОАО «Гипроцветмет»,  
8-916-919-82-71,  
[kapitonsergey@mail.ru](mailto:kapitonsergey@mail.ru)



**Никифорова Ирина Львовна**  
зам.главного редактора,  
ИПКОН РАН,  
8-926-247-32-51.  
[nikiforova495@mail.ru](mailto:nikiforova495@mail.ru)

## Члены Редсовета НТИП журнала «Маркшейдерский вестник»



**Гальянов Алексей Владимирович**  
д.т.н., профессор,  
член Академии горных наук (АГН),  
тел.(343)257-32-64  
[sgimd@mail.ru](mailto:sgimd@mail.ru)



**Зимич Владимир Степанович**  
Президент ООО «Союз маркшейдеров России»  
тел.(495)645-94-79  
[smr@work.su](mailto:smr@work.su)



**Милетенко Наталья Александровна**  
к.т.н., с.н.с.  
ИПКОН РАН  
тел.(495) 360-76-25  
[nmilet@mail.ru](mailto:nmilet@mail.ru)



**Глейзер Валерий Иосифович**  
к.т.н., зам.ген.дир.  
ЗАО «Геодезические приборы»  
тел.(812)363-43-23  
[gvi@geopribori.ru](mailto:gvi@geopribori.ru)



**Зыков Виктор Семенович**  
д.т.н., профессор,  
Кемеровский филиал  
АО «ВНИМИ»  
тел. (3842) 58-33-83  
(внутр.3-28)  
[vnimzvs@mail.ru](mailto:vnimzvs@mail.ru)



**Навитный Аркадий Михайлович**  
зам.начальника управления  
маркшейдерского обеспечения  
ГУРШ Минэнерго РФ,  
вице-президент СМР  
тел.(495)695-89-36  
[blp1958@mail.ru](mailto:blp1958@mail.ru)



**Гордеев Виктор Александрович**  
д.т.н., профессор,  
зав.кафедрой УГГУ  
тел.(343)257-74-45,  
257-44-81  
[Gordeev.V@uzsmu.ru](mailto:Gordeev.V@uzsmu.ru)



**Калинченко Владимир Михайлович**  
д.т.н., профессор ЮРГТУ  
тел.(86352) 55514  
[kvm.dom@mail.ru](mailto:kvm.dom@mail.ru)



**Охотин Анатолий Леонтьевич**  
Вице-президент ISM, к.т.н.,  
профессор, зав.кафедрой  
МДиГ ФГБОУВО Иркутский  
НИТУ, тел. 8-914-926-98-95  
[bgtc@irk.ru](mailto:bgtc@irk.ru)



**Грицков Виктор Владимирович**  
исп.директор  
ООО «Союз маркшейдеров России»  
тел.(495)641-00-45  
[smr@work.su](mailto:smr@work.su)



**Кашников Юрий Александрович**  
д.т.н., профессор,  
зав.кафедрой Пермского ГТУ  
тел.(342) 2-198-088  
[geotech@pstu.ru](mailto:geotech@pstu.ru)



**Трубчанинов Анатолий Данилович**  
к.т.н., профессор КузГТУ  
член-корр.РАЕН  
тел.8(923) 512-12-06  
[mdg@kuzstu.ru](mailto:mdg@kuzstu.ru)



**Гусев Владимир Николаевич**  
д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой  
СПГИ (ТУ)  
тел.(812) 3-288-259  
[kmd@spmi.ru](mailto:kmd@spmi.ru)



**Кузьмин Юрий Олегович**  
д.ф.м.н., профессор,  
исп.директор ИФЗ  
им.О.Ю.Шмидта РАН  
тел.(495) 254-9135  
[kuzpnex@gmail.com](mailto:kuzpnex@gmail.com)



**Черепнов Андрей Николаевич**  
главный инженер  
АК "АЛРОСА"  
тел. (41136) 9-02-15, 9-00-24  
[CherepnovAN@alrosa.ru](mailto:CherepnovAN@alrosa.ru)



**Загибалов Александр Валентинович**  
к.г.-м.н., профессор  
Иркутского ГТУ  
тел.(3952) 40-38-09,  
52-38-09  
[azagibalov@yandex.ru](mailto:azagibalov@yandex.ru)



**Макаров Александр Борисович**  
д.т.н., профессор, РГГУ  
член-корр.РАЕН  
тел.8(916) 612-44-93  
[abm51@mail.ru](mailto:abm51@mail.ru)



**Шадрин Михаил Анатольевич**  
к.т.н., Ген.директор  
ЗАО «Лаборатория  
проекта»  
тел.8(903)520-05-00  
[shadrin-subr@mail.ru](mailto:shadrin-subr@mail.ru)



**Юнаков Юрий Леонидович**  
к.т.н., профессор,  
зав.кафедрой,  
Институт горного дела  
Сибирский федеральный  
университет  
тел. (391) 241-66-56  
[yunakov11@rambler.ru](mailto:yunakov11@rambler.ru)

На первой странице обложки: морская буровая платформа (см. статьи, затрагивающие весьма актуальную тему добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов на стр.16-28)

Журнал издается 24-й год (с 1992 г.) и продолжает традиции периодических научно-технических изданий по маркшейдерскому делу, выходявших в России и СССР в 1910-1936 гг.

Издатель – **ОАО «ГИПРОЦВЕТМЕТ»**  
Генеральный директор, к.ю.н.  
**Попов Роман Владимирович**

Председатель Редсовета, д.т.н., проф.,  
Академик АГН  
Иофис **Михаил Абрамович**

#### Члены Редсовета:

<b>Гальянов А.В.</b>	<b>Кузьмин Ю.О.</b>
<b>Глейзер В.И.</b>	<b>Макаров А.Б.</b>
<b>Гордеев В.А.</b>	<b>Милетенко Н.А.</b>
<b>Грицков В.В.</b>	<b>Навитный А.М.</b>
<b>Гусев В.Н.</b>	<b>Охотин А.Л.</b>
<b>Загибалов А.В.</b>	<b>Трубчанинов А.Д.</b>
<b>Зимич В.С.</b>	<b>Черепнов А.Н.</b>
<b>Зыков В.С.</b>	<b>Шадрин М.А.</b>
<b>Калинченко В.М.</b>	<b>Юнаков Ю.Л.</b>
<b>Кашников Ю.А.</b>	

#### Редакция:

Главный редактор  
**КАПИТОНОВ Сергей Иванович**  
тел.8-916-919-82-71

Зам.главного редактора и корректор  
**НИКИФОРОВА Ирина Львовна**  
тел.8-926-247-32-51

Технический редактор  
**МОЛОДЫХ Ирина Валерьевна**

Адрес: 129515, Москва, а/я №51 –  
«Гипроцветмет»–МВ,  
ул.Акад.Королева, 13, стр.1 оф.607

Тел/факс: (495) 616-95-55-МВ  
Тел. (495) 600-32-00 доб.14-19  
E-mail: [office@giprocm.ru](mailto:office@giprocm.ru);  
<http://www.giprocm.ru>

Выходит 6 номеров в год.  
Регистрационное свидетельство  
Министерства печати и информации  
РФ №0110858 от 29 июня 1993 г.

Отпечатано в типографии «П-Центр»  
Формат А4, тираж 990 экз.,  
усл. печ. л. 8,0

Подписано в печать 20.01.2015 г.

Индексы в каталогах:  
Агентства Роспечати 71675,  
Пресса России 90949,  
Урал-Пресс 71675

В течение года можно оформить  
подписку на журнал через редакцию

За точность приведенных сведений и  
содержание данных, не подлежащих  
открытой публикации, несут ответст-  
венность авторы.

Мнения авторов могут не совпадать с  
мнением редакции.  
Рукописи не возвращаются!

Ордена им.В.Н.Татищева «За пользу Отечеству»  
НТИП журнал

# МВ АРКШЕЙДЕРСКИЙ ВЕСТНИК

№1 (110), январь – февраль, 2016 г.

Учредители:  
СОЮЗ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ  
СОЮЗ ЗОЛОТОПРОМЫШЛЕННИКОВ  
ГИПРОЦВЕТМЕТ

Журнал входит в перечень  
ведущих научных изданий ВАК  
Минобразования и науки РФ

**«Один опыт я ставлю выше, чем  
тысячу мнений, рожденных только  
воображением»**

**М.В.Ломоносов**

## В ЭТОМ НОМЕРЕ:

- **ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**
- **ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС**
- **ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ**
- **ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**
- **ИНФОРМАЦИЯ**



**Сердечно поздравляем читателей нашего журнала  
с Днем Защитника Отечества!  
Желаем отменного здоровья, успехов в труде и  
личного счастья.**

*Издатель, редсовет и редакция «МВ»*

## СОДЕРЖАНИЕ

### CONTENTS

	Стр. Page
<b>– ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ</b>	
<b>– PROBLEMS OF SUBSURFACE RESOURCES MANAGEMENT</b>	
<b>Б.П.Руднев, И.Л.Демидов, В.Ю.Лашхия.</b> Технологические схемы разработки базовых месторождений редкоземельных металлов в России .....	6
<b>B.P.Rudnev, I.L.Demidov, V.Yu.Lashkhiya.</b> Technological schemes of development of basic deposits of rare-earth metals In Russia	
<b>А.В.Логачев.</b> К проблеме ресурсосберегающей добычи золота .....	11
<b>A.Logachev.</b> To the problem of resource-saving gold mining	
<b>Ю.А.Чернегов.</b> О создании морской горнодобывающей России .....	16
<b>Yu.A.Chernegov.</b> About creation of sea mining Russia	
<b>– ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС</b>	
<b>– GEODESY, MINE SURVEYING, GIS</b>	
<b>С.С.Кубрин, М.А.Иофис, Е.Н.Есина.</b> Вопросы и проблемы геолого-маркшейдерского обеспечения разработки твердых полезных ископаемых на шельфе Арктики и пути их решения .....	22
<b>S.S.Kubrin, M.A.Iofis, E.N.Esina.</b> Questions and issues of geological and surveying support development of solid minerals on the Arctic shelf and their solutions	
<b>Л.С.Сафонов, А.В.Волохов.</b> Исследование характера распределения основных показателей рудных месторождений .....	29
<b>L.S.Safonov, A.V.Volokhov.</b> Research of nature of distribution of the main indicators of ore deposits	
<b>В.И.Павлов.</b> К вопросу точности определения координат контурных точек объекта недвижимости при кадастровой оценке его площади .....	32
<b>V.I.Pavlov.</b> To the question of exactness of determination coordinations of contour spots of real estate at cadastre estimation of its square	
<b>– ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ</b>	
<b>– PROBLEMS OF MOUNTAIN GEOMECHANICS</b>	
<b>В.Ляшенко.</b> Развитие геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры .....	35
<b>V.Lyashenko.</b> Development of geomechanical monitoring of properties and the condition of the massif of rocks by underground mining of fields of difficult structure	
<b>Н.В.Черданцев, О.Ю.Балашов.</b> Исследование геомеханического состояния массива горных пород с прочностной анизотропией и системой двух протяжённых выработок сводчатого сечения.....	44

<b>N.V.Cherdantsev, O.Yu.Balashov.</b> Research of the geomechanical state of the massif of rocks with strength anisotropy and system of two extended developments of vaulted section	
<b>Б.Т.Ильясов.</b> Моделирование длительного разрушения массивов горных пород методом конечно-дискретных элементов .....	48
<b>B.T.Ilyasov.</b> Modelling of long destruction of massifs of rocks by method of final and discrete elements	
<b>Ю.А.Боровков, В.В.Ивченко.</b> Определение закономерностей изменения прочностных характеристик горных пород трубки «Интернациональная» при знакопеременном температурном воздействии .....	52
<b>Yu.A.Borovkov, V.V.Ivchenko.</b> Determination of regularities of change of strength characteristics of rocks of the tube "International" at sign-variable temperature influence	
<b>До Куанг Туан, С.В.Кузьмин.</b> Исследование характера и закономерностей взаимодействия комбинированной крепи горных выработок с породным массивом в условиях больших глубин .....	55
<b>Do Kuang Tuan, S.V.Kuzmin.</b> Research of character and regularities of interaction combined fix excavations with the pedigree massif in the conditions of big depths	
<b>В.С.Зыков.</b> К вопросу контроля за выбросоопасностью при реализации многофункциональной системы безопасности .....	57
<b>V.S.Zykov.</b> To the question of control for emission by danger at realization of the multipurpose security system	
<b>– ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>	
<b>– PROBLEMS OF INDUSTRIAL SAFETY</b>	
<b>В.К.Мусаев, И.И.Колтунов, Ю.Н.Захаров, А.В.Логунов, Д.А.Баранов.</b> О некоторых проблемах комплексной безопасности .....	63
<b>V.K.Musayev, I.I.Koltunov, Y.N.Zakharov, A.V.Logunov, D.A.Baranov.</b> Some problems of integrated security	
<b>В.К.Мусаев, А.М.Гонопольский, Ю.Н.Захаров, А.В.Логунов, Д.А.Баранов.</b> Моделирование опасностей с помощью анализа риска .....	67
<b>V.K.Musayev, A.M.Gonol'skii, Y.N.Zakharov, A.V.Logunov, D.A.Baranov.</b> Modelling hazards using risk analysis	
<b>– ИНФОРМАЦИЯ</b> .....	71
<b>– INFORMATION</b>	

### Уважаемые коллеги!

Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России» информирует о создании интернет - площадки «Маркшейдерский клуб» (адрес: <http://smr-club.ru>) для обсуждения и обмена информацией по специальным проблемам, создания условий для взаимных консультаций.

Доступ к ресурсу предоставляется членам Союза маркшейдеров России по кодам, основанным на фамилиях и номерах удостоверений членов СМР.

В настоящее время открыты разделы:

- «Вопросы-ответы» (для взаимных консультаций, обсуждения специальных проблем);
- «Кадровый резерв» (сведения о специалистах ищущих работу, вакансии компаний);
- «Награждение» (консультации по заполнению наградных документов);
- «Члены СМР» (для уточнения контактных данных).

Убедительная просьба ко всем членам СМР войти в раздел «Члены СМР», найти себя, войти в персональную информационную ячейку и уточнить данные. Это необходимо как для ведения официальной отчетности перед госорганами, так и для развития системы информирования о мероприятиях СМР.

**Редакция «МВ»**

УДК: 669.001.12

Б.П.Руднев, И.Л.Демидов, В.Ю.Лашхия

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РАЗРАБОТКИ БАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В РОССИИ

Рассмотрены возможные технологические схемы переработки базовых месторождений редкоземельных месторождений России. Даны предположительные геологические основы их возникновения (места разрывов континентальных плит, ультраосновные породы).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** редкоземельные месторождения; монацит; пирохлор; бастнезит; комплексные технологии переработки; ионносорбированные; природная механоактивация.

B.P.Rudnev, I.L.Demidov, V.Yu.Lashkhiya

## TECHNOLOGICAL SCHEMES OF DEVELOPMENT OF BASIC DEPOSITS OF RARE-EARTH METALS IN RUSSIA

Possible technological schemes of processing of basic deposits of rare-earth fields of Russia are considered. Presumable geological bases of their emergence are given (places of ruptures of continental plates, ultra main breeds).

**KEY WORDS:** rare-earth fields; monazite; pyrochlor; bastnasite; complex technologies of processing; ion-sorbed; natural mechanical activation.

### 1. Общая оценка запасов и добычи редкоземельных металлов в России

Минерально-сырьевая база редкоземельных металлов (РЗМ) в России по величине утвержденных ГКЗ МПР РФ запасов занимает ведущее место в мире.

Характеристики основных отечественных месторождений РЗМ приведены в табл.1 [1].

Таблица 1

### Характеристики основных балансовых отечественных месторождений редкоземельных металлов

№№ п/п	Месторождение	Геолого-промышленный тип	РЗМ, %
1.	Ловозерское (Мурманская обл.). Действующее	Нефелиновые сиениты с лопаритом	1,2
2.	Томторское (Республика Саха-Якутия), участок Буранный. Стадия освоения	Пирохлор-монацит-крандаллитовое	12-15
3.	Павловская площадь	не изучена	~1%

На государственном балансе числятся 15 комплексных редкометаллических месторождений, в которых РЗМ учтены в качестве попутных. Более 40% балансовых запасов оксидов РЗМ содержится в апатитовых рудах Хибинских месторождений.

Четвертая часть запасов оксидов РЗМ содержится в лопаритовых рудах Ловозерского месторождения. Месторождение является единственным рудным промышленно освоенным источником РЗМ в России. Ежегодно Ловозерский ГОК выпускает около 8 тыс.т концентрата, при проектной мощности до 24 тыс.т.

Переработка лопаритового концентрата производится на Соликамском магниевом заводе с получением карбонатов редкоземельных металлов. Увеличение добычи и переработки лопаритового концентрата позволяет в достаточно короткий период времени значительно нарастить выпуск редкоземельной

продукции.

**Томторское месторождение** расположено на северо-западе Республики Якутия, в настоящее время находится в стадии освоения.

Месторождение представляет собой пирохлор-монацит-крандаллитовые руды переотложенной коры выветривания. Минимальная мощность рудного пласта и максимальная мощность безрудного слоя 2 м. Наиболее изученным является участок месторождения «Буранный». Запасы кондиционных руд на выявленных участках месторождения, подсчитанные по промышленным категориям, составляют 42,68 млн.т, в том числе в уникально богатых рудах сумма оксидов редких земель составляет 220,563 тыс.т. Среднее содержание по оксидам редких земель составляет от 1-2% (в коренных рудах) до 12,8% (в корах выветривания). Условия залегания рудного пласта благоприятны для карьерной разработки. В выбранном для отработки участке Буранный глубина залегания составляет 15 м и мощность 11 м, при среднем содержании РЗМ 10,83% и запасе 423,3 тыс.т. Следует подчеркнуть крайне тонкий размер частиц коры выветривания (участок Буранный 1-2μ), т.е. руды механоактивированы, пиратированы.

Основной состав РЗМ представлен Pr, Nd, Sm, Eu, La, а также Ce, Sc, Y.

Проведенные исследования по выбору технологии переработки руд показали (в случае щелочного вскрытия исходной руды) возможность извлечения РЗМ на уровне 72,5% с незначительными колебаниями в зависимости от конкретного элемента.

**Павловская площадь Вознесенского месторождения** расположена в юго-западной части Приморского края.

На площади проведена литографическая съемка и предварительные горные и буровые работы, показавшие высокую перспективность территории на иттриевоземельное оруднение. Редкоземельные элементы присутствуют в рудах либо в виде собственных минералов (кимураит, локкалит, ланталит), либо как сорбированные формы на поверхности глинистых минералов. Содержание РЗЭ колеблется в пределах от 0,05 до 1,4%.

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Павловская площадь имеет несколько рудопроявлений РЗМ – Абрамовское, Бойковское и др. Часть руд относится к типу «ионного», т.е. легко вскрываемому сырью. Технологические исследования руд не проводились. Павловская площадь имеет развитую структуру, базирующуюся на Ярославском ГОКе и угольных карьерах. Таким образом, создание Центра по получению РЗМ и редких металлов рядом с Владивостокским портом вполне реально и имеет важное значение для освоения Дальнего Востока.

Исходя из минералогического состава руд, вкрапленности возможно применение ряда технологий, а именно: Ловозерское месторождение – флотация, Томторское месторождение (участок Буранный)

– гидрометаллургия, Павловская площадь – флотация или простая классификация с выделением обогащения РЗМ глинистой фракции.

Рассматривая общие признаки редкоземельных месторождений России, следует отметить, что они находятся в зонах разломов древних континентов, возможно, древних рифтов, наличие кольцевых структур породы представлено ультраосновными породами, характерными для мантии, тонковкрапленными сростками (участок Буранный), наличием радиоактивных элементов (тория и урана). Возможность нахождения на этих месторождениях драгметаллов, платины, а также устойчивых к гидротермальным условиям металлов и минералов типа монацит, пирохлор.

Таблица 2

**Содержание редкоземельных элементов в главнейших рудных минералах  
(в весовых процентах от суммы редких земель)**

Группа	Минерал	Оксиды редкоземельных элементов															
		La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Цериевая	Лопарит	23-30	43-53	6-7	14-18	0-0,9	0-0,8	0-0,5	0-0,03	0-0,12	0-0,008	0-0,008	0-0,016	0-0,03	0-0,008	0-0,002	
	Кнопит	15-23	42-51	5-9	18-25	2-2,5	0,1-0,5	0,4-1,2	0,1-1,2	0,3-0,4	–	–	0-0,2	–	–	–	
	Бастнезит	23-44	45-53	3-6	7-17	0,1-1	0-0,2	–	0-0,1	–	–	–	–	–	–	–	–
	Паризит	29	51	3-4	14-15	0-1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Монацит	14-37	37-46	4-6	10-25	3-11	–	2-7	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Редкоземельный пирохлор	21-33	44-59	5-10	11-16	0-1,2	0-0,1	0-0,1	0-0,1	0-0,1	5-6	–	–	–	–	–	–
	Эшинит	1-11	13-57	6-8	13-19	2-14	0-2,5	3-11	0-2	2-10	0-12,5	0-1	1-4	0-1	1-2	0-0,8	
	Рабдофанит	17-44	46-48	3-8	6-20	0-4	0-0,7	0-2	0-0,2	0-1	0-27	–	0-0,4	–	0-0,3	–	
	Ортит	22-23	43-49	4-5	13-30	5-6	–	2-3	–	0-7	0-72	0-2	0-6	–	0-10	–	
	Редкоземельный эвдиалит	8-13	23-33	4-6	13-22	3-6	0-1	2-5	0-1	2-9	15-26	0-0,7	1,0-3	0-0,5	2-6	–	
Иттриевая	Иттропаризит	13-14	27,6	3,2	13,4	3,4	–	3,5	0,7	4,0	26,4	0,7	2,1	–	1,7	0,1	
	Фергусонит	0-0,3	0,7-1,2	0-0,5	1-2	1-3	0-2	3,6	0-1	4-8	59-64	1-2	5-7	0,9-1,2	7-10	1,5-2	
	Самарскит	0-1,5	0-0,3	0-1	2-4	5-12	0-0,3	7-52	1-4	8-15	5-61	1-2	1-4	0-0,9	0,7-0,5	0-1	
	Хлопинит	0-0,5	0-0,3	0,4-1	2-3	3-6	0-0,4	4-10	0,2-2	4-8	50-80	0-2	1-6	0-2	3-10	0-3	
	Приорит	0-0,3	0-0,5	–	0-0,8	2-25	0-0,5	3-5	2	16	46-52	4-5	9-12	0,8-1,2	6-9	1-2	
	Ксенотим	1-3	1-5	0-2	0-9	0-3	0-0,6	3-11	0-2	5-13	45-64	2-4	2-11	0-1,5	1-15	1-3	
	Гадолинит	0-3	8-20	0-2	3-17	2-8	–	2-10	0-2	3-12	26-63	1-3	5-12	0-2	2-15	1-6	

Как видно из табл.2, минералы, особенно характерные для руд РФ (лопарит, монацит, пирохлор), являются комплексными, и просто физическими методами (т.е. обогащением) из них не могут быть получены чисто редкоземельные концентраты, т.е. необходим гидрометаллургический передел.

Приведем краткое описание технологий обогащения минералов, содержащих редкоземельные элементы [4].

### 1. Обогащение пирохлоровых руд

Обобщая накопившийся опыт по изучению обогатимости пегматитовых пирохлоровых руд, можно назвать следующие сложившиеся к настоящему времени направления в разработке схем:

1. Гравитационные схемы первичного обогащения крупновкрапленных руд с доводкой черновых пирохлоро-цирконовых концентратов до кондиционных с помощью гравитационных методов обогащения, электромагнитной, электростатической сепарации, флотогравитации и флотации сульфидов, апатита, иногда циркона и некоторых других минералов.

2. Флотационные схемы первичного обогащения весьма тонковкрапленных руд при флотации их анионными собирателями (типа жирных кислот и мыл) с перемывкой (доводкой) бедных концентратов путем предварительной обработки их в растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и последующей флотации алкилсульфатом натрия в

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

кислой среде. Полученные коллективные некондиционные концентраты с содержанием от 5 до 15%  $Nb_2O_5$  и от 5 до 30%  $ZrO_2$  могут быть переработаны химико-металлургическими методами. Переработка бедных концентратов дает более высокое суммарное извлечение ниобия и циркония в химические соединения, а применение флотации руды обеспечивает получение кондиционного полевошпатового концентрата.

3. Комбинированные гравитационно-флотационные схемы первичного обогащения руд, содержащих среднюю и тонкую вкрапленность пироклора, с доводкой черновых гравитационных концентратов до кондиционных. Флотационные концентраты (после обработки их  $H_2SO_4$  и флотации алкилсульфатом натрия) доводят с помощью электромагнитной сепарации и последующей селективной флотации циркона, сфена и др. алкилсульфатом натрия при  $pH=2$ , депрессируя пироклор кремнефтористым натрием; возможна также флотация пироклора катионным собирателем ИМ-11 в щавелевокислой среде при  $pH=1,5$  или же флотация циркона олеатом натрия при депрессии пироклора жидким стеклом. Из чернового флотационного концентрата могут быть получены: кондиционный пироклоровый и некондиционный коллективный концентрат, пригодный для химико-

металлургической переработки. Из хвостов флотации возможно получение полевошпатового концентрата, а в случае переработки нефелино-полевошпатовых руд - получение нефелинового концентрата, пригодного для производства глинозема и ряда побочных продуктов (содопродуктов, цемента, стекла).

Исследования по флотации пироклора из сложных труднообогатимых тонковкрапленных руд показали, что из них возможно выделить очень бедные флотационные концентраты, переработка которых требует наиболее сложной предварительной подготовки материала. Задача флотации пироклора и монацита из выветренных – разрушенных руд пока не решена.

Поэтому для руд Томторского месторождения (участок Буранный) наиболее реальной является технология, предусматривающая прямую добычу руды коры выветривания открытым способом, затарку добытой руды в Биг-бэги и вывоз ее по северному морскому пути, а затем по Енисею в Красноярский край, где и производится переработка (рис.1). Такая логистика позволит избежать строительства любого обогачительно-металлургического передела в этом крайне тяжелом для освоения районе Якутии, сохраняя в тоже время практически экологическую (радиационную) чистоту объекта.



Рис.1. Томторское месторождение

### 2. Обогащение лопаритовых руд

Схемы обогащения лопаритовых руд принципиально не отличаются от гравитационных схем обогащения пегматитовых пироклоровых и колумбито-танталитовых руд.

Получаемый гравитационный концентрат подвергают обычно доводке магнитной и электрической сепарацией. Схема обогащения лопаритовых руд сводится к следующему. Исходную руду подвергают двухстадиальному дроблению и мокрому измельче-

### Транспортная схема (60000 т):

600 км - по зимнику от месторождения до порта Тикси;

1900 км - от Тикси до порта Диксон по Северному морскому пути;

2100 км – от порта Диксон до г.Красноярска по реке Енисей.

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

нию. Затем направляют ее на гидравлическую классификацию. Крупные классы обогащают на отсадочных машинах с возвратом хвостов отсадки на доизмельчение, а мелкие – на концентрационных столах. Получаемый коллективный эгирино-лопаритовый гравитационный концентрат обезвоживают, сушат и подвергают электромагнитной и электростатической сепарации для удаления эгирина (лопарит выделяется в проводниковую фракцию). Внедрены винтовые сепараторы, а затем струйные концентраторы, работа которых показала, что они дают значительно более высокую удельную производительность по сравнению с концентрационными столами с более низким содержанием лопарита в отвальных хвостах.

В настоящее время разработаны схемы флотации лопарита из гравитационных концентратов, а также из исходной руды. Как показали исследования, важным является отделение лопарита от апатита, эгирина и нефелина с целью снижения содержания в концентрате фосфора и кремнекислоты, причем наиболее трудным является флотационное разделение лопарита и эгирина, которые успешно флотируются олеатом натрия и другими жирно-кислотными анионными собирателями.

Опытами установлено, что эгирин и нефелин успешно извлекаются при  $\text{pH}=7-9$  и депрессируются при  $\text{pH}=10-11$  и более, а лопарит имеет оптимум флотации при  $\text{pH}=9-11$  в случае применения едкого натра и соды и при  $\text{pH}=9-10,5$  с сернистым натрием. Хорошую флотируемость лопарита при  $\text{pH}$  более 9 и 10, очевидно, можно объяснить наличием в кристаллической решетке минерала редкоземельных металлов, составляющих около 34% РЗМ, которые способны образовать труднорастворимые олеаты редкоземельных металлов, вытеснение которых гидроксильными соединениями начинается лишь в сильнощелочных средах (в случае  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при  $\text{pH}$  более 11 и 12). Действие ионов сернистого натрия на лопарит весьма специфично: до  $\text{pH}=10,5$  их влияние аналогично действию гидроксильных ионов, а при  $\text{pH}$  более 10,5 начинается резкое снижение адсорбции собирателя и депрессия лопарита. Неизбежные ионы пульпы по различному влияют на флотацию минералов. В щелочной среде катионы кальция и магния активируют флотацию лопарита, эгирина и нефелина. Соли трехвалентного железа не изменяют флотируемости лопарита в среде  $\text{NaOH}$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ , резко депрессируют эгирин и нефелин в среде сернистого натрия. Соли кальция и магния явно нарушают селекцию минералов в среде  $\text{Na}_2\text{S}$ . Предварительная активация минералов солью трехвалентного железа проведена в кислых средах при  $\text{pH}=3$  и  $\text{pH}=5$ , а флотация их проведена в щелочной пульпе, создаваемой сернистым натрием.

Данные технологии широко используются при обогащении руд Ловозерского месторождения.

Основной проблемой для руд Ловозерского месторождения является расширение рудной базы, строительство завода по производству индивидуальных редкоземельных элементов.

Для зарубежных стран основными источниками редких земель является минерал монацит, который извлекается, как правило, из россыпей комбинацией гравитационно-электро-магнитной сепарации.

С технологической части лимитирующим производством даже коллективных редкоземельных концентратов из участка Буранный Томторского месторождения является наличие в этих природных концентратах тория 0,15% и урана (0,005%), что приближает их к отходам уранового производства.

Применяя комбинацию катионной и анионной смол, возможно удаление радиоактивных элементов до необходимого уровня.

### 3. Флотационное обогащение монацитовых и бастнезитовых руд

Монацит и бастнезит в случае тонкой вкрапленности в коренных рудах (бастнезит встречается только в коренных рудах) необходимо извлекать флотацией.

Флотационные свойства монацита и бастнезита очень близки с сопутствующими им минералами – флюоритом, кальцитом, баритом, апатитом, турмалином, пироксеном, гранатом и др., что затрудняет осуществление селективной флотации в промышленности.

Монацит и бастнезит успешно флотируются олеиновой кислотой, олеатом натрия и их заменителями при  $\text{pH}=7-11$ .

Закрепление олеата натрия на монаците возрастает с изменением  $\text{pH}$  среды от кислой до щелочной. Так, при  $\text{pH}=3-5$  собирателя закрепляется от 1,8 до 3,3 условных мономолекулярных слоев, а при  $\text{pH}=7-9,2$  около 8,5; причем в кислой среде монацит не флотируется, а в нейтральной и щелочных средах на его поверхности образуются олеаты кальция, тория и редкоземельных металлов, обеспечивающих гидрофобизацию поверхности монацита. В этих условиях возможно селективное разделение монацита от пироксена и циркона, которые депрессируются при  $\text{pH}\geq 9-10$ , а монацит полностью извлекается.

Бастнезит ( $\text{Ce}$ ,  $\text{La}$ ,  $\text{Pr}$ )  $\text{CO}_3\text{F}$  в промышленном масштабе характерен для целого ряда месторождений Внутренней Монголии (Китай) и редкоземельных бастнезитовых руд США. Часто полученный флотационный бастнезитовый концентрат подвергается обработке соляной кислотой для удаления карбонатов пустой породы (например, кальцита) и обжигается для разложения и удаления двуокси углерода, содержащейся в бастнезите. Данный тип руд в РФ пока не обнаружен. Большим преимуществом бастнезитовых руд является, как правило, отсутствие в этом минерале радиоактивных примесей и относительно легкое его вскрытие, тем более, что получаемые после доводки флотационные концентраты содержат около 90% суммы окислов редкоземельных металлов.

### Выводы

В заключение следует отметить, что основной причиной остановки ряда производств в мире явились экономические проблемы, а именно открытие в Китае т.н. ионно-сорбционных руд, из которых относительно легко и дешево можно выщелачивать редкоземельные элементы, отсюда низкая себестои-



мость добычи. По этой же причине в условиях рыночной экономики резко сократился выпуск и потребление редкоземельных элементов в России [6].

Основная проблема добычи и производства РЗМ состоит в высокой затратности существующих технологий их добычи и переработки. Производство РЗМ – процесс более сложный, чем производство известных цветных и драгоценных металлов. Это связано со сложностью минералогии и тем фактом, что руда может содержать до 16 различных элементов. Эти элементы существуют в различных сочетаниях, специфичных для каждого месторождения. Для производства концентратов, содержащих 60-70% смешанных РЗМ, добываемая руда обычно перерабатывается с использованием флотационной технологии и технологии разделения. Из концентратов могут быть получены промежуточные продукты, такие как смешанные хлориды редкоземельных металлов, которые обычно служат отправной точкой в наиболее простой технологии разделения – экстракции из раствора.

Отделять друг от друга РЗМ весьма трудно. Ввиду сходства металлов разделение первоначально производится на подгруппы, которые затем разъединяются на индивидуальные элементы путем дальнейшей экстракции из раствора [5].

Соотношение концентраций отдельных РЗМ в добываемом сырье может в значительной степени варьироваться, причем оно не согласуется с соотношением уровней коммерческого спроса на них. В результате для получения адекватного количества наиболее потребляемых элементов, приходится выпускать значительные объемы более распространенных, но менее востребованных металлов, что, в свою очередь, является причиной формирования дисбаланса на рынке.

Кроме того, существует целый ряд проблем, связанных с новыми отечественными месторождениями РЗМ. Большинство месторождений РЗМ, разведанных еще в советские времена, находятся в тяжелых климатических условиях, не имеют достаточно развитой их разработки. Несмотря на всю перспективность развития отечественной промышленности РЗМ, освоение богатых северных месторождений пока затруднительно без поддержки со стороны государства.

Одна из серьезнейших проблем – отсутствие в России предприятий-переработчиков РЗМ-сырья, производящих индивидуальные оксиды РЗМ и чистые РЗМ. Поскольку наибольшим спросом на мировом рынке пользуются индивидуальные редкие земли, цены на них в десятки раз выше по сравнению с суммарным продуктом. Поэтому независимо от того, из какого сырьевого материала будут извлекаться суммарные редкие земли, необходимо создание отече-

ственных мощностей по получению широкого ассортимента индивидуальных редкоземельных элементов и их соединений, в том числе наиболее перспективных синтетических соединений. Это может быть одно или группа предприятий, перерабатывающих суммарные РЗМ, выделенные из одного или нескольких сырьевых источников с различным составом по индивидуальным элементам. В условиях постоянно меняющихся цен и спроса на отдельные РЗЭ и их соединения такие предприятия должны иметь производительность по исходным суммарным РЗ-концентратам не менее 4-5 тыс.т/год и способность выпускать широкий ассортимент индивидуальной РЗ-продукции. Для оперативного реагирования на требования рынка необходим резерв разделительных мощностей (каскадов разделения), составляющий 20-40%. Такой объем продукции обеспечит высокую рентабельность будущего производства в целом.

Исходя из изложенных выше материалов, очевидно, что имеются три направления по развитию РЗМ в России:

- 1) геологический поиск собственно редкоземельных месторождений (например, бастнезитовых, ионносорбированных руд);
- 2) начало открытой отработки разведанного Томторского месторождения (участок Буранный), которое позволит решить одновременно вопросы производства ниобия, скандия, иттрия и редких земель, что резко снизит себестоимость выпускаемой продукции;
- 3) реконструкция подземных шахт Ловозерского месторождения, а также Соликамского магниевого комбината, строительство завода по разделению РЗМ.

### Литература

1. Ушаков С.А. Тектоника литосферных плит от гипотезы к фундаментальной геологической теории. *Международный ежегодник «Будущее науки», вып.19, М.Знание, 1986 г., с.166-181.*
2. Делицын Л.М., Короткий В. *Горизонты российской науки, Ж. Редкие земли №4, №5, 2015 г.*
3. Мелентьев Г.Б., Делицын Л.М. *Расслоение (ликвация) редкометального специализированного расплава природного сырья, продуктов и отходов его обогащения как инновационный способ избирательного концентрирования особо ценных и лимитируемых компонентов. Межд. научно-практ.конференция 25 июня 2015 г., М., ОАО «Институт Гинцветмет», 2015, с.60-67.*
4. Польшин С.И. *Обогащение руд и россыпей редких металлов, Изд-во Недр, 1967, с. 616.*
5. Каримов Е.В., Гиганов Г.П. *Сб. «Экстракция и сорбция в металлургии цветных металлов», ВНИИцветмет, №112, 1968, с. 48-54. Изд-во «Металлургия».*
6. Петров И.М., Наумов А.В. *Цветная металлургия, №2, 2012, с. 61-71.*

*Борис Петрович Руднев, д-р техн.наук, зав.лабораторией редких металлов ОАО «Гипроцветмет», тел.(495)600-32-00 доб.12-17, E-mail: office@giproctm.ru;*

*Игорь Леонидович Демидов, исполнительный директор ОАО «Гипроцветмет»;*

*Виталий Юрьевич Лашхия, советник генерального директора АО Инженерный центр «Минерал» тел.8-985-765-25-83*

УДК 504.55.054:622(470.6)

А.В.Логачев

## К ПРОБЛЕМЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА

Систематизированы представления об этапах добычи золота в рамках горного передела. Приведены результаты исследований по получению золота, минуя стадию обогащения, вариантами технологий с выщелачиванием. Предложен алгоритм выбора технологии разработки месторождения. Детализированы и классифицированы способы улучшения исходных свойств полезных ископаемых. Обоснована стратегия увеличения полноты использования недр, которая включает в себя перманентное воздействие на минералы на всех этапах разработки месторождений. Предложена оценка эколого-экономической эффективности этапной разработки месторождений по величине сквозного коэффициента извлечения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** этап; золото; руда; обогащение; выщелачивание; технология разработки; экология; экономика; извлечение.

A.V.Logachev

## TO THE PROBLEM OF RESOURCE-SAVING GOLD MINING

Ideas of gold mining stages within mountain repartition are systematized. Results of researches on receiving gold are given, passing an enrichment stage, options of technologies with leaching. The algorithm of a choice of technology of development of a field is offered. Ways of improvement of initial properties of minerals are detailed and classified. Strategy of increase in completeness of use of a subsoil includes permanent impact on minerals at all development stages of fields. The assessment of ekologo-economic efficiency of landmark development of fields in size of through coefficient of extraction is offered.

**KEY WORDS:** stage; gold; ore; enrichment; leaching; technology of development; ecology; economy; extraction.



Положение золоторудной промышленности России осложняется ухудшением качественного состава золотосодержащего сырья, что переводит более 50% запасов золота в категорию неактивных [1].

Наращивание конкурентоспособного и рентабельного производства золота основывается на комбинировании традиционной горной технологии с новыми технологиями: кучным и электро-сорбционным выщелачиванием, электрохимическим извлечением, гидрометаллургическим переделом растворов и т.п. Сырьем для повторного извлечения золота являются отходы флотационного обогащения руд и запасы некондиционного сырья. Вопросы получения золота из накопленных отходов добычи и переработки руд формирует самостоятельную крупную проблему горной науки и практики [2].

При разработке сложно-структурных маломощных золоторудных месторождений с резкими изменениями условий залегания в недрах и на поверхности создаются техногенные месторождения некондиционного сырья.

Одним из направлений повышения эффективности освоения золоторудных месторождений является комплексирование возможностей традиционных и инновационных технологий получения металлов из отходов добычи и переработки руд путем создания на первом этапе разработки благоприятных условий для извлечения золота на последующих этапах разработки.

Разработка месторождений, в том числе и золота, представляет собой совокупность систем извлечения полезного ископаемого, объединяемых по критерию экономической целесообразности. В зависимости от внешних условий существования систем горное предприятие переживает от одного до нескольких этапов.

Первый этап характеризуется опережающей выемкой богатых участков месторождения с целью скорейшего получения финансовых потоков для развития производства от реализации золота на рынке. Потери в целиках и хвостах обогащения компенсируются увеличением выдачи богатых руд, запасы которых еще велики. Технология обогащения руд не позволяет полностью извлечь золото, поэтому с хвостами теряется до 30% полезных компонентов [3].

Второй этап характеризуется снижением запасов богатых руд, расположенных в удобных для их выемки участках месторождений. Уменьшение содержания золота в руде компенсируется увеличением добычи с целью сохранения количества выпускаемого золота. В горный передел вовлекаются объемы бедных и убогих руд, превышающие объемы первого этапа в разы.

Практика двухэтапной разработки месторождений России характеризуется сочетанием открытого и подземного способов разработки месторождений и пиро-, гидрометаллургических технологий извлечения золота из руды.

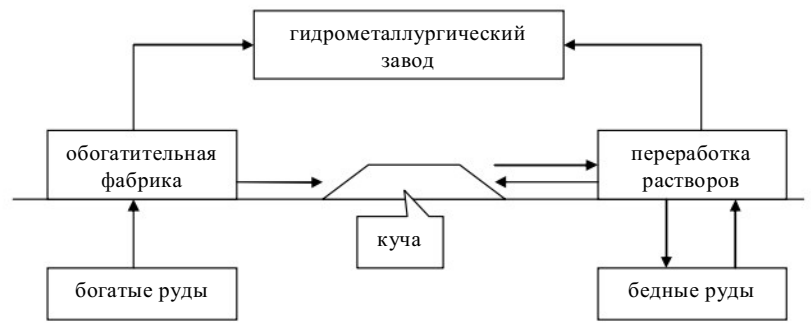
Если на первом этапе эксплуатации месторождений вынимаются только богатые руды с извлечением золота на гидрометаллургическом заводе, а на втором этапе богатые целики и бедные руды, то на третьем этапе перерабатываются забалансовые руды и хвосты обогащения руд.

Возможность получения золота, минуя стадию обогащения, предоставляют технологии с подземным выщелачиванием. Одна только конверсия производства на бедные руды экономически не всегда оправдана, поскольку для выщелачивания требуется длительное время и реконструкция производства. Рационализация производства сводится к нахождению приемлемого компромисса между количеством и качеством разнорудных руд, выдаваемых на земную поверхность и оставляемых для переработки на месте залегания [4].

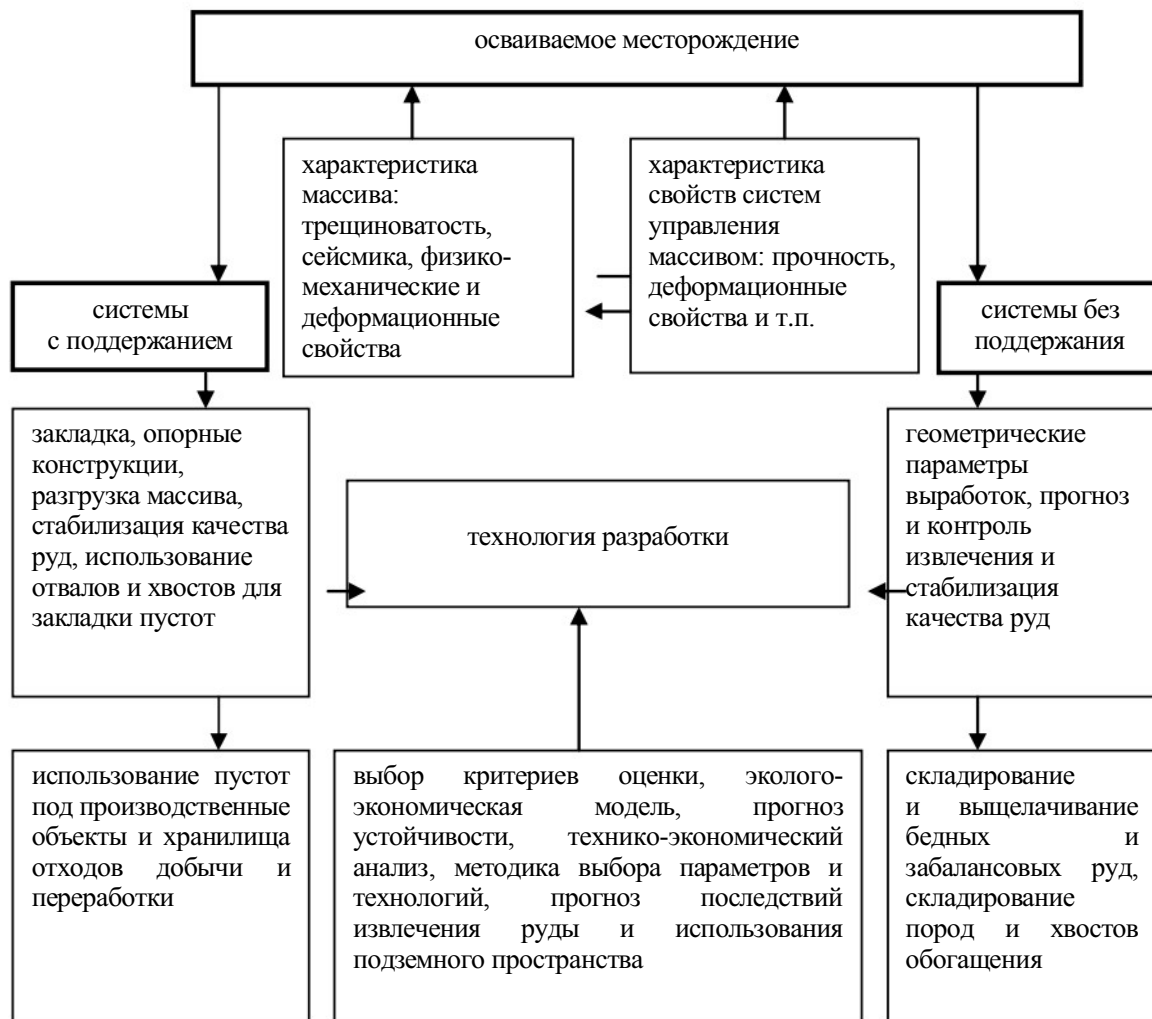
## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Оптимальной по экономическому критерию схемой разработки месторождения является реализация всех трех этапов подземной разработки, увязанная во времени и пространстве (рис.1).

Выбор путей совершенствования технологии осуществляется во взаимосвязи процессов разведки запасов, добычи, обогащения и металлургического передела на основе системного подхода с учетом возможностей использования горных выработок в дальнейшем (рис.2) [5].



**Рис.1. Принципиальная схема разработки месторождения в 3 этапа**

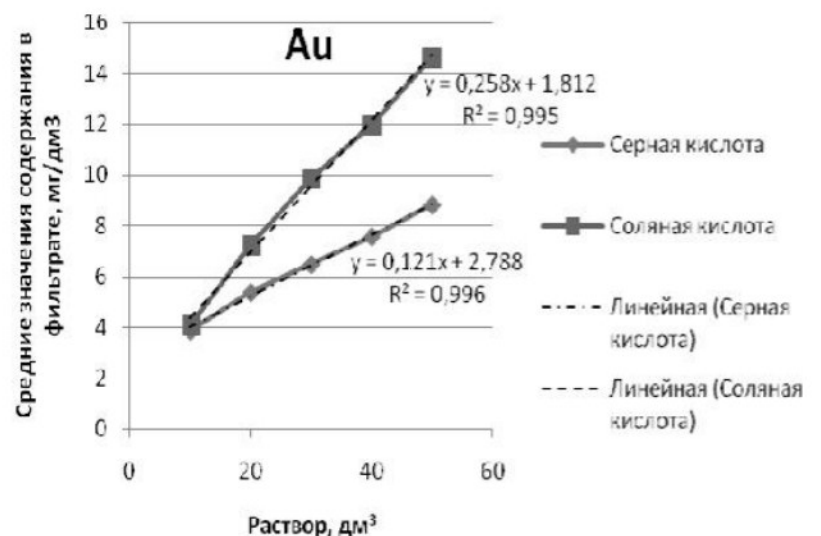


**Рис.2. Алгоритм выбора технологии разработки месторождения**

Показатели извлечения золота из запасов техногенных месторождений улучшаются до приемлемого по экономическим соображениям уровня при использовании инновационных технологий подземного, кучного, сорбционного и электрохимического извлечения металлов.

Возможности фильтрационного выщелачивания золота исследованы на хвостах переработки руд месторождения Бадран с извлечением из хвостов флотации 75% серебра и 52% золота.

При использовании серной и соляной кислот содержание металлов в продуктивном растворе с увеличением объемов реагентов увеличивается, а для активированных стоков наблюдается обратная зависимость (рис.3).



**Рис.3. Показатели извлечения золота в раствор**

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Определено, что эффективность извлечения золота из сульфидсодержащего сырья зависит от степени ассоциации золота с пиритом и арсенопиритом и их размеров и других параметров, оптимальное значение плотности тока для выщелачивания золота из исследованных сульфидных руд лежит в пределах 800-1000 А/м<sup>2</sup> площади анода, а оптимальное значение температуры электрохимического процесса растворения сульфидов – в пределах 60-80<sup>o</sup>С.

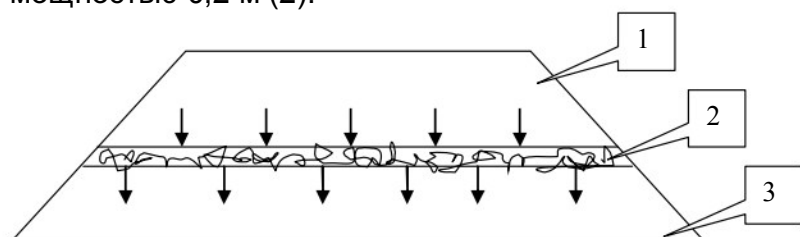
Извлечение золота при поэтапной разработке месторождения обеспечивается размещением хвостов обогащения в хранилищах из условия использования феномена природного выщелачивания.

Показатель оптимальности взрывного дробления - крупность отдельных кусков разрушенного взрывом массива. При добыче металлов выщелачиванием это требование определяется созданием условий для проникновения выщелачивающего реагента вглубь куска [6].

На месторождениях с вкрапленной минерализацией полезный компонент в отбитой руде при дроблении распределяется равномерно по содержанию в кусках разной крупности, поэтому извлечение снижается пропорционально выходу крупных классов.

Исследованы две модели, различающиеся содержанием и характером оруденения золота в хвостах. Массив формируется слоями минералов, обладающих различным содержанием металлов и электрическим потенциалом (рис. 4) [7].

Модель №1. В основании перколятора располагали слой золотосодержащих хвостов переработки золотых руд с вкрапленным оруденением мощностью 0,5 м (1) с содержанием золота 0,8 г/т. Затем располагали слой пород, содержащих оксиды железа, мощностью 0,2 м (2).



**Рис.4.Схема формирования отвала разносортных хвостов:**

1 - слой с меньшим содержанием; 2 - геохимический барьер; 3 - слой с большим содержанием

Эти породы должны играть роль барьера для извлекаемого в верхнем слое золота. Сверху насыпали слой золотосодержащих хвостов мощностью 0,5 м (3) с содержанием золота 0,6 г/т.

Для ускорения эксперимента поверхность верхнего слоя хвостов (3) обрабатывали реагентом - анолитом электролитического разложения шахтных стоков с pH=4,5, имитируя кислотосодержащие атмосферные осадки.

Результаты выщелачивания с геохимическим барьером сравнивали с результатами партии без геохимического барьера.

Вступая в реакцию с раствором, золото хвостов верхнего слоя (3) образует с пиритом слоя (2) легко-растворимые водой соединения  $\text{NaAuS}_2$  и  $\text{Na}_3\text{AuS}_2$ ,

мигрирует в водном растворе и проходит через геохимический барьер – слой (2), где происходит разложение образованных соединений оксидами железа с выделением золота, пирита и освобождением щелочей.

В результате имитированных процессов золото концентрируется в слое (1), где его содержание достигает 1,1 г/т, что достаточно для последующего вовлечения объема обогащенных хвостов слоя (1) в промышленную переработку.

Во вторичных хвостах слоя (3) золота остается около 0,2 г/т, что сравнимо с фоновым содержанием и позволяет утилизировать хвосты или оставить их для повторной переработки по еще неизвестным технологиям. Еще 0,1 г/т золота теряется в породах геохимического барьера.

Модель №2. Соблюдены условия модели №1, но хвосты получены переработкой золотых руд с прожилковым оруденением. Также отработывалась одна модель с аналогичными условиями, но без геохимического барьера.

В результате отвальных процессов золото концентрируется в слое (1), где его содержание достигает 1,2 г/т, что также представляет интерес для последующей промышленной переработки обогащенных хвостов. Во вторичных хвостах слоя (3) остается около 0,1 г/т, что сравнимо с фоновым содержанием и позволяет утилизировать хвосты.

Процесс выщелачивания хвостов в модели №2 отличается большей интенсивностью, что можно объяснить расположением золота при прожилковом характере оруденения ближе к периферии хвостовой частицы. По свойствам хвосты становятся аналогами песка с соответствующими перспективами утилизации.

Концепция увеличения коэффициента использования недр базируется на принципе подготовки запасов к последующему освоению за счет воздействия на состояние отходов производства [8]. Способы улучшения исходных свойств полезных ископаемых классифицируются нами по ряду признаков (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация способов изменения свойств минералов**

Классификационный признак	Вид воздействия	Варианты воздействия
Механизм преобразования минералов	Механическое	Измельчение Активация
	Биологическое	Собственно бактерии Метаболиты бактерий
	Химическое	Посредством реагентов Электрохимическое
Вид силового поля	Гравитационное	В зависимости от физических свойств
	Магнитное	
	Тепловое	
Вид реакционных агентов	Кислотные	В зависимости от химических свойств
	Щелочные	
	Солевые Газовые	
Комплексность воздействия	Моно-воздействие	В зависимости от сочетания свойств

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

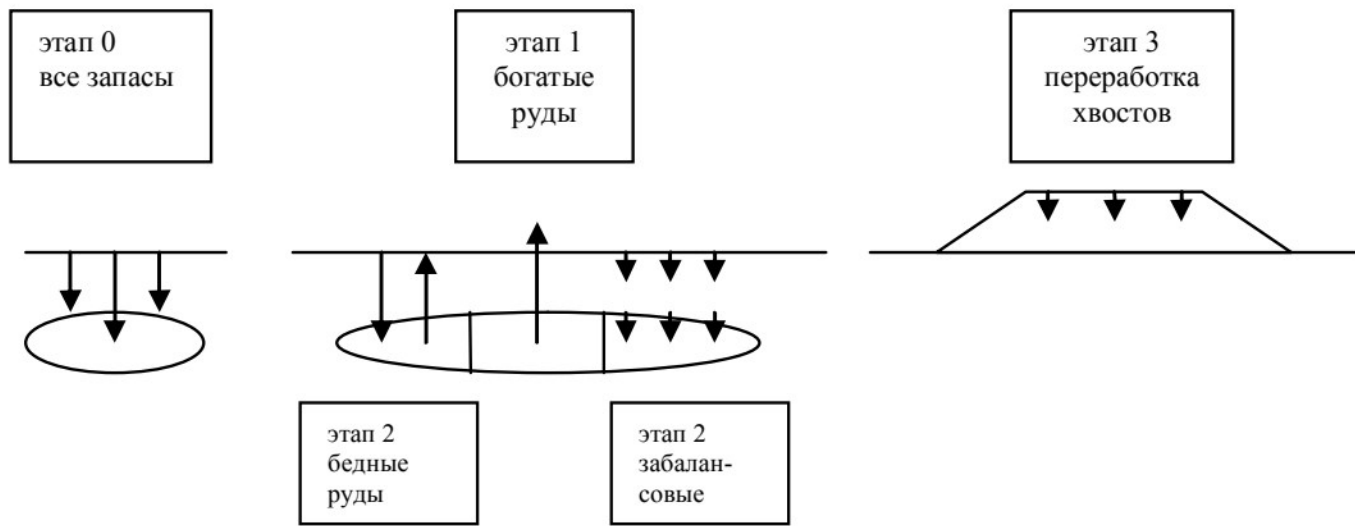
Стратегия увеличения коэффициента использования недр включает в себя перманентное воздействие на минералы на всех этапах разработки месторождений (рис.5).

Эколого-экономическая модель эффективности повышения качества хвостов обогащения:

$$\Pi = \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{n=1}^N \{ (M_{ey} C_{my} + Q_y C_{qy}) \} - \sum_{z=1}^3 [K(I + E_{ny}) + E_q + E_x] - [(M_e C_m + Q C_q) + Q_r C_r] K_c K_y K_r K_b K_r K_{vr} K_q \rightarrow \max$$

где P - продукты утилизации; Q – количество видов

отходов, вовлекаемых в переработку; П – количество технологических процессов переработки отходов; Т - время переработки отходов; F - количество фаз существования рудника и фабрики; N - количество стадий утилизации отходов; З - затраты на утилизацию отходов, руб.; K - капитальные вложения для организации утилизации, руб.; K<sub>c</sub> - коэффициент самоорганизации отвалов; K<sub>y</sub> - коэффициент утечки растворов; K<sub>m</sub> - коэффициент дальности утечки растворов; K<sub>b</sub> - коэффициент влияния металлов на биосферу.



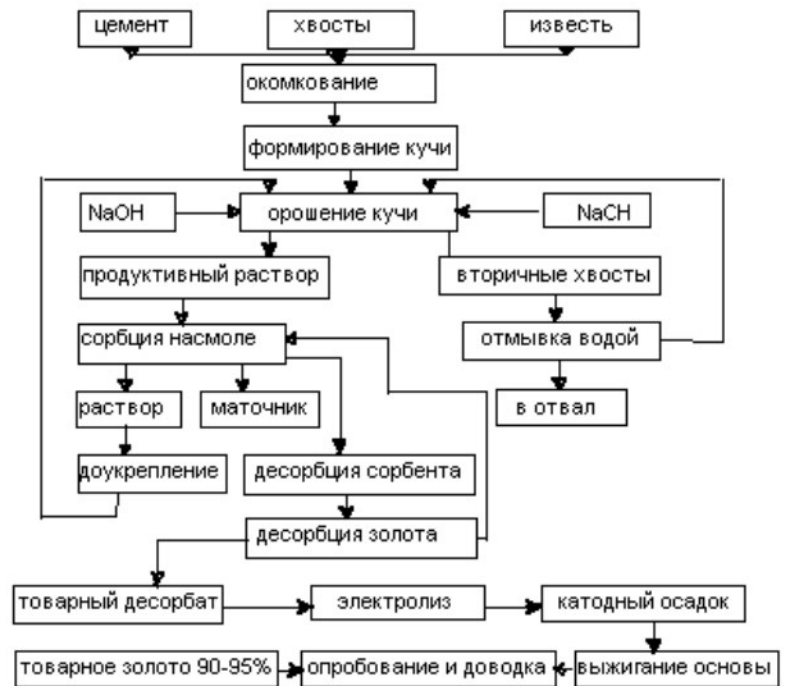
**Рис.5. Геохимическое воздействие на минералы на этапах разработки месторождений**

Эколого-экономическая эффективность трех-этапной разработки месторождений определяется величиной сквозного коэффициента извлечения разноразных золотосодержащих минералов, включая и техногенные, совокупностью отличительных признаков месторождения, объемами добычи разноразных руд, технологической оснащенностью объектов и особенностями физико-химических процессов переработки.

Технология выщелачивания по сравнению с традиционной технологией исключает 5-10% потерь при добыче и 2-2,5% потерь при обогащении. Сквозной коэффициент извлечения при традиционной технологии для среднего содержания металла в запасах блока не превысит 0,86 [9].

На металлургическом заводе будет извлечено 40% золота с коэффициентом извлечения 0,93. Из оставшихся на подземное выщелачивание 50% балансовых запасов при коэффициенте извлечения 0,8 и с учетом потерь при переработке растворов будет получено 39% металла. При содержании золота в забалансовых рудах 1 г/т из них в конечный продукт будет извлечено 2,3% металла, а сквозной коэффициент извлечения составит 0,88.

Оптимальный вариант кучного выщелачивания золота характеризуется агломерацией хвостов, многократным использованием площадок под штабели с 2-х разовой оборачиваемостью в год, временем выщелачивания 90 суток и коэффициентом сквозного извлечения золота не менее 0,65 (рис.6).



**Рис.6. Технологическая схема щелочно-цианистого кучного выщелачивания**

Прибыль от извлечения золота из хвостов обогащения и металлургии с учетом экологического ущерба определяется решением модели:

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

$$\begin{aligned}
 \Pi_x = & \frac{\sum_1^{n_o} (C_{T.O} - 3_{oo} - 3_{om}) Q_o}{t_o} + C_{ш}^o + \\
 & + \frac{\sum_1^{n_m} (C_{T.M} - 3_{om} - 3_{mm})}{t_m} + C_{ш}^m,
 \end{aligned}$$

где  $\Pi_x$  – прибыль от переработки хвостов, руб./т;  $C_{T.O}$  – стоимость реализации продукции переработки хвостов, руб./т;  $3_{oo}$  – затраты на обогатительный передел хвостов обогащения, руб./т;  $3_{om}$  – затраты на металлургический передел хвостов обогащения, руб./т;  $n_o$  – количество извлекаемых компонентов из хвостов обогащения;  $Q_o$  – масса хвостов обогащения, т;  $t_o$  – время переработки хвостов обогащения, год;  $C_{ш}^o$  – штрафы за хранение хвостов обогащения, руб./год;  $C_{T.M}$  – реализация продуктов переработки хвостов металлургии, руб./т;  $3_{mm}$  – затраты на металлургический передел хвостов металлургии, руб./т;  $n_m$  – количество извлекаемых из хвостов металлургии компонентов;  $Q_m$  – масса хвостов металлургии, т;  $t_m$  – время переработки хвостов металлургии, лет;  $C_{ш}^m$  – штрафы за хранение хвостов металлургии, руб./год.

Описанный комплекс инновационных технологий может быть реализован на горных предприятиях депрессивных регионов РФ в рамках диверсификации производства при освоении ранее некондиционных запасов [10,11].

### Заключение

Повышение полноты использования недр при поэтапной разработке месторождений с варьированием количеством и качеством запасов и производственной мощности предприятия и технологическом воздействии формирует крупную проблему для горной промышленности.

Техногенные месторождения некондиционного сырья рационально использовать при перманентном варьировании количеством и качеством запасов и производственной мощности предприятия при использовании инновационных технологий с улучшением показателей извлечения золота из запасов техногенных месторождений до приемлемого уровня. Заслуживает реализации способ увеличения извлечения золота при поэтапной разработке месторождения

за счет рационального размещения хвостов обогащения в хранилищах из условия использования феномена природного выщелачивания дифференцировано для прожилкового и вкрапленного типа оруденения.

Оценка эколого-экономической эффективности этапной разработки месторождений по величине сквозного коэффициента извлечения при выборе способов разработки ставит технологии в равные условия.

### Литература

1. Логачев А.В. Упрочнение сырьевой базы производства золота выщелачиванием металлов на заключительном этапе разработки месторождений. МГГУ. ГИАБ. 2008. №11. -С.86-92.
2. Воробьев А.Е., Голик В.И., Лобанов Д.П. Приоритетные пути развития горнодобывающего и перерабатывающего комплекса Северо-Кавказского региона. Владикавказ: Рухс, 1998. -321 с.
3. Голик В.И. Комащенко В.И., Дребенштедт К. *Mechanochemical Activation of the Ore and Coal Tailings in the Desintegrators. Mine Planning and Equipment Selection DC 10.1007/978-3-319-02678-7\_107*, Springer International Publishing Switzerland. 2014. с.56-61
4. Голик В.И. Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированными методами активации. Обогащение руд. 2010. №5. С. 38-40.
5. Логачев А.В. Технологии управления состоянием массива при отработке подработанных вкрапленных руд. /Габараев О.З., Сабанов Н.А, Петрова О.В., Логачев А.В. Ногаев А.Х. МГГУ/ ГИАБ. 2008. №2.-С.63-69.
6. Белин В.А., Логачев А.В., Исмаилов Т.Т. Управление параметрами взрыва при подготовке руд к выщелачиванию. МГГУ. ГИАБ. 2008. №11. -С.46-51.
7. Голик В.И., Алборов И.Д., Цгоев Т.Ф. Охрана окружающей среды утилизацией отходов горного производства. ИПО СОИГСИ. 2010.
8. Гуриев Г.Т., Воробьев А.Е., Голик В.И. Человек и биосфера: устойчивое развитие. Владикавказ, 2001. 267 с.
9. Голик В.И. Технологии освоения месторождений урановых руд/В книге В.И.Голик, О.С.Брюховецкий, О.З.Габараев. РГГУ. Москва, 2007.
10. Голик В.И., Ермоленко А.А., Лазовский В.Ф. Организационно-экономические проблемы использования природных ресурсов Южного Федерального округа. Учебное пособие. Краснодар. ЮИМ.2008.
11. Голик В.И., Алборов И.Д. Охрана окружающей среды утилизацией отходов горного производства. М.: Недра, 1995.

---

Александр Владимирович Логачев, канд.техн.наук, доцент,  
Южно-российский государственный политехнический  
университет им.М.И.Платова, тел. 8-928-102-71-71,  
8(86369) 2-61-73

Ю.А.Чернегов

## О СОЗДАНИИ МОРСКОЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ РОССИИ

Рассмотрен один из важнейших путей использования Мирового океана - добыча полезных ископаемых и разработка водных минеральных ресурсов и ресурсов морского дна, приобретающий все большую актуальность по мере истощения запасов металлических руд на суше и развития технического прогресса. Произведена оценка опыта, перспектив и путей развития технологий добычи железо-марганцевых конкреций, кобальто-марганцевых корок, газогидратов и других ресурсов морской горнодобывающей отрасли.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Мировой океан; добыча полезных ископаемых; морская горнодобывающая отрасль; технический прогресс.

Yu.A.Chernegov

## ABOUT CREATION OF SEA MINING RUSSIA

One of the most important ways of use of the World Ocean - mining and development of water mineral resources and resources of a seabed, gaining the increasing relevance in process of exhaustion of reserves of metal ores on the land and developments of technical progress is considered. The assessment of experience, prospects and ways of development of technologies of production of iron manganese concretions, cobalt manganese crusts, gas hydrates and other resources of sea mining branch is made.

**KEY WORDS:** World Ocean; mining; sea mining branch; technical progress.



Полезные ископаемые на дне Мирового океана могут находиться на дне, ниже уровня дна и в воде.

**Полезные ископаемые на дне**

Многие виды минерального сырья, связанные с морями и океанами, давно уже используются человечеством. Это в первую очередь относится к самой водной массе, которая служит источником выварочной поваренной соли, а с недавних пор – йода и брома, в перспективе ее можно рассматривать в качестве неиссякаемого источника материалов для ядерного синтеза – дейтерия и трития. С водами морей и океанов связаны крупные концентрации известковистого (коралловые рифы атоллов и образующиеся при их разрушении пески) и кремнистого (диатомеи) материала, в том числе искусственно воспроизводимого (имеется в виду опыт Исландии, где на базе вулканического тепла в изолированных водоемах ежегодно выращивается до 25 тыс.т диатомей – прекрасного адсорбирующего материала). В прибрежно-морских лагунах формируются эвапоритовые образования (магниевые соли и др.). Сюда же следует отнести бальнеологические комплексы (целебные грязи и рассолы).

Длительную историю имеет опыт разработки прибрежно-донного материала, сносимого в ходе эрозии коренных пород континентальных окраин. Это и разнообразные строительные материалы (галечники, пески), и залежи тяжелых минералов (золота, циркона, рутила, ксенотима, сфена, алмазов и др.), а также скопления раковин (минеральные добавки к рациону питания домашних животных и птиц).

На дне океана полезные ископаемые присутствуют в виде россыпей (титановые и оловянные пески, алмазы, жемчуг, янтарь) и в виде сплошных формирований (железомарганцевые конкреции и кобальто-марганцевые корки).

Разработка россыпей производится с использованием драг и земснарядов. Примером использова-

ния драг является разработка оловянных россыпей на шельфе Ледовитого океана к северу от устья р.Колымы. Опытные работы по использованию земснарядов для извлечения титановых песков велись Московским горным институтом на шельфе островов Курильской гряды (о-ва Итуруп и Шикотан) и на Балтийском море (в районе г.Лиепая).

В настоящее время имеется острая необходимость в порядке импортозамещения и обеспечения национальной безопасности приступить к разработке титановых песков в русле р.Амур, ее притоков, в Татарском проливе и на шельфе островов Курильской гряды, поскольку титановые пески, являющиеся сырьем для металлургической промышленности Урала, почти полностью поставляются с Украины, потребляются оборонно-промышленным комплексом и аэрокосмической отраслью, а также экспортируются в США и Европу для изготовления несущих конструкций самолетов Boeing, Airbus и ракет.

Для добычи жемчуга и алмазов в Африке и Южной Азии используют ныряльщиков и водолазов.

Свыше 40 лет тому назад в музее фирмы Rein Braun Cole (ФРГ), занимавшейся добычей бурого угля, демонстрировался агрегат для разработки железо-марганцевых конкреций (ЖМК) со дна Тихого океана. Агрегат имел нечто общее с драгой, но вместо жесткой рамы и цепей с ковшами использовались ковши на канатной подвеске. Агрегат некоторое время работал.

К настоящему времени отечественными и зарубежными специалистами выполнено свыше 20 независимых технико-экономических оценок, результаты которых свидетельствуют о том, что эксплуатация глубоководных месторождений ЖМК является принципиально осуществимой. В целом определены контуры технологического цикла освоения месторождений ЖМК, который включает поисково-оценочные работы и добычу конкреций (сбор и подъем на поверхность, транспортировка к месту переработки, обогащение и металлургический передел). Транснациональные консорциумы (из компаний США, Германии, Великобритании, Канады, Нидерландов, Бельгии,

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Японии, Италии), ведущие работы в зоне Кларифон – Клиппертон, еще 1990-х гг. испытали технологию опытной добычи ЖМК. США создали специальное судно для совершенствования технических средств опытной добычи ЖМК и доказали ее техническую возможность.

Океанические залежи ЖМК обычно рассматриваются в качестве потенциального источника в первую очередь кобальта, затем никеля – металлов, особо дефицитных на мировом рынке. Однако для Российской Федерации, испытывающей острый недостаток марганцевого сырья, ЖМК могут служить исходным материалом для получения природно-легированных ферро-марганец-никель-кобальтовых сплавов. С этой целью ЖМК могут переплавляться на «массу», с исключением операции по их предварительному обогащению и разделению. Это позволит, во-первых, ликвидировать дефицит легирующих металлов, а, во-вторых, значительно удешевить процесс переработки ЖМК. Исходя из этого, необходимо вернуться к проблеме промышленного освоения залежей ЖМК, выделенных нам в районе Тихого океана, имея при этом в виду, что время действия лицензии неумолимо сокращается. Это не только правово-политическая, но и чрезвычайно актуальная для России стратегическая экономическая проблема

Железо-марганцевые конкреции устилают дно океанов. Кобальто-марганцевые корки (КМК), также содержащие широкий спектр элементов, покрывают склоны подводных горных хребтов. Интерес к последним определяется, прежде всего, дефицитом кобальта на мировом рынке и отсутствием ясных перспектив открытия новых месторождений на суше.

В последние десятилетия зарубежными экспедициями получены подробные данные по объектам КМК в Тихом океане в пределах рудных полей островов Океании. В результате моделирования объектов КМК установлены технико-экономические показатели, обеспечивающие их рентабельную разработку (рентабельность 14,3-19,5%, срок окупаемости капитальных вложений 3-3,5 года).

В настоящее время основной объем производства кобальта в мире приходится на политически нестабильные страны (Заир – 57%, Замбия – 11% общего объема производства), при этом кобальт, как правило, является попутным продуктом при производстве меди. Поэтому производство кобальта зависит от спроса на медь. Этот факт может привести горнорудные компании к выводу о том, что добыча КМК может стать новым и более надежным источником производства кобальта.

Сейчас Китай является единственной страной, которая активно выступает за разработку КМК. Правительство КНР провело ряд переговоров с представителями правительства Гаваев по вопросу строительства на одном из островов фабрики по переработке кобальто-марганцевой руды. По имеющимся оценкам наиболее перспективным для разработки в настоящее время является месторождение КМК в районе Маршалловых островов.

На юго-западе Тихого океана есть ряд рудных конусов, в результате чего возник интерес к добыче золота. Самая большая гора, известная как Conical Seamount, представляет собой месторождение полезного ископаемого с исключительно большим содержанием золота. Тип минерализации указывает на участие в формировании минерализации магматических расплавов с высоким содержанием золота. Оно расположено на относительно небольшой глубине (около 1050 м) в территориальных водах Папуа – Новой Гвинеи, что делает его перспективным для разработки. Есть и другие проекты разработки рудных, в основном золотосодержащих месторождений. Расчеты показывают высокую степень их конкурентоспособности.

Наличие подобных объектов вполне вероятно в активной вулканической зоне п-ва Камчатка.

Недавно открыты фосфатные илы и замещенные фосфатами карбонатные породы. Промышленный интерес вызывают желваковые фосфориты морского дна. На шельфе Юго-Западной Африки обнаружено современное образование фосфатных стяжений – месторождения образуются на глазах.

### Полезные ископаемые под дном

В зоне перехода континент - океан известны месторождения, залежи и пласты которых плавно переходят с суши под воду. Это и угленосные толщи, разрабатываемые на западном побережье Аляски, и нефтеносные комплексы Мексиканского залива, и рудные штокверки Папуа-Новой Гвинеи, и др. Главная трудность их промышленного освоения связана с возможностью прорывов морских вод в горные выработки. Наряду с такими месторождениями известны и перспективные объекты, как рудные (Папуа-Новая Гвинея), так и, особенно, нефтегазовые (Бованенковское месторождение).

Согласно целому ряду исследований общие потенциальные ресурсы нефти и газа дна Мирового океана оцениваются в 1,8-2,1 трлн. т условного топлива, что намного превышает разведанные запасы углеводородного сырья на суше.

К настоящему времени в мире известно свыше 2000 морских месторождений нефти и газа. Уже к 1976 г. годовая добыча «морской» нефти превысила 500 млн.т, что составило около 25% всей добычи в мире. По прогнозу Л.Г.Уикса из акваторий до изобаты 305 м можно извлечь 289 млрд.т нефти и 140 трлн.м<sup>3</sup> газа.

По оценкам ученых и специалистов, площадь распространения нефтеперспективных отложений составляет свыше 15 млн.кв.км. При этом наиболее перспективной является мелководная часть акваторий Мирового океана – континентальный шельф, наиболее доступный для освоения углеводородных ресурсов. С началом систематических исследований и освоения нефти на континентальном шельфе представление о величине углеводородных ресурсов морского дна существенно расширились. Если раньше нефтегазоносность континентального шельфа рассматривалась в пределах изобаты моря 200 м, то



в настоящее время нефть фактически добывается из отложений континентального склона и его подножия при глубине моря свыше 1000 м. Рекордной глубиной залегания эксплуатируемого нефтяного месторождения стала глубина моря 1853 м (месторождение Roncadog, Бразилия). Исследования и инженерные работы интенсивно ведутся в разных странах на глубине моря свыше 2000 м.

Освоение глубоководных месторождений сопровождается быстрыми изменениями в технике и технологии бурения. Сложилось три главных центра глубоководных работ: у берегов Бразилии, вдоль западного побережья Африки (от Сенегала до Намибии) и в американском секторе Мексиканского залива, где в условиях больших глубин пробурено свыше 700 поисковых скважин и открыто 150 нефтяных и газовых месторождений, в том числе гигантских. Приоритет этих регионах отдается углеводородам и принадлежит Бразилии, где в глубоководной части бассейна Кампос уже разрабатываются 40 нефтяных месторождений. Три крупнейших месторождения – Марлим, Альбакора и Ранкадор – имеют совокупные разведанные запасы свыше 1,1 млрд.т нефти.

С высокой эффективностью изучение глубоководной акватории ведется у побережья Западной Африки, прежде всего Анголы и Нигерии. Здесь в условиях пассивной окраины Атлантического океана выявлена система регионального развития турбидитовых отложений, с которыми связаны такие крупнейшие (100-300 млн.т) месторождения как Джирасол, Бонга, Диканза и др. Значительными являются и запасы средних открытых месторождений, оцениваемые в 44 млн.т.

В Мексиканском заливе темпы освоения ресурсов глубоководной области являются наиболее высокими в мире. Если до 1991 г. за пределами изобаты 300 м было открыто 15 месторождений, то за 1990-е годы – 67 месторождений. Средние запасы месторождений здесь ниже, чем у побережий Бразилии и Африки (71 млн.т), но наиболее крупные имеют запасы, превышающие 100 млн.т (Греси Хорс, Льяно и др.).

Газовые гидраты – это минералы, состоящие из молекул газа, заключенных в ячейки из молекул воды. Так называют соединения включения: молекулы воды связываются между собой водородными связями и формируют каркасы с обширными полостями внутри. Между молекулами газа и воды химических связей не образуется, они удерживаются только слабыми межмолекулярными вандерваальсовскими взаимодействиями. Внешне газогидраты напоминают мокрый спрессованный снег, переходящий в лед, но могут выглядеть и как изящные кристаллы разнообразной формы, если при их образовании не было перемешивания. На сегодня выделены три типа газогидратов (I, II и H). Газогидраты I типа наиболее распространены; они представлены преимущественно молекулами биогенного метана. Газогидраты II и H типов могут содержать более крупные молекулы, составляющие термогенный газ.

Установлено, что образование и распростране-

ние газогидратов контролируется соответствующими термобарическими условиями, наличием достаточного количества газа и воды, химическим составом газов, соленостью поровой воды, наличием эффективных миграционных путей для газа и воды, присутствием коллекторов и покрышек. Газогидраты могут встречаться в природе в различной форме: в виде цемента, пластин и прожилок. Мощность большинства осадочных разрезов, содержащих газогидраты, варьирует от десятков сантиметров до десятков метров. Мощность пластов чистых гидратов, как правило, измеряется в миллиметрах или сантиметрах. При извлечении на поверхность газогидраты легко распадаются на воду и газ, причем из 1 м<sup>3</sup> газогидратов может выделиться до 180 м<sup>3</sup> природного газа.

Процесс образования газогидратов идет с выделением тепла, а процесс разложения – с его поглощением. Разложение газогидратов на газ и воду связано с повышением температуры или снижением давления.

К настоящему времени благодаря сейсморазведочным и буровым работам обнаружено около сотни мест скопления природных газовых гидратов на суше и на море. Газогидратные скопления распространены практически повсеместно вдоль побережья глубоководных морей и океанов, что делает их глобальным источником энергии. Некоторые из них представляют собой обширные поля гидратосодержащих пород, покрывающие значительные (в несколько десятков тысяч квадратных километров) площади морского дна, другие – локальные скопления вокруг каналов высачивания глубинных газов. Общие объемы метана в природных гидратах оцениваются огромными цифрами – до 21×10(15) м<sup>3</sup>, хотя в последние годы появляются более умеренные оценки – 2-7×10(15). Для сравнения: оценки суммарных потенциальных ресурсов природного газа других источников (кроме водорастворенных газов подземных водоносных горизонтов) не превышают 1,1×10(15) м<sup>3</sup>.

Газогидраты выявлены почти на 50 площадях мира. По некоторым оценкам, 98% ресурсов газогидратного газа присутствуют на морских континентальных окраинах и 2% - в районах вечной мерзлоты на суше. Данные исследований арктических газогидратов показывают, что в регионах вечной мерзлоты они могут существовать на глубинах от 130 до 2000 м от поверхности. Примерно 10% площади Мирового океана является потенциально газогидратоносной. Присутствие газогидратов на морских континентальных окраинах было установлено по аномальным сейсмическим отражающим горизонтам (bottom-simulating reflectors –BSR), отождествляемых с подошвой гидратоносных отложений на глубинах от 100 до 1100 м от морского дна. Глубоководным бурением газогидраты были вскрыты юго-восточнее и западнее США, вблизи Канады, Перу, Коста-Рики, Гватемалы и Мексики, у берегов Японии, в Мексиканском заливе. Они обнаружены также в Средиземном, Черном, Каспийском, Южно-Китайском морях, у берегов Калифорнии, Южной Кореи, Индии и в других местах. Од-

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

нако только небольшое число газогидратных скоплений изучено более или менее детально.

Американскими учеными была выполнена оценка газа по наиболее изученным газогидратным скоплениям. Расчеты показали, что газогидратное скопление на хребте Блейк (юго-восточная континентальная окраина США) содержит геологические запасы газа в гидратной форме – около 37,7 и свободного газа под газогидратами – 19,3 трлн.м<sup>3</sup>. Сейсмически оконтуренное газогидратное скопление на континентальном шельфе Каскадия (Канада) площадью около 6000 кв.км может содержать около 2,8 трлн.м<sup>3</sup> газа. Ресурсы газа в газогидратном скоплении Малик в северной Канаде составят около 110 млрд.м<sup>3</sup>. Предварительные результаты по скважинам в прогибе Нанкай (Япония), пробуренным до глубины 945 м, показывают, что здесь в интервале глубин от 207 до 265 м присутствуют три песчаные стратиграфические единицы общей мощностью около 16 м. Здесь предполагается наличие обширного газогидратного скопления (160 кв. км), содержащего 121 млрд.м<sup>3</sup> газа. По оценкам на 2001 г., все газогидратные скопления в прогибе Нанкай могут содержать до 60 трлн.м<sup>3</sup> газа. В 2006 г. появилось сообщение об открытии крупного газогидратного скопления вблизи дна Японского моря в 30 км севернее Дзёцу (префектура Ниигата) на глубине воды 800-1000 м. Ресурсы газа в этом скоплении оцениваются в 7 трлн.м<sup>3</sup>; при нынешнем уровне потребления природного газа этих ресурсов хватило бы Японии на 100 лет. В 2007 г. Южная Корея сообщила об обнаружении крупного скопления газогидратов между Южной Кореей и Японией, что может обеспечить ее потребность в газе на протяжении 30 лет. Также в 2007 г. появилось сообщение о том, что в северной части Южно-Китайского моря Китай выявил ресурсы газа в газогидратах в объеме 100 млн.т в нефтяном эквиваленте, что составляет около трети потребления нефти в Китае в год.

По оценкам Газового исследовательского института США (2003 г.), геологические ресурсы газа в газогидратных скоплениях США составляют 9056 трлн.м<sup>3</sup>, и, если удастся извлечь хотя бы 1% газа из этих скоплений, потребности США в газе будут удовлетворяться на протяжении 100 лет. США рассматривают эти ресурсы как стратегический резерв, который позволит обеспечить энергетическую безопасность страны в будущем. Национальная оценка ресурсов нефти и газа, выполненная Геологической службой США в 1995 г., впервые включила оценку геологических ресурсов природных газогидратов на суше и на акваториях США. В пределах четырех морских и одной сухопутной (северный склон Аляски) газогидратных провинций было выявлено одиннадцать газогидратных месторождений. По данным Департамента энергии США, газогидраты на северном склоне Аляски могут содержать порядка 16,7 трлн.м<sup>3</sup> газа, т.е. намного больше ресурсов традиционного газа в этом регионе.

Прогнозные ресурсы газа в газогидратах Индии оцениваются в 1894 трлн.м<sup>3</sup>, т.е. в 1700 раз больше

доказанных запасов природного газа в стране (около 1,09 трлн.м<sup>3</sup>); около 55 трлн.м<sup>3</sup> прогнозных ресурсов газогидратов установлено у восточного побережья Индии.

По данным компании NRC, канадские газогидраты содержат 45-800 трлн.м<sup>3</sup> газа.

Хотя обширные площади мировых континентальных окраин подстилаются газогидратами, концентрация их в большинстве морских скоплений очень низкая, что создает проблемы в отношении технологии добычи газа из широко разбросанных скоплений.

Из арктических и приарктических регионов России наиболее перспективным в отношении ресурсов газогидратного метана по многим параметрам является север Западной Сибири. Мессояхское месторождение этого региона – первое, где газогидратные залежи были открыты. Здесь впервые опробовали и методы разработки газогидратной залежи в режиме снижения пластовых давлений в подгидратной газовой залежи. Однако в масштабах севера Западной Сибири это месторождение относится к мелким, а региональные условия позволяют рассчитывать на открытие гигантских газогидратных скоплений. По оценкам специалистов ВНИИгаз, общие ресурсы гидратного метана севера Западной Сибири оцениваются в 11 трлн.м<sup>3</sup>, в том числе в крупных сконцентрированных скоплениях – 34 трлн.м<sup>3</sup>.

Предлагаемые способы извлечения газа из газогидратов связаны с переводом их из твердого состояния в свободное непосредственно в пласте. Это может быть осуществлено в результате нагрева коллектора выше температуры образования гидратов, снижения пластового давления ниже давления равновесия гидратов, закачки в коллектор ингибиторов (метанол, гликоль и др.) для понижения стабильности гидратов.

Особая проблема – освоение газогидратов. Их общие прогнозные ресурсы оцениваются многими тысячами триллионов кубических метров природного газа. Опыт их освоения уже имеется: в районе Канадского шельфа на месторождении Малик пробурены три скважины, из которых получен промышленный приток природного газа, представленного преимущественно метаном. В печати появились сообщения, что работниками НАН Украины создан метод добычи газогидратов, скапливающихся на дне Черного моря [1].

Обнаружение на западном континентальном склоне Африки запасов углеводородов, на восточном континентальном склоне Бразилии гигантской провинции традиционного газа и на западном континентальном склоне Мексики гигантского месторождения нефти свидетельствует о перспективах поиска углеводородов на больших глубинах океана, что вызывает потребность в создании соответствующих технологий и технических средств.

Осваивая нефтегазовые ресурсы Магаданского шельфа, необходимо учитывать, что в Охотском море ледовая обстановка существенно более тяжелая, чем в Ледовитом океане. Паковые льды этого моря ско-

рее могут повредить буровую платформу и привести к безвозвратным потерям рыбных запасов этого богатейшего района. Соответствующие задачи надо поставить перед заводом в г.Большой Камень.

Возможно, надо рассмотреть вариант освоения особо перспективных запасов Магаданского шельфа с помощью подводной робототехники, что позволит в дальнейшем использовать ее в акваториях других полярных морей.

### Полезные ископаемые в воде

Минеральные ресурсы в водах Мирового океана представлены взвесями твердых частиц и водными растворами газов.

По мере освоения больших глубин необходимо уделить внимание такому нетрадиционному виду сырья, как углеводороды, растворенные в пластовых водах. По имеющимся оценкам запасы метана в пластовых водах многократно перекрывают запасы традиционного газового сырья и практически неисчерпаемы. Однако водорастворенный газ фактически пока не используется. Основная причина заключается в том, что каждая скважина в отдельности дает слишком низкий дебит газа, при огромных объемах попутной минерализованной воды, которую необходимо утилизировать во избежание загрязнения окружающей среды. Однако не исключено, что с глубиной, вследствие значительного увеличения содержания газа в пластовых водах, его дебиты будут возрастать.

Проблема освоения мирового океана помимо добычи минерального сырья с океанического дна включает задачи разведения «металлолюбивых» бактерий и нефтесодержащих водорослей. При этом «металлолюбивыми» называют микроорганизмы, способные эффективно извлекать металлы из морской воды при наличии в ней даже их следов. Доктор Лоуренс Раймонд из Баттельского мемориального института продемонстрировал водоросли, содержащие большое количество нефти. К настоящему времени их разведение с целью выделения нефти уже стало экономически выгодным [2].

Использование «металлолюбивых» бактерий для извлечения из воды металлических химических элементов может быть наиболее эффективным в абсолютно и относительно закрытых морях и заливах, таких как Каспийское, Черное, Азовское, Средиземное моря и Мексиканский залив, поскольку впадающие в них реки Дунай, Днепр, Дон, Волга, Урал и Миссисипи человек давно уже превратил в сточные каналы множества предприятий разных профилей. Завод по производству бактерий, модифицируемых для извлечения разных руд, находится в Республике Адыгея.

Показательна находка в Красном море, где в 60-х годах открыли впадины, целиком заполненные горячими рудными илами. В самой большой из них придонный слой «жидкой руды» имеет мощность 200 м. И если его выкачать и высушить, получится сухой рудный концентрат, который содержит 46% же-

леза, 25% марганца, 10% цинка, 6% свинца, 3% меди, а также 300 граммов серебра и 5 граммов золота на тонну концентрата [3]. По-видимому, при анализе не обратили должного внимания на содержание редкоземельных металлов. Находка приурочена к разлому земной коры между континентами Африки и Азии, имеющемуся на глубине порядка 4,5 км.

Аналогичные разломы зафиксированы методами геофизики в Атлантическом и Тихом океанах. Эти разломы приурочены к существенно большим глубинам океанического дна, и пока их содержание не изучено.

В пласте мощностью 200 м во впадинах Атлантис И, Чейн и Дискавери в десятки тысяч раз превышены содержания железа, марганца, цинка, свинца, меди, золота, серебра, индия, кобальта, кадмия, мышьяка, ртути в рудах. На дне впадин в осадках обнаружены высокие концентрации сульфидов.

В 1997 г. австралийская компания взяла в аренду у правительства Папуа - Новой Гвинеи два участка в море Бисмарка, на дне которого находятся минеральные источники, дающие возможность извлечения из воды минеральных ресурсов.

В Черном море сероводород присутствует во всей глубинной акватории, приближаясь к поверхности в центре моря и до 300 м у берегов. Сероводород в морской воде - не уникальное свойство Черного моря. Воды, содержащие этот газ, бывают в Индийском океане (Красное море), Атлантическом (побережье Намибии) и Тихом (побережье Перу) океане, временами появляются в Каспийском и других морях и даже в озерах (Мертвое море). Запасы сероводорода в Черном море оцениваются в 80% мировых и достигают одного миллиарда тонн. Сегодня известны три главных источника сероводородного насыщения водоемов: переработка сульфатредуцирующими бактериями сульфатов при разложении мертвого органического вещества; сероводород просто выделяется при гниении серосодержащих органических веществ; он может поступать из глубин земной коры гидротермальными водами из расщелин морского дна. Таким образом, этот ресурс является возобновляемым.

Известно, что во время Крымского землетрясения в 1927 г. Черное море «горело». Пламя охватывало значительные районы как по площади, так и по высоте. В Библии написано, что «горело» и Мертвое море, поскольку в древние времена эта область была очень сейсмически активна. Все изложенное позволяет говорить, что сероводород является крупным энергетическим ресурсом, который пока недостаточно оценен.

Появляется возможность управляемого использования этого энергоносителя для производства электроэнергии с применением созданных технологических предварительного разложения сероводорода на водород и серу. Серьезную потребность в экологически чистом источнике (водородная энергетика) в этом

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

регионе испытывает не только Россия, но также все причерноморские государства: Украина, Молдавия, Румыния, Болгария, Турция, Грузия и Абхазия.

Важными преимуществами извлечения сероводорода из воды являются следующие: технология извлечения газа из жидкой среды гораздо проще, чем из однородной; не требуется бороться с отравляющими катализатор веществами, содержащимися в природном газе; степень извлечения сероводорода как возобновляемого ресурса не имеет значения с позиции полноты использования, и она превращается в задачу технико-экономического обоснования.

Представляют определенный интерес разработки Института биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, которые открывают путь к получению электроэнергии и серы прямо из сероводорода, без предварительного химического преобразования в водород. Ключевыми элементами разработки являются электрохимические генераторы и топливные элементы, которые работают на водороде или водородсодержащем сырье. Такие элементы пока существуют только как лабораторные образцы. Привлекательной стороной разработки является то, что она позволяет получать электроэнергию непосредственно из морской воды, содержащей сероводород без выделения и очистки водорода. Важно и то, что при выработке электроэнергии таким способом в окружающую среду не выделяется углекислый газ, а вода без извлеченного из нее сероводорода возвращается обратно в море.

Существуют также и технические трудности на пути использования сероводорода. Для питания электрохимического генератора мощностью только 60 МВт требуется площадь поверхности электродов около 1 кв.км. Топливные элементы на природном газе существуют в лабораториях уже несколько десятков лет, но промышленный образец пока не создан.

Существует также проблема расширения области использования серы за пределы ее применения в сернокислотном производстве, где потребляется порядка 50% серы. В производстве 88 из 150 важнейших химических продуктов используют либо саму серу, либо ее соединения. Тем не менее, в мире существует избыток серы. Обнаружена эффективная область использования серы в виде серополимеров, сероасфальта и серобетона, но реальные объемы ее применения пока весьма ограничены.

Водород может быть использован для гидрирования угля в целях повышения теплоты его сгорания. Сероводород - сильный восстановитель, и этим его свойством пользуются во многих химических производствах.

Научно-технические высокотемпературные технологии с использованием расплавленных и твердых электролитов, развитием которых занят Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН (г.Екатеринбург), будут играть все возрастающую роль при решении и реализации базовых практических задач, определяющих технический прогресс:

- производство новых материалов с заданными свойствами для машиностроения, включая авиа- и ракетостроение, электроники, энергетики, синтетической химии и других отраслей промышленности, каталитические аспекты использования твердых и расплавленных электролитов;

- электрохимическая энергетика, связанная с протеканием окислительно-восстановительных реакций в системах с расплавленными и твердыми электролитами (первичных источниках тока, аккумуляторах, топливных элементах и электролизерах для получения водорода и природных топлив), обеспечивающих прямое и наиболее рациональное превращение химической энергии в электрическую;

- технологии глубокой переработки природного и техногенного сырья с использованием электрохимических методов, включая подготовку и регенерацию ядерного горючего и переработку радиоактивных отходов.

Национальная академия наук Украины объявила о наличии у нее технологии прямого преобразования сероводорода в электричество без предварительного разложения на серу и водород.

Энергетические проблемы стран тихоокеанского региона в определенной степени могут быть решены не за счет месторождений углеводородов, а посредством строительства приливных гидроэлектростанций. По данным предпроектных изысканий в районе Удо-Шантарских островов может быть построена приливная ГЭС невиданной мощности – 105 млн.кВт. Еще одной перспективной точкой строительства приливной ГЭС является северное побережье Охотского моря, где формируется самая высокая в Мировом океане приливная волна [4].

### Литература

1. Аверьянов Ю.А., Резниченко В.А. и др. Программа комплексного использования природных богатств Дальнего Востока. «Ресурсы. Технологии. Экономика». Имет им. А.А.Байкова. 2004.
2. Давиденко И.В. Люди изучают Землю. Мурманск. 1977.
3. Козловский Е.А. Глубинное исследование недр Земли. М.: ООО Геоинформ. 2008.
4. Тоффлер Э. Третья волна. М.: АСТ. 2004.

---

Юрий Александрович Чернегов, д-р техн.наук, проф.  
экономики, гл.специалист – системный аналитик  
ОАО «Зарубежгеология», тел.8-916-117-72-06

УДК 622.1:656.61:519.7

*С.С.Кубрин, М.А.Иофис, Е.Н.Есина***ВОПРОСЫ И ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
РАЗРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИКИ И ПУТИ ИХ  
РЕШЕНИЯ**

Рассмотрены проблемы геолого-маркшейдерского обеспечения разработки твердых полезных ископаемых на шельфе Арктики и обоснованы направления дальнейших исследований.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Арктика; шельф; сейсморазведка; сейсмоакустическая разведка; государственная программа; маркшейдерское обеспечение; навигационное обеспечение; полезные ископаемые.

*S.S.Kubrin, M.A.Iofis, E.N.Esina***QUESTIONS AND ISSUES OF GEOLOGICAL AND SURVEYING SUPPORT DEVELOPMENT  
OF SOLID MINERALS ON THE ARCTIC SHELF AND THEIR SOLUTIONS**

Problems of geological and surveying ensuring development of solid minerals on the shelf of the Arctic are considered and the directions of further researches are proved.

**KEY WORDS:** Arctic; sea shelf; seismic exploration; seismoacoustic exploration; government program; surveying providing; navigation providing; minerals.

Российской Федерации принадлежит большая часть арктического шельфа и арктического побережья. Около 30% территории России расположено в арктической климатической зоне, которая обеспечивает не менее 1/5 внутреннего валового продукта и экспорта. В 2014 г. Постановлением №366 Правительства Российской Федерации от 21 апреля принята Государственная программа Социально-экономического развития Арктической зоны РФ на период до 2020 г., важнейшими стратегическими приоритетами государственной политики в которой являются совершенствование системы государственного управления социально-экономическим развитием Арктической зоны РФ за счет расширения фундаментальных и прикладных научных исследований; улучшение социальных условий хозяйственной деятельности в Арктике; развитие ресурсной базы Арктической зоны РФ за счет использования перспективных технологий; модернизация и развитие инфраструктуры арктической транспортной системы. Для устойчивого обеспечения экономики страны запасами минерального сырья в рамках Государственной программы РФ «Воспроизводство и использование природных ресурсов» планируется повышение геологической изученности континентального шельфа и Арктики. При этом в сфере воспроизводства минерально-сырьевой базы цветных металлов принципиально важное значение придается поисковым, оценочным и разведочным работам на севере Якутии и в Чукотском автономном округе. По добыче золота считаются перспективными районы в Чукотском автономном округе и Республике Саха (Якутия), где имеются реальные предпосылки выявления новых крупных месторождений.

Современное энергоэффективное освоение природных ресурсов шельфа и суши Арктической зоны РФ невозможно без применения современных и перспективных средств и технологий извлечения ресурсов, обеспечения процессов извлечения и обогащения доступными, локально расположенными энергоресурсами. Немаловажное значение имеет созда-

ние современной, комфортной социальной среды обитания. Важнейшим ресурсом оптимизации транспортных издержек при перевозке готовой продукции является создание в Арктике производств готового товарного продукта. Для этого в Программе предусмотрен каркасно-кластерный подход, в результате которого производится формирование опорных зон развития активного освоения месторождений полезных ископаемых. В результате этого получит развитие транспортная и энергетическая инфраструктура Арктики, будут формироваться новые территориальные образования. Для этого уже используются месторождения углеводородов. По имеющимся оценкам их запасы на севере Ямала, Гыданского полуострова, в Обской и Тазовской губах, на шельфе Карского моря составляют до семи миллиардов тонн. На акватории Баренцева моря к настоящему времени открыто одиннадцать месторождений нефти и газа. Среди них уникальное - Штокмановское, семь крупных - Ледовое, Лудловское, Мурманское, Долгинское, Приразломное, Медыньское море и Северо - Гуляевское, два средних - Поморское и Северо - Кильдинское и одно мелкое - Варандей-море. На шельфе Карского моря открыты два газоконденсатных месторождения - Русановское и Ленинградское, относящиеся к уникальным. Обнаружен ряд газовых месторождений в Обской и Тазовской губах.

Более перспективным для формирования и развития арктических территорий является формирование производственных горнодобывающих кластеров по освоению месторождений твердых полезных ископаемых, так как обогащение и получение товарного продукта из руд требует организации не просто отдельных производственных объектов, а целой инфраструктуры связанных производств. Это потребует решения важнейших государственных задач по прогнозированию, планированию, развитию производственных горнодобывающих кластеров, обеспечивающих рациональное природопользование, а также по оценке требуемых материальных, энергетических, людских ресурсов, транспорта, связи, необходимых

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

для создания и последующего самостоятельного их развития, превращения в самодостаточные промышленные центры, в современные социальные конгломераты, имеющие влияние на развитие регионов и страны в целом. Россия продолжает освоение и использование Северного морского пути как основной трассы в добывающей индустрии высоких широт. Основными его пользователями сегодня являются компании, производящие разработку месторождений полезных ископаемых: "Норильский никель", "Газпром", "ЛУКОЙЛ", "Роснефть", "Росшельф", крупнейшие добывающие предприятия Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и Чукотки. Тенденции последнего времени показывают, что разработка новых месторождений все более тяготеет к северным территориям России. Поэтому потребуются дальнейшее развитие Северного морского пути для обеспечения транспортной составляющей при освоении минеральных ресурсов Арктики.

Из всего спектра минеральных ресурсов твердых полезных ископаемых Арктика в наибольшей степени обеспечена цветными металлами. На аркти-

ческом шельфе и на арктических архипелагах Российской Федерации установлены запасы стратегически важных для промышленности и экономики страны твердых полезных ископаемых в виде россыпного олова, золота, платины, алмазов, минералов титана, железа, циркония, марганца и т.д. [1]. Обнаруженные объемы золота в прибрежной зоне России сопоставимы с запасами золотосодержащих районов континентальной части страны. Запасы стратегически важных твердых полезных ископаемых на Арктическом шельфе составляют: золото 205,8 т, минералы титана, железа, циркония (Ti, Fe, Zr, Fe+TiO<sub>2</sub>) 19,5 млн.т, олово 132 тыс.т [1]. Особый интерес представляет шельф Восточно-Сибирского моря (Валькарайский район). Расположенное здесь Энмакайское поле [2] включает несколько месторождений в лагуне Рыпильхин и в проливе Лонга (рис.1а), запасы одного из которых составляют более 1,5 т с большим содержанием золота от 2 до 7,5 г/м<sup>3</sup> при мощности золотосодержащего слоя 50-70 см. Крупная, с содержанием золота до 1,1 г/м<sup>3</sup>, россыпь Рыпильхин прослеживается в проливе Лонга до глубин 35 м.

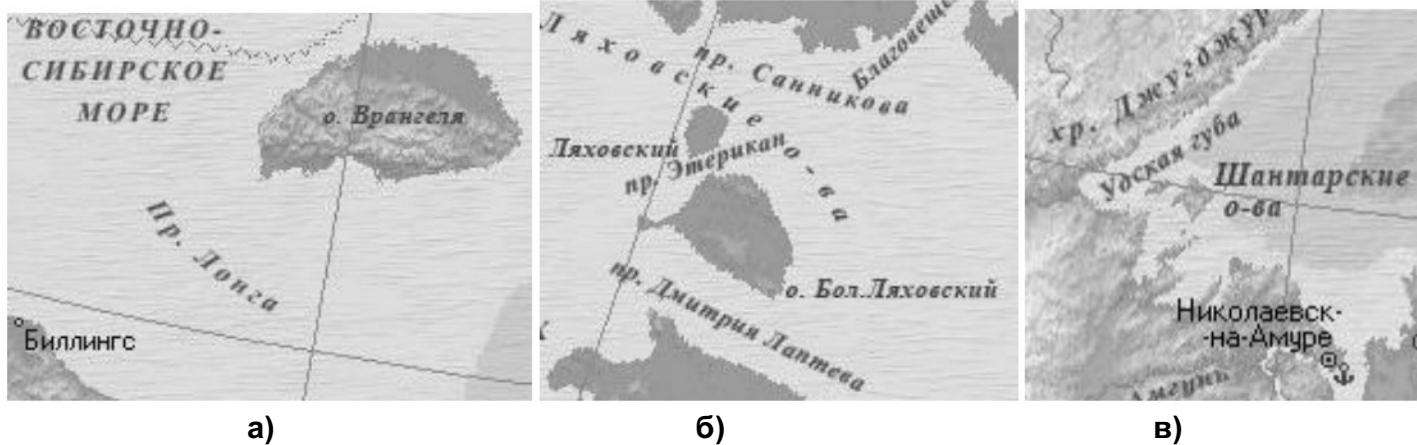


Рис.1

Основные запасы олова сосредоточены в районе Восточно-Сибирского моря (65%). Главным оловоносным районом является Ляховский, расположенный на севере острова Большой Ляховский (рис.1б). Залежи находятся на 30-40 м под землей в акватории с глубиной до 10 м. Перспективная к промышленному освоению россыпь платины на шельфе РФ находится у острова Феклистова архипелаг Шантарские острова Охотского моря (рис.1в). Содержание платины в руде оценивается до 0,5 г/м<sup>3</sup> (в среднем 0,112 г/м<sup>3</sup>) [2], залегающей в 10 м под землей в морской акватории на глубинах от 20 до 25 м.

Перечисленные месторождения стратегически важных минералогических ресурсов представляют промышленный интерес. Для подготовки их к комплексному освоению в ближайшем будущем требуется детальная геологоразведка. Основные технологии морской региональной и поисковой сейсморазведки разработаны и широко применяются. В Российской Федерации лидерами в этом направлении являются ВНИИОкеангеология, Морская арктическая геологоразведочная экспедиция, «Севморгео», «Сейсмо-Шельф», «Геонод Разведка». Отечественное оборудование для морской региональной и поисковой

сейсморазведки представлено продукцией ОКБ Океанологической техники РАН. В основном для поисковой морской сейсморазведки методом отраженной волны используют сейсмокоды, для более детальной, площадной сейсморазведки методом преломленной волны используют сеть расставленных на дне сейсмических датчиков, что позволяет уточнить строение и нарушенность массива горных пород и определить их физико-механические свойства. Площадная сейсморазведка на суше и на море применяется для оценки и объемного картографирования месторождений жидких углеводородов. Однако, для детализации геологических, литологических, тектонических и других особенностей месторождений твердых полезных ископаемых этого недостаточно. Более перспективным геофизическим методом изучения свойств, строения, состояния и особенности массива горных пород является анализ его сейсмоакустической эмиссией. В этом случае можно получить информацию о прочности, пористости, твердости пород и рудных тел, что особо важно при разработке месторождения твердых полезных ископаемых под дном морской акватории. Частотный диапазон сейсмоакустической эмиссии массива горных пород значитель-

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

но более широк и соответственно более информативен, чем сейсмической. Для регистрации сейсмоакустических волн и последующего анализа состояния массива в Институте проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН) была разработана технология сейсмоакустического просвечивания массива горных пород, включающая разработанные и апробированные методики проведения наблюдений, позволяющая детально изучить геологические и стратиграфические особенности, физико-технические свойства и параметры массива горных пород [3-6].

Привязка геодезических координат (рис.2) подводного сейсмоакустического полигона должна осуществляться с помощью гидроакустической навигационной системы [7]. В этом случае каждый подводный сейсмоакустический датчик оснащается гидро-

акустическим маяком – ответчиком, расположение которого определяется относительно судна. Для определения местоположения судна использование спутниковых систем навигации с дифференциальными поправками, с точностью определения координат 1-2 м недостаточно.

Необходимую точность дает технология оперативного позиционирования движущихся объектов, разработанная «КП Альтаир-1» [8, 9] с использованием фазовых измерений сигналов. Испытания указанной технологии, проведенные в 2012 г., в том числе на территории ИПКОН РАН, показали, что ошибки в определении координат в плане не превышают 1 см, по высоте 2 см, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности проведения маркшейдерских работ полигонометрическими ходами 4-го класса [10].

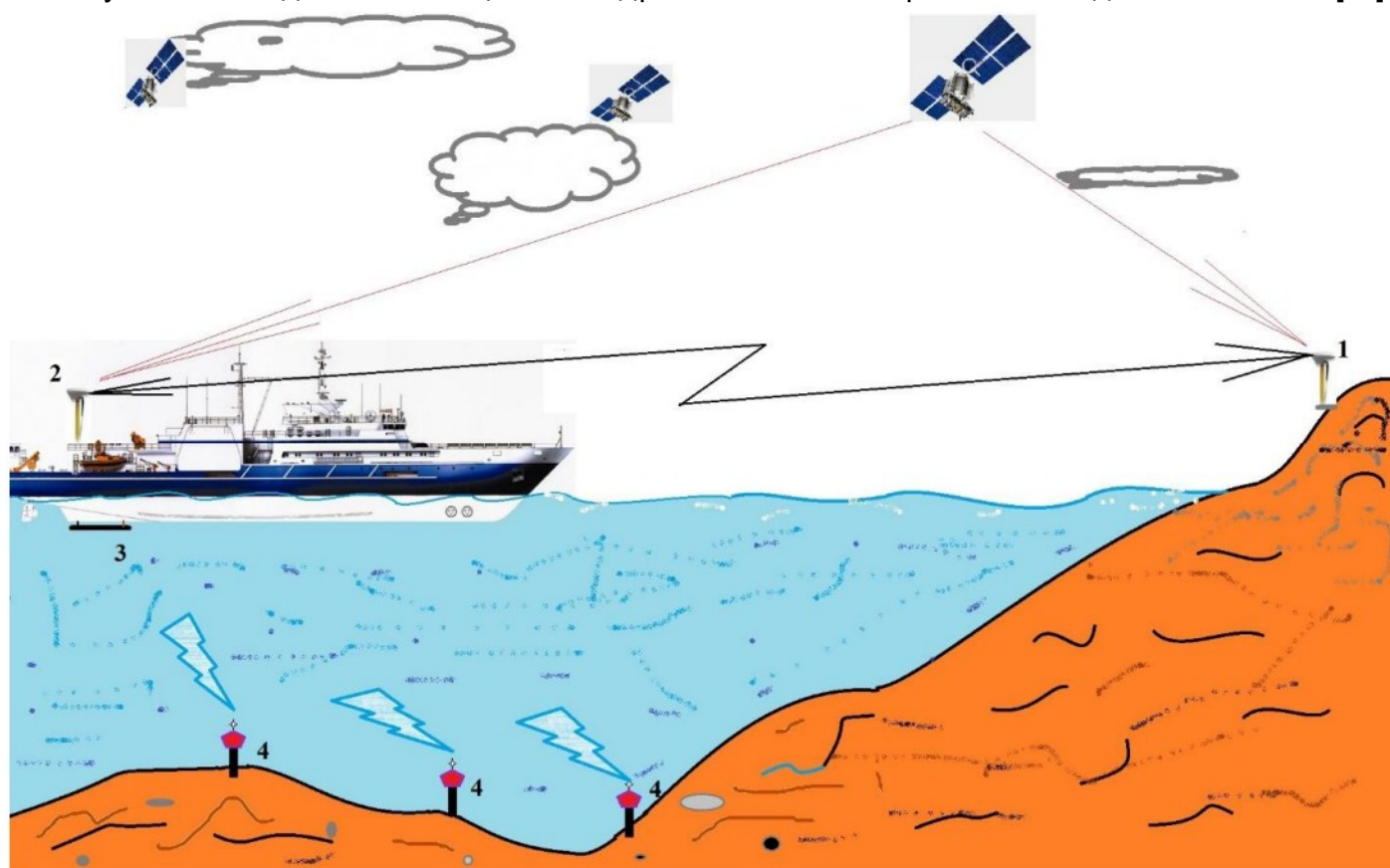


Рис.2. Маркшейдерское и навигационное обеспечение подводного сейсмоакустического полигона

Само освоение месторождения твердых полезных ископаемых подземным способом предполагает строительство вскрывающих выработок. Такими выработками вблизи побережья могут быть наклонные и вертикальные стволы. При расположении месторождения на арктическом шельфе, вдали от береговой черты, вскрывающими выработками могут быть только вертикальные стволы, для проходки которых следует использовать способ замораживания пород. Этот подход с одной стороны позволяет напрямую с небольшими модификациями использовать наработанные в горном производстве технологии, с другой стороны, повышает риски аварий. При внезапном затоплении пространства капитальных подземных горных выработок, расположенных под дном акватории, у производственного персонала при существующих и используемых технических средствах, устройствах, конструкциях, мероприятиях крайне мало шансов на

спасение. Основную трудность при использовании традиционных технологий горного производства при разработке месторождений твердых полезных ископаемых представляет проходка устьевой части ствола. Для оборудования устьевой части ствола в неглубоких акваториях (до 30-50 м) следует использовать технические решения, апробированные в нефте- и газодобывающих отраслях, базирующиеся на гравитационных стационарных буровых платформах, используемых при разведке и добыче жидких и газообразных углеводородов (рис.3 [11]). Установка таких платформ производится на грунт. Если грунты морского дна в месте установки стационарной платформы не обладают достаточной устойчивостью, то для создания необходимого фундамента потребуется установка свай.

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС



а)



б)

**Рис.3. Морские стационарные ледостойкие гравитационные платформы, разработанные ЦКБ Коралл для месторождения «Аркутун-Даги»:**  
а) вариант с одноопорным основанием; б) вариант с трехопорным основанием

При разработке месторождения твердых полезных ископаемых производится строительство двух стволов для обеспечения проветривания и выполнения требований промышленной безопасности. Сооружение дополнительного ствола сопряжено с весомыми материальными и финансовыми затратами, особенно на морской акватории, но значительно снижает риски аварий. Для этого потребуется установка двух стационарных морских платформ. Более перспективным выглядит решение по использованию морских ледостойких платформ с трехопорным (рис.3, б) основанием или с большой промышленной площадью (рис.4). В этом случае одно из оснований трехопорной платформы может располагаться на фундаменте с ограниченным числом свай и использоваться для строительства ствола. Использование двух ледостойких платформ с трехопорным основанием позволяет произвести создание маркшейдерской опорной сети в соответствии с «Инструкцией по производству маркшейдерских работ» [10] (далее «Инструкция»).

Особый интерес представляет опыт использования ледостойкой платформы «Приразломная». Платформа спроектирована и построена в Российской Федерации и установлена в юго-восточной акватории Баренцева моря. С 20.12.2013 г. платформа «Приразломная» производит промышленную разработку одноименного месторождения углеводородов. На конец сентября 2015 г. общий объем добытой нефти составил 800 тыс.т. Грунт и глубина акватории (20 м) в месте установки платформы «Приразломная» позволили установить платформу на морском дне, где она удерживается за счет своего, более полумиллиона тонн, веса и специально отсыпанной защитной бермы из камня (рис.4 [12]). Основанием платформы является секционный кессон, способный противостоять арктическим погодным условиям (воде, морскому волнению, штормам, ледяным полям, торосам), выполненный из слоев стали, разделенных трехметровым слоем сверхпрочного бетона (рис.4).



**Рис.4. Установка на дне платформы «Приразломная» [12]**



Габаритные размеры платформы «Приразломная» 126 на 126 м позволяют обустроить на ней два ствола (рис.5), проходящих через секции кессона. Такое конструктивное решение отвечает требованиям эксплуатации подземных рудников. В соответствии с «Инструкцией» необходимо создать на территории горного предприятия, в данном случае стационарной платформы, маркшейдерскую опорную сеть. «Инструкция» допускает (пункт 24) при создании опорной маркшейдерской сети использование спутниковой аппаратуры. Пространство опорной маркшейдерской сети на поверхности будет ограничено площадью стационарной платформы. Следовательно, выполнить пункт 30 «Инструкции» в условиях ограниченного пространства стационарной платформы, нахождения её в зоне влияния горных работ, не представляется возможным. При использовании двух стационарных морских платформ выполнить это требование возможно, но экономическая эффективность данного решения значительно падает. Поэтому, необходимо разработать требования к организации маркшейдерской опорной сети для одиночной стационарной морской платформы, с поверхности которой горное предприятие производит разработку месторождения твердых полезных ископаемых подземным способом. Соответственно, требуется детальная проработка: требований «Инструкции» относительно плановой и высотной плотности маркшейдерской сети (пункт 31); требований к исходным пунктам для ориентирования и центрирования подземных маркшейдерских опорных сетей (пункт 34); требований к пунктам маркшейдерской опорной сети, используемой в качестве исходной для определения опорных реперов профильных линий наблюдательных станций при наблюдении за деформацией морского дна (пункт 35) для обеспечения мониторинга осадки стационарной морской платформы после её установки на фундамент и в процессе дальнейшей эксплуатации.

Значительный интерес представляют безлюдные технологии разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Точнее технологии, при которых персонал непосредственно не находится в месте проведения горных работ. Компании DeBeers, Namco, TransHex, Samicor для добычи алмазов в прибрежной зоне шельфа Намибии применили технологию, базирующуюся на эрлифтной системе подъема горной массы на поверхность [14]. Разрушение горной породы происходит под водой с помощью бурения скважин большого диаметра 6,8 м сечением 36,3 м<sup>2</sup> DeBeers и 1,8 м сечением 2,5 м<sup>2</sup> Namco, впоследствии Samicor. В этом случае значительно снижаются риски аварий, особенно связанные с гибелью производственного персонала. Скважины для разрушения горной породы бурятся в случае фирмы DeBeers с судна DebMar Atlantic, в случае фирмы Samicor - со специальной установки Wurth, устанавливаемой на грунт. Спуск на дно установки Wurth осуществлялся со специального судна Sakawe Explorer, оборудованного специальным отсеком с раздвижным дном. Время спуска установки и бурения скважины не превышало

20 минут. Это дало возможность компании обнаружить, произвести детальную разведку и вести последующую разработку 30 месторождений алмазов за 4 года.

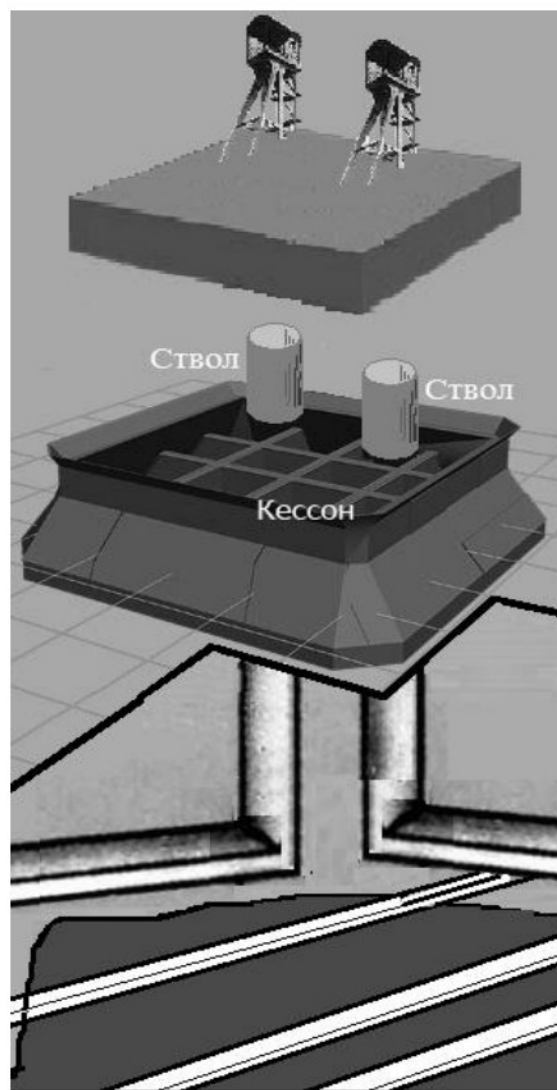


Рис.5.

При бурении глубокой скважины (более 40-50 м) из-за искривления и отклонения ее оси от вертикальной линии потребуется детальное измерение ее пространственных параметров с помощью инклинометрических измерений. Обычно геометрию скважины строят из предположения, что она состоит из отрезков прямых, направленных по значениям замеренных углов в конечной точке, или пар отрезков равной длины (отрезок между замерами делится пополам), направленных по значениям углов в прилегающих к отрезку точках. Траектория буровой трассы скважины во всех описанных случаях получается изломанной, что в действительности не наблюдается. Искривление оси скважины происходит постепенно и без скачков. Соответственно, координаты точек подсечек слоев, мест отбора проб, забоя, полученные по существующим методам, содержат ошибку. Поэтому геометрию скважины следует представлять в виде гладкой непрерывной кривой с линейной зависимостью внутри интервала угла искривления и азимута от глубины скважины [15].

Компания Samicor для добычи алмазов со дна акватории использовала подводный самодвижущийся 240-тонный кроулер [14]. Данное оборудование,

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

снабженное мощным всасывающим агрегатом и дополнительными устройствами для рыхления почвы, было достаточно эффективно. Перемещаясь по дну на гусеничном ходу со скоростью около 5 м/час, кроулер создавал траншею в осадочных породах глубиной до 8 м и шириной до 20 м и с помощью эрлифта подавал горную массу на судно. Управление кроулером осуществлялось оператором удаленно с судна с использованием навигационных приборов и датчиков позиционирования гусениц и всасывающего раструба аэролифта.

Не стоит сбрасывать со счетов использование технологий размещения оператора в специальном кессоне под водой. В этом случае увеличивается риск прорыва воды в производственные помещения, но при этом снижаются риски повреждения строений и конструкций на поверхности под действиями морского волнения, перемещения ледовых полей, торосов. Такие эксперименты проводились у нас в стране еще в 1968 г. у берегов Крыма в бухте Ласпи [16] с участием одного из авторов статьи – профессора М.А.Иофиса. В ходе проведения эксперимента обрабатывались методики построения подводной маркшейдерской опорной сети, было выполнено бурение подводной скважины с погружной буровой установки с пневматическим приводом (рис.6), в результате которого извлечен керн коренных пород мергеля. Установка успешно перенесла пятибалльный шторм. При расположении горнотехнического оборудования под водой необходимо обеспечение снабжения ресурсами (энергией, воздухом, водой, едой и т.д.), что можно обеспечить с берега (в прибрежной зоне), с судна снабжения. Кроме этого потребуется размещение на подводной станции аварийных запасов электроснабжения, еды, воздуха.

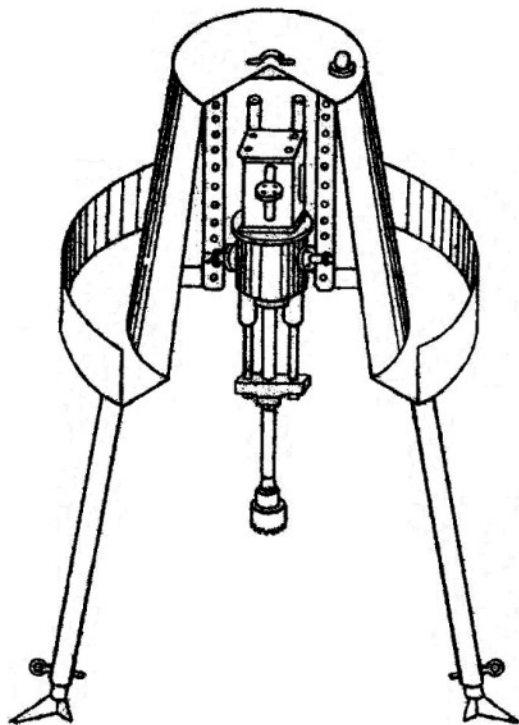


Рис.6.

По всей видимости, при освоении месторождений твердых полезных ископаемых на Арктическом шельфе потребуется совместное использование всего спектра проанализированных технологий освоения месторождений. Базовым элементом в этом случае станут стационарные ледостойкие морские платформы, обеспечивающие размещение технологического и энергетического оборудования, производственного персонала, транспортные операции. Проектирование и производство таких стационарных ледостойких морских платформ освоено в Российской Федерации. При разработке месторождения необходимо применять безопасные энерго- и ресурсосберегающие геотехнологии, обеспечивающие получение высококачественного минерального сырья с подземной утилизацией отходов в замкнутых схемах перемещения минерально-сырьевых потоков с минимальным риском аварий и полной безопасностью производственного персонала. Маркшейдерская опорная сеть горных предприятий, разрабатывающих подземным способом месторождения твердых полезных ископаемых со стационарных морских платформ, должна быть автономной и связана с географическими координатами посредством спутниковой навигации на основе фазовых измерений сигналов. С указанной маркшейдерской опорной сетью должна быть связана опорная сеть подводного сейсмоакустического полигона с помощью гидроакустической навигационной системы [7]. Отдельно потребуется привязка проведенных горных работ автономными подводными самоходными агрегатами к опорной маркшейдерской сети. Необходимо будет проработать маркшейдерское обеспечение горных работ с помощью автономных самоходных горных машин, ведущих горные работы под землей. Потребуется разработать механизм выполнения привязки подводного сейсмоакустического полигона к опорной маркшейдерской сети горного предприятия и внести требуемые коррективы в «Инструкцию». Для маркшейдерского обеспечения горных предприятий, разрабатывающих подземным способом месторождения твердых полезных ископаемых со стационарных морских платформ, потребуется разработка требований по плановой, высотной плотности подводной маркшейдерской сети, к исходным пунктам для ориентирования и центрирования подземных маркшейдерских опорных сетей и требования к организации маркшейдерских наблюдательных станций за деформациями морского дна с внесением их в «Инструкцию». В плане правового и законодательного обеспечения работ на шельфе Российской Федерации необходимо подготовить законы, обеспечивающие юридическую базу освоения месторождений твердых ископаемых, расположенных на и под дном акваторий. При этом необходимо предусмотреть законодательное проведение процедур экспертных оценок полноты комплексного освоения месторождений и процедур экспертной оценки, заложенных в проекте решений по маркшейдерскому обеспечению наземных (расположенных на стационарных морских платформах) и подводных опорных полиго-

нов, направленных на выполнение промышленной безопасности, с целью выявления полноты и необходимой точности проведения маркшейдерских съемок горных работ и их документирования. Основной особенностью разработки твердых полезных ископаемых на шельфе Арктики является то, что безопасность и эффективность этой разработки весьма существенно зависят от выполненных ранее геологоразведочных и добычных работ, в том числе по освоению месторождений углеводородов, поскольку каждая скважина является потенциальным каналом для прорыва воды в горные выработки, проводимые для добычи твердых полезных ископаемых. Поэтому необходимо законодательно закрепить требования к обоснованию бурения скважин, их эксплуатации и ликвидации. Все скважины должны быть строго задокументированы, с учетом их искривления. Одновременно следует разработать методы оценки влияния горных работ по добыче твердых полезных ископаемых на условия добычи углеводородов и методы учета их взаимного влияния. Чем раньше это будет выполнено, тем эффективнее будет освоение шельфа Арктики.

## Литература

1. Иванова А.М., Смирнов А.Н., Ушаков В.И. Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых шельфовых областей России: ресурсная значимость, перспективы наращивания и освоения. Горный журнал. – М.: 2012. № 3 С. 42-49.
2. Смирнов А.Н., Иванова А.М., Пашковская Е.А. Подводные месторождения твердых полезных ископаемых в шельфовых областях России. Горный журнал. – М.: 2013. № 11 С. 51-58.
3. Рубан А.Д., Захаров В.Н., Аверин А.П., Вартапов С.А. Программный комплекс итерационного линейного восстановления строения и нарушенности угольного

пласта на основе информативных параметров при сейсмопросвечивании. Горный информационно-аналитический бюллетень - М.: МГГУ, 2010. № 3. С. 177-182.

4. Захаров В.Н., Аверин А.П., Вартапов С.А. Анализ алгоритмов лучевой томографии для прогноза нарушения выемочного столба. Горный информационно-аналитический бюллетень - М.: МГГУ, 2010. № 3. С. 183-190.
5. Аверин А.П., Зубков В.М. Система контроля состояния массива горных пород при подземных горных работах. Патент на полезную модель RUS 122119 от 05.05.2012.
6. Кубрин С.С. Комплексный синтезирующий геофизический мониторинг горного массива. Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГГУ, 2012. – Вып. № 5. – С. 85-92.
7. [http://www.edboe.ru/products/gans\\_ukb\\_np.htm](http://www.edboe.ru/products/gans_ukb_np.htm)
8. Базовая технология создания БНК системы координатного и временного позиционирования. Руководство по эксплуатации. ФШРА 468353.001РЭ.
9. <http://www.altair1.ru/prod/sop/>
10. Инструкция по производству маркшейдерских работ. РД 07-603-03. М.: - ФГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». 2004. 117 с.
11. <http://cdbcorall.ru/>
12. <http://arctic.ria.ru/prirazlomnaya/>
13. <http://www.gazprom.ru/>
14. Мухин П.А., Рю Г., Франческини Д. Поиск, разведка и добыча алмазов в прибрежной зоне шельфа центральной части Намибии. Горный журнал. – М.: 2015. №1 – С. 85-98.
15. Кубрин С.С., Гурарий М.М. Новый подход к оптимизации геометрии разведочных скважин и расчетам координат подсечек слоев. М.: МГГУ, ГИАБ, № 4, 1999, С. 66-67.
16. Киклевич Ю.Н. Ихтиандр. – Ленинград, 1971. Гидрометеорологическое издательство, 219 С.

Сергей Сергеевич Кубрин, д-р.техн.наук, проф., заведующий лабораторией, тел/факс (495) 360-76-11, (495) 360-0735, E-mail: s\_kubrin@mail.ru;  
 Михаил Абрамович Иофис, д-р.техн.наук, проф., главный научный сотрудник;  
 Екатерина Николаевна Есина, канд.техн.наук, старший научный сотрудник  
 (Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук)

## Уважаемые коллеги!

Обращаем Ваше внимание на то, что в издательстве Мурманского Государственного Технического Университета в конце 2015 года вышел учебник «Геомеханика» авторы А.А. Козырев, Э.В. Каспарьян, М.А. Иофис, А.Б. Макаров, Е.Ю. Куликова.

В учебнике описаны свойства и состояние массивов горных пород с позиций иерархично-блочных сред, изложены методы определения свойств горных пород в лабораторных и натуральных условиях, освещены методы определения параметров структурных неоднородностей и естественного напряжённого состояния массивов в условиях гравитационного и гравитационно-тектонических полей. Изложены основные закономерности распределения напряжений и деформаций вокруг капитальных, подготовительных и очистных выработок, детально рассмотрены динамические и газодинамические проявления горного давления (горные удары и внезапные выбросы пород) и методы их прогнозирования, а также процессы сдвижения горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых.

Ориентировочная стоимость учебника - около 1 тысячи рублей.

Заявки на приобретение учебника направлять по адресу: 184 200 г. Апатиты Мурманской области, ул. Ферсмана 24. Горный институт КНЦ РАН. Каспарьяну Э.В. или на электронную почту kasp@goi.kolasc.net.ru

**Редакция «МВ»**

УДК 622. 1:528

Л.С.Сафонов, А.В.Волохов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведены результаты исследований характера распределения основных показателей рудных месторождений - содержания, мощности, размеров, площадей сечений и т.п. Показано, что распределения этих показателей в поле рудных тел представляют собой сочетание случайности и закономерности с различными соотношениями составляющих. Приведены основные способы установления характера процесса распределения показателей и получения количественных оценок параметров распределений для правильного решения задач разведки, подсчета запасов и эксплуатации месторождений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** случайный процесс; стационарный случайный процесс; нестационарный случайный процесс; общая дисперсия; тренд; случайная составляющая; закономерная составляющая; показатель месторождения; корреляция; последовательные разности; сила связи; форма связи.

L. S. Safonov, A. V. Volokhov

## RESEARCH OF NATURE OF DISTRIBUTION OF THE MAIN INDICATORS OF ORE DEPOSITS

Results of researches of nature of distribution of the main indicators of ore fields - contents, capacities, the sizes, the areas of sections, etc. are given. It is shown that distributions of these indicators in the field of ore bodies represent a combination of accident and regularity to various ratios of components. The main ways of establishment of nature of process of distribution of indicators and receiving quantitative estimates of parameters of distributions for the correct solution of problems of investigation, calculation of stocks and operation of fields are given.

**KEY WORDS:** casual process; stationary casual process; non-stationary casual process; general dispersion; trend; casual component; natural component; field indicator; correlation; consecutive differences; communication force; communication form.



Л.С.Сафонов



А.В.Волохов

Методика и параметры разведки месторождений полезных ископаемых определяются их морфологическими типами и пространственным расположением залежей в недрах.

Этим же, с добавлением генетического фактора, объясняется различие в характере распределения основных показателей месторождений. Понимание геологических процессов весьма важно как в плане общетеоретических аспектов формирования и локализации месторождений, так и с практической точки зрения, так как количественная оценка особенностей распределения основных показателей в поле месторождений или их частей дает возможность оптимизировать параметры их разведки, подсчета запасов, эксплуатации.

Выполненные в этой области исследования показали, что распределение значений показателей, являющихся случайными величинами, представляет обычно некую композицию случайной составляющей и тренда; при этом может преобладать как одна, так и другая составляющая. Преобладание случайной колеблемости показателя в общей дисперсии имеет место при существенно стационарном случайном процессе; при этом задачи оптимизации разведки и эксплуатации можно решать непосредственно с помощью классического аппарата математической статистики. При преобладании закономерной составляющей мы имеем дело с существенно нестационарным случайным процессом. Оценки параметров разведки и эксплуатации, полученные при этом без учета тренда, на основе общей дисперсии, не будут отве-

чать требованиям объективности и оптимальности. Поэтому при нестационарном случайном процессе необходимо тем или иным путем получить количественную оценку закономерной составляющей, исключить ее из общего распределения и решать поставленные задачи разведки и эксплуатации на основе случайной колеблемости.

Рассмотрим основные способы решения этого вопроса.

### 1. Использование нелинейной корреляции

При наличии некоторой нелинейной закономерности распределения показателей по главным направлениям рудного тела оценку ее можно получить путем исследования нелинейной корреляционной зависимости.

Определяется среднее из частных дисперсий показателя по данному направлению, или случайная колеблемость показателя:

$$\sigma_{сл}^2 = \frac{\sum \sigma_k^2}{K}, \quad (1)$$

где  $\sigma_k^2$  - дисперсия отдельных значений показателя по сечениям (рудным штрекам, веерам скважин, восстающим, рассечкам, ортам);  $K$  - количество сечений по данному направлению (простиранию, падению, реже вкрест простираня).

Определяется дисперсия средних значений показателя по данному направлению, которую следует считать закономерной составляющей в общей дисперсии:

$$\sigma_{зак}^2 = \frac{\sum (\bar{x}_k - \bar{x})^2}{K - 1},$$

где  $\bar{x}_k$  - среднее значение показателя по данному

сечению;  $\bar{x}$  – общее среднее значение показателя по данному направлению.

Общая фактическая дисперсия показателя по данному направлению будет:

$$\sigma_{об}^2 = \sigma_{сл}^2 + \sigma_{зак}^2.$$

Общая дисперсия может быть получена и из следующего выражения:

$$\sigma_{об}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N},$$

где  $x_i$  – частные значения показателя в выборке по данному направлению;  $N$  – объем выборки по данному направлению.

Следует отметить, что значения случайной дисперсии по данному направлению (1) могут включать в себя величину локальной закономерности распределения показателя в пределах отдельных сечений, которая определяется как разность между  $\sigma_{сл}^2$  и случайной дисперсией, полученной на основе последовательных разностей.

Доли случайной и закономерной составляющих в общей дисперсии по данному направлению определяются из выражений:

$$\eta_{сл} = \frac{\sigma_{сл}^2}{\sigma_{об}^2},$$

$$\eta_{зак} = \frac{\sigma_{зак}^2}{\sigma_{об}^2}.$$

Решение об исключении или неисключении закономерной составляющей из общей дисперсии принимается в зависимости от их величин, имея в виду, что  $\eta_{сл} + \eta_{зак} = 1$ .

## 2. Использование линейной корреляции

Этот способ применяется для определения силы и формы связи между двумя линейно коррелируемыми величинами в пределах общей для них площади или объема. В данном случае речь идет о коррелировании одной величины (одного показателя месторождения) в двух соседних плоскостях (горизонтальных или вертикальных сечениях). В этих сечениях находятся такие пары значений показателя, которые занимают одинаковое положение относительно контуров сечений и, следовательно, могут считаться коррелируемыми. Для этого оба сечения можно разбить на равное количество элементарных площадок или снести значения показателя по каждому сечению на вертикальную линию, расположенную в плоскости сечения, а затем брать попарно значения с одинаковым порядковым номером по обеим площадкам или линиям. То есть, здесь второе сечение или вторая линия играет роль второго показателя. Расчет производится по известным формулам.

Определяется значение коэффициента корреляции:

$$r = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y},$$

где  $K_{xy}$  – корреляционный момент, или ковариация;

$\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  – стандарты значений показателя по соседним сечениям или линиям для одинаковых номеров элементарных площадок или одинаковых номеров значений показателя на линиях.

Проверяется надежность значения коэффициента корреляции. Стандарт коэффициента корреляции равен:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}},$$

где  $n$  – количество элементарных площадок или значений показателя на линии по одному сечению.

Коэффициент корреляции надежен, если выполняется условие:

$$\frac{r}{\sigma_r} \geq 3.$$

Значения коэффициента корреляции при таком подходе зависят от положения сечений в рудном теле при наличии нелинейной закономерности и при недостаточном количестве сечений. Но уже при десяти сечениях он дает приемлемые результаты.

## 3. Применение способа последовательных разностей

При наличии закономерного изменения показателя случайную колеблемость можно определить через первые и вторые разности [1].

По первым разностям:

$$\sigma_{\Delta'} = \sqrt{\frac{\sum \Delta'^2}{2n_1}}.$$

По вторым разностям:

$$\sigma_{\Delta''} = \sqrt{\frac{\sum \Delta''^2}{6n_2}},$$

где  $\Delta'$ ,  $\Delta''$  – первые и вторые разности;  $n_1$ ,  $n_2$  – количество первых и вторых разностей.

Значения случайных колеблемостей, вычисленные по первым и вторым разностям, как правило, не равны друг другу. Для определения окончательного значения случайной колеблемости по каждому сечению находятся доверительные интервалы для случайных колеблемостей  $\sigma_{\Delta'}$  и  $\sigma_{\Delta''}$ , и середина области перекрытия интервалов принимается за окончательное значение случайной колеблемости показателя в данном сечении.

Погрешность случайной колеблемости определяется по формуле:

$$m_{\sigma_{\Delta}} = \pm \frac{\sigma_{\Delta}}{\sqrt{2n}}.$$

# ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

Доверительный интервал случайной колеблемости определяется по формуле:

$$J_{\sigma_{\Delta}} = \sigma_{\Delta} \pm m_{\sigma_{\Delta}}.$$

При применении способа последовательных разностей значения показателей в сечении необходимо сносить на линию, расположенную вдоль длинной оси сечения.

#### 4. Применение графической корреляции

Этот способ дает приближенные результаты, так как здесь присутствует субъективный фактор. Способ удобен для первых прикидок и при небольших объемах исследуемой информации. Суть способа изложена в работе [2].

Прямая линия, являющаяся графическим выражением формы связи, проводится через значения медиан показателя по двум сечениям с угловым коэффициентом:

$$K = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}.$$

Аналитическое выражение формы связи будет:

$$x - \bar{x} = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (y - \bar{y}),$$

где  $x$ ,  $y$  – коррелируемые (частные) значения показателя по двум сечениям;  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – средние значения показателя по этим сечениям.

Коэффициент корреляции определяется по формуле:

$$r = \sin \left( 90 \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right), \quad (2)$$

где  $n_1$  – число коррелируемых значений показателя, попавших в первый и третий квадранты графика;  $n_2$  – аналогично, попавших во второй и четвертый квадранты.

Вместо числа значений показателя, особенно при малом объеме выборки, можно использовать значения площадей по квадрантам внутри контура, проведенного по крайним значениям показателя; площади определяются точечной палеткой.

Если формула (2) дает явно завышенный результат, можно применить видоизмененный вариант:

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}.$$

Рисунок 1 поясняет сущность графического способа.

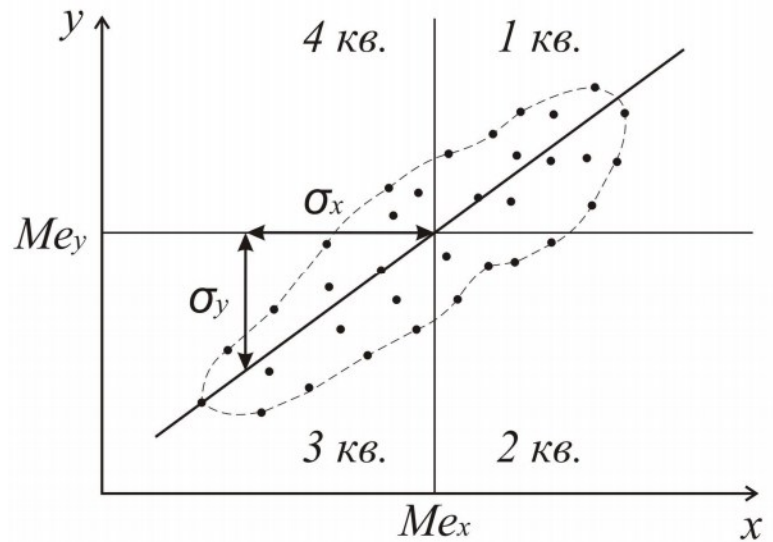


Рис.1

Исследования, проведенные указанными способами по данным разведки и эксплуатации полиметаллических месторождений Дальнего Востока, позволили сделать следующие выводы.

Характер распределения основных показателей рудных тел зависит от их генетических и морфологических особенностей. Выбор способа исследования характера процесса и получения количественных оценок распределений зависит от соотношения случайной колеблемости и закономерности распределения показателя, а также от степени изученности рудных тел разведочными и эксплуатационными работами. Рассмотренные способы исследования распределений основных показателей месторождений при правильном выборе области их применения дают надежные результаты.

#### Литература

1. Маркшейдерское дело. Учебное пособие. Иркутск, 1968.
2. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. Мир, 1968.
3. Букринский В.А. Геометрия недр. – М.: Горная книга, 2012, 548 с.

Леонид Семенович Сафонов, горный инженер-маркшейдер, канд.техн. наук, доцент кафедры МДиГ;  
Анатолий Викторович Волохов, горный инженер-маркшейдер, канд.техн. наук, доцент кафедры МДиГ  
(Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, тел. (3952) 40-51-02)

УДК 528.738:550.8

В.И.Павлов

## К ВОПРОСУ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ КОНТУРНЫХ ТОЧЕК ОБЪЕКТА НЕДВИЖИМОСТИ ПРИ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКЕ ЕГО ПЛОЩАДИ

Выполнен анализ точности определения плановых координат контурных точек участка местности в зависимости от его площади и заданной ошибки определения его кадастровой стоимости.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** площадь; плановые координаты; точки контура; погрешность; кадастровая стоимость.

V.I.Pavlov

## TO THE QUESTION OF EXACTNESS OF DETERMINATION COORDINATIONS OF CONTOUR SPOTS OF REAL ESTATE AT CADASTRE ESTIMATION OF ITS SQUARE

The analysis of exactness horizontal coordinations of contour spots of the limited area depending on its square and established error of determination of its cadastre cost was carried out.

**KEY WORDS:** area; horizontal coordinations; contour spots; error; cadastre cost.



При кадастровой оценке площади объектов недвижимости (земельные участки, контуры зданий и сооружений и т.д.) учитывается её размер, качественное состояние, географическое положение и множество других факторов. Площадь земельного участка вычисляют в основном аналитическим способом по координатам межевых знаков (контурных точек), полученным геодезическими или фотограмметрическими методами при выполнении требований инструкции [1].

Установим связь между точностью определения плановых координат контурных точек объекта недвижимости (площади) и точностью кадастровой стоимости единицы площади (квадратный метр).

Стоимость участка местности может быть рассчитана по формуле:

$$C = C_0 S, \quad (1)$$

где  $C_0$  - кадастровая стоимость одного квадратного метра площади объекта недвижимости;  $S$  - площадь объекта недвижимости в кв.м.

Погрешность  $m_C$  расчёта стоимости площади объекта недвижимости в зависимости от ошибки определения площади  $m_S$  найдём из выражения:

$$m_C = C_0 m_S. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует  $m_C/C = m_S/S$ . Из этого отношения видно, что относительная ошибка определения площади вызывает такую же по величине относительную ошибку в расчёте её стоимости.

Выразим погрешность  $m_C$  в процентах. Тогда

$$m_S = \frac{m_C S}{100}. \quad (3)$$

В свою очередь средняя квадратическая ошибка определения площади объекта недвижимости зависит от точности определения плановых координат её контурных точек и может быть рассчитана по формулам [3,4,5]:

- для контура произвольной формы (рис.1) при

$$m_x = m_y = m_p / \sqrt{2} \quad \text{- по формуле (4);}$$

- для контура прямоугольной формы (рис.2) при

$$m_x = m_y = m_p / \sqrt{2} \quad \text{- по формуле (5).}$$

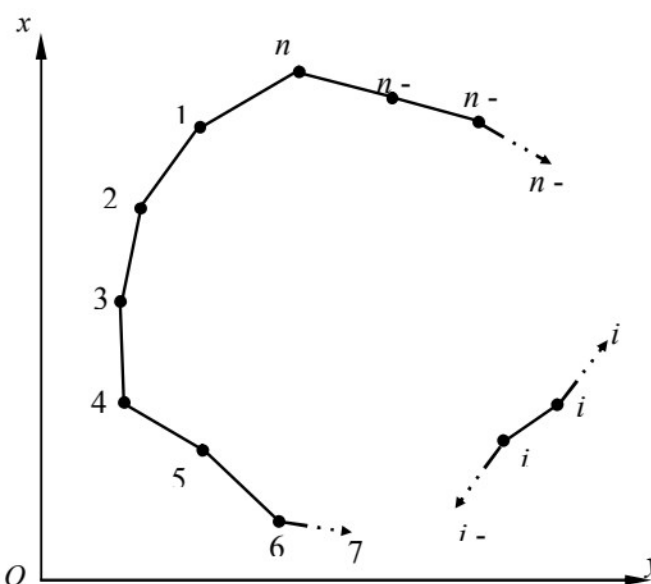


Рис.1. Участок съёмки произвольной формы, оконтурный точками 1, 2, ..., n

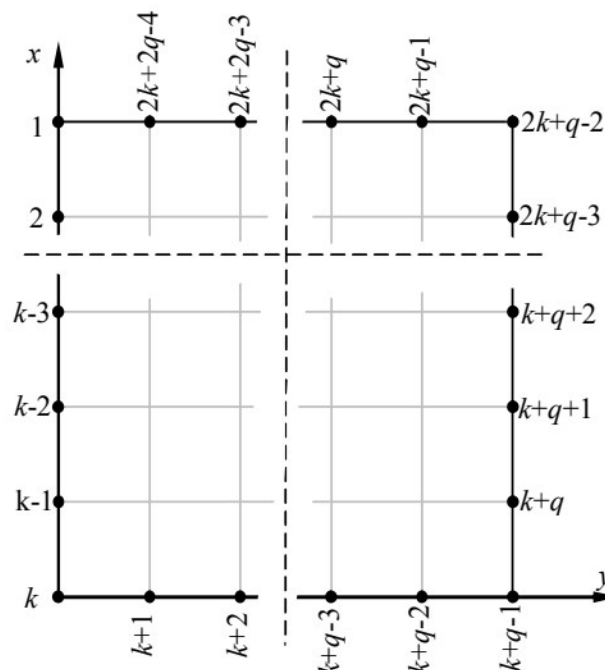


Рис. 2. Участок съёмки прямоугольной формы, оконтурный точками 1,2, 3,... k.... k+q-1,..., 2k+q-2, 2k+2q-2

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

$$m_S^2 = 0,125m_P^2 \left\{ \sum_{i=1}^{n-2} [(x_i - x_{i+2})^2 + (y_i - y_{i+2})^2] + [(x_n - x_2)^2 + (y_n - y_2)^2] + [(x_{n-1} - x_1)^2 + (y_{n-1} - y_1)^2] \right\}, \quad (4)$$

где  $m_P$  – средняя квадратическая ошибка планового положения контурной точки;

$$m_S^2 = 0,125m_P^2 \left\{ \sum_{i=2}^{k-1} [(x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i-1} - y_{i+1})^2] + \sum_{i=k+1}^{k+q-2} [(x_{i-1} + x_{i+1})^2 + (y_{i-1} + y_{i+1})^2] + \sum_{i=k+q}^{2k+q-3} [(x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i-1} - y_{i+1})^2] + \sum_{i=2k+q-1}^{2k+2q-4} [(x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i-1} + y_{i+1})^2] + [(x_{2k+2q-4} - x_2)^2 + (y_{2k+2q-4} - y_2)^2] + [(x_{k-1} - x_{k+1})^2 + (y_{k-1} - y_{k+1})^2] + [(x_{k+q-2} - x_{k+q})^2 + (y_{k+q-2} - y_{k+q})^2] + [(x_{2k+q-2} - x_{2k+q-1})^2 + (y_{2k+q-2} - y_{2k+q-1})^2] \right\}. \quad (5)$$

При равенстве расстояний  $l$  между смежными точками контура прямоугольника в уравнении (5) суммы квадратов разностей абсцисс и ординат соответствующих контурных точек соответственно равны  $4l^2(k-2)$  или  $4l^2(q-2)$ , а

$$\begin{aligned} & (x_{k-1} - x_{k+1})^2 + (y_{k-1} - y_{k+1})^2 = \\ & = (x_{2k-2} - x_{2k})^2 + (y_{2k-2} + y_{2k})^2 = \\ & = (x_{3k-3} - x_{3k-1})^2 + (y_{3k-3} - y_{3k-1})^2 = \\ & = (x_{4k-4} - x_{4k-2})^2 + (y_{4k-4} - y_{4k-2})^2 = l^2. \end{aligned}$$

Подставив значения этих выражений в формулу (5), получим

$$m_S = m_P \sqrt{k+q-3}, \quad (6)$$

где  $k$  – число точек на стороне прямоугольника, параллельной оси  $x$ ;  $q$  – число точек на стороне прямоугольника, параллельной оси  $y$  (общее число точек равно  $2k+2q-4$ ).

Для контура в форме квадрата ( $k=q=2$ ) со стороной, равной  $l$ :

$$m_S = m_P \sqrt{S} = m_P l. \quad (7)$$

Анализ точности определения плановых координат точек выполним для контура квадратной формы.

Из выражений (3) и (6) следует:

$$m_P = \frac{m_S}{\sqrt{S}} = \frac{m_C \sqrt{S}}{100} = \frac{m_C l}{100}. \quad (8)$$

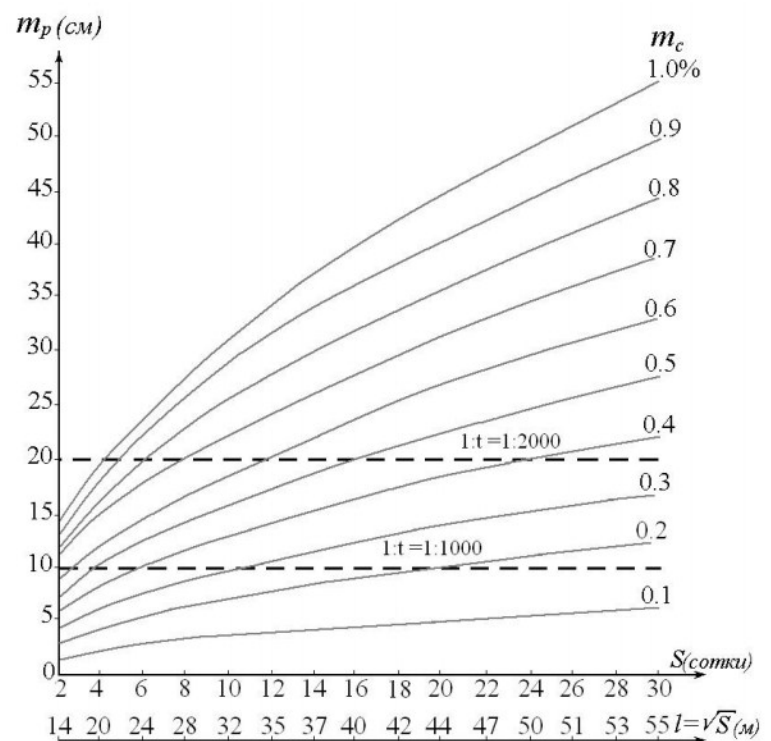
На рис.3 дана графическая интерпретация уравнения (8). По оси  $x$  отложены ошибки  $m_P$  в см, а по оси  $y$  – площадь квадрата  $S$  в сотках и длина стороны  $l$  в м при ошибках  $m_C$  от 0,1 до 1,0%.

Анализ приведенных на рис.3 кривых показывает, что с увеличением площади квадрата (длины его стороны) и ошибки  $m_C$  погрешности  $m_P$  увеличиваются.

Согласно инструкции по межеванию земель [1] средние квадратические погрешности положения межевых знаков относительно пунктов государственной геодезической сети при съёмке городов и посёлков не должны превышать 0,1 мм в масштабе плана (1/т) 1:1000 и 1/2000, предельные погрешности положения

точки не должны превышать удвоенной средней квадратической погрешности, а для определения координат межевых знаков следует использовать:

- спутниковые геодезические измерения;
- триангуляцию, полигонометрию, трилатерацию, прямые, обратные, и комбинированные засечки, лучевые системы;
- фотограмметрический метод.



**Рис.3. Графическое представление изменения погрешности  $m_P$  в зависимости от размера площади участка  $S$  и заданной ошибки  $m_C$**

Допустимые инструкцией ошибки  $m_P$  в см для рассматриваемых масштабов показаны на рис.3 в виде пунктирных линий. Для установления методов определения плановых координат точек контура рассчитаны так же относительные средние квадратические погрешности измерения длины стороны квадрата по формуле  $m_P/l = m_C / 100$ . Вычисленные значения относительных ошибок при изменении величины ошибки  $m_C$  от 0,1 до 1,0% с интервалом через 0,1% представлены в таблице.



## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

Таблица

$m_c, \%$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$m_p / l$	1/1000	1/500	1/330	1/250	1/200	1/170	1/140	1/120	1/110	1/100

При расчёте погрешностей  $m_p$  (рис.3) и относительных погрешностей  $m_p/l$  (таблица) минимальное значение погрешности  $m_c$  принято равным 0,1%.

Специалисты в области кадастра считают, что фактическая погрешность  $m_c$  в разы больше принятой при расчётах минимальной погрешности. Учитывая это, а также сравнивая численные значения расчётных погрешностей  $m_p$  с заданными в инструкции (рис.3), можно сделать следующие основные выводы.

1. Принятая в инструкции [1] средняя квадратическая погрешность положения межевых знаков относительно пунктов государственной геодезической сети 0,1 мм в масштабе плана обоснована. Допустимая ошибка  $m_p$  незначительно превышает величину расчётной ошибки лишь для участков съёмки площадью менее четырёх соток, что необходимо учитывать при проведении полевых геодезических измерений.

2. Для определения координат межевых знаков участков местности кроме указанных выше методов можно рекомендовать использовать так же теодолитные ходы с предельными относительными погрешно-

стями 1:3000 и 1:2000 [2].

### Литература

1. Инструкция по межеванию земель. Комитет Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству. М.: Роскомзем, 1996, с.31.
2. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. М.»Недра» 1982, с. 160.
3. Павлов В.И. О точности определения координат геологических точек при разведке месторождений полезных ископаемых. Бюллетень научно-технической информации. №66, Методика, техника и экономика аэрогеологических и аэрофототопографических работ.: ВИЭМС, 1965, с.48-52.
4. Павлов В.И. О точности определения координат точек геологических наблюдений при разведке месторождений полезных ископаемых. Маркшейдерский вестник №3, 2011, с. 29-32.
5. Павлов В.И. Уравнения связи между точностью определения площади участка съёмки и координат его контурных точек. Маркшейдерский вестник №6, 2011.

*Виктор Иванович Павлов, горный инженер-маркшейдер, д-р техн.наук, проф., тел. (812)328-84-13, моб.тел. 8-953-356-02-08, E-mail: Kaf-ig@spmi.ru  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г.Санкт-Петербург*

### ООО «Союз маркшейдеров России» НОЧУ «ЦДО «Горное образование»

(Лицензия серии 77 № 002121, Регистрационный № 029073)

#### График проведения курсов на 2016 год (72 часа):

Сроки проведения	Направление	Категория слушателей
11.04.2016-20.04.2016 23.05.2016-03.06.2016** 26.09.2016-05.10.2016*** 17.10.2016-28.10.2016**** 14.11.2016-23.11.2016	<b>«Маркшейдерское дело»</b>	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций
23.05.2016-03.06.2016** 26.09.2016-05.10.2016*** 17.10.2016-28.10.2016****	<b>«Геология»</b>	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций
23.05.2016-03.06.2016** 26.09.2016-05.10.2016*** 17.10.2016-28.10.2016****	<b>«Промышленная безопасность опасных производственных объектов»</b>	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций
23.05.2016-03.06.2016** 26.09.2016-05.10.2016*** 17.10.2016-28.10.2016****	<b>«Рациональное использование и охрана недр»</b>	специалисты служб лицензирования, недропользования, главного геолога
23.05.2016-03.06.2016** 26.09.2016-05.10.2016*** 17.10.2016-28.10.2016****	<b>«Землеустройство и земельный кадастр»</b>	специалисты горно- и нефтегазодобывающих организаций

\* - очная часть курсов повышения квалификации (29.02.2016-04.03.2016) проводится в г.Тюмени. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской научно-практической конференции «Промышленная безопасность и геолого-маркшейдерское обеспечение работ при добыче углеводородного сырья»

\*\* - очная часть курсов повышения квалификации (30.05.2016-03.06.2016) проводится в г.Кисловодске. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской научно-практической конференции «Промышленная безопасность при недропользовании и охрана недр»

\*\*\* - курсы повышения квалификации проводятся в г.Ялте. Слушатели курсов примут участие в работе Всероссийской конференции «Рациональное и безопасное недропользование»

\*\*\*\* Очная часть курсов повышения квалификации (24.10.2016-28.10.2016) проводится в г.Санкт-Петербурге.

Получить более подробную информацию о полном перечне направлений курсов повышения квалификации и передготовки можно на сайте [www.mwork.su](http://www.mwork.su), по e-mail: [gogobr@inbox.ru](mailto:gogobr@inbox.ru) или по тел. (495) 641-00-45, (499) 263-15-55

УДК 622.831:550.543

В.И.Ляшенко

## РАЗВИТИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ<sup>1</sup>

Описаны основные научные и практические результаты развития методов и средств геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры. Даны общая характеристика и задачи мониторинга, выполнен выбор методов и средств контроля и оценка состояния массива руд и пород звукометрическими приборами. Приведены результаты исследований влияния глубины отработки на устойчивость горизонтальных обнажений в очистных камерах. Дан прогноз устойчивости обнажений камерных систем разработки приповерхностных запасов по результатам многолетних исследований напряженно-деформированного состояния месторождений сложной структуры Украины.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геомеханический мониторинг; горные породы; месторождения сложной структуры; подземная разработка; приборное обеспечение; оценка; прогноз.

V.I.Lyashenko

## DEVELOPMENT OF GEOMECHANICAL MONITORING OF PROPERTIES AND THE CONDITION OF THE MASSIF OF ROCKS BY UNDERGROUND MINING OF FIELDS OF DIFFICULT STRUCTURE

The main scientific and practical results of development of methods and means of geomechanical monitoring of properties and condition of the massif of rocks are described by underground mining of fields of difficult structure. The general characteristic and problems of monitoring are given, the choice of methods and control devices and an assessment of a condition of the massif of ores and breeds is executed by sound metric devices. Results of researches of influence of depth of working off on stability of horizontal exposures are given in clearing cameras. The forecast of stability of exposures of chamber systems of development of near-surface stocks by results of long-term researches of the intense deformed condition of fields of difficult structure of Ukraine is given.

**KEY WORDS:** geomechanical monitoring; rocks; fields of difficult structure; underground mining; instrument providing; assessment; forecast.



### Актуальность проблемы.

Большинство рудных месторождений Российской Федерации, Украины и Казахстана характеризуются крайне сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями. Эффективное управление геомеханическим состоянием рудовмещающего массива в сложных горно-геологических условиях может быть обеспечено геомеханическим мониторингом его напряженно-деформированного состояния. Основу такого мониторинга составляют геофизические и механические методы, совершенствование которых и адаптация к конкретным условиям месторождения весьма актуальны. Поэтому развитие геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры на основе оценки степени устойчивости обнажений, выявления закономерностей их деформирования и разрушения, увязка выемки руды и пород во времени и пространстве, определение параметров конструктивных элементов систем разработки, способов крепления и соответствующих типов крепи – важные, имеющие научное и практическое значение задачи, требующие системного решения [1-11].

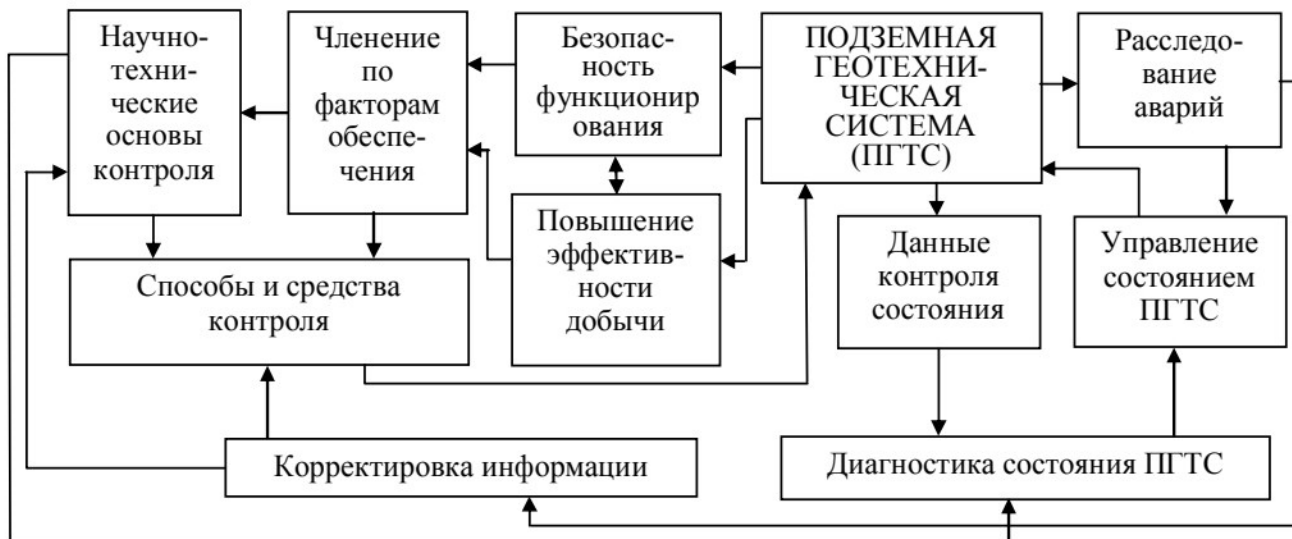
Авторами предложен комплексный метод исследований, включающий анализ работ по оценке напряженно-деформированного состояния горного массива с использованием теорий упругости, пластичности и запредельного деформирования, шахтные экспериментальные исследования визуальными и геофизическими методами акустической и электромагнитной эмиссии, сейсмического зондирования, ультразвукового и ударно-волнового контроля, а также теоретический анализ и обобщение результатов измерений [12,13].

### Общая характеристика и задачи мониторин-

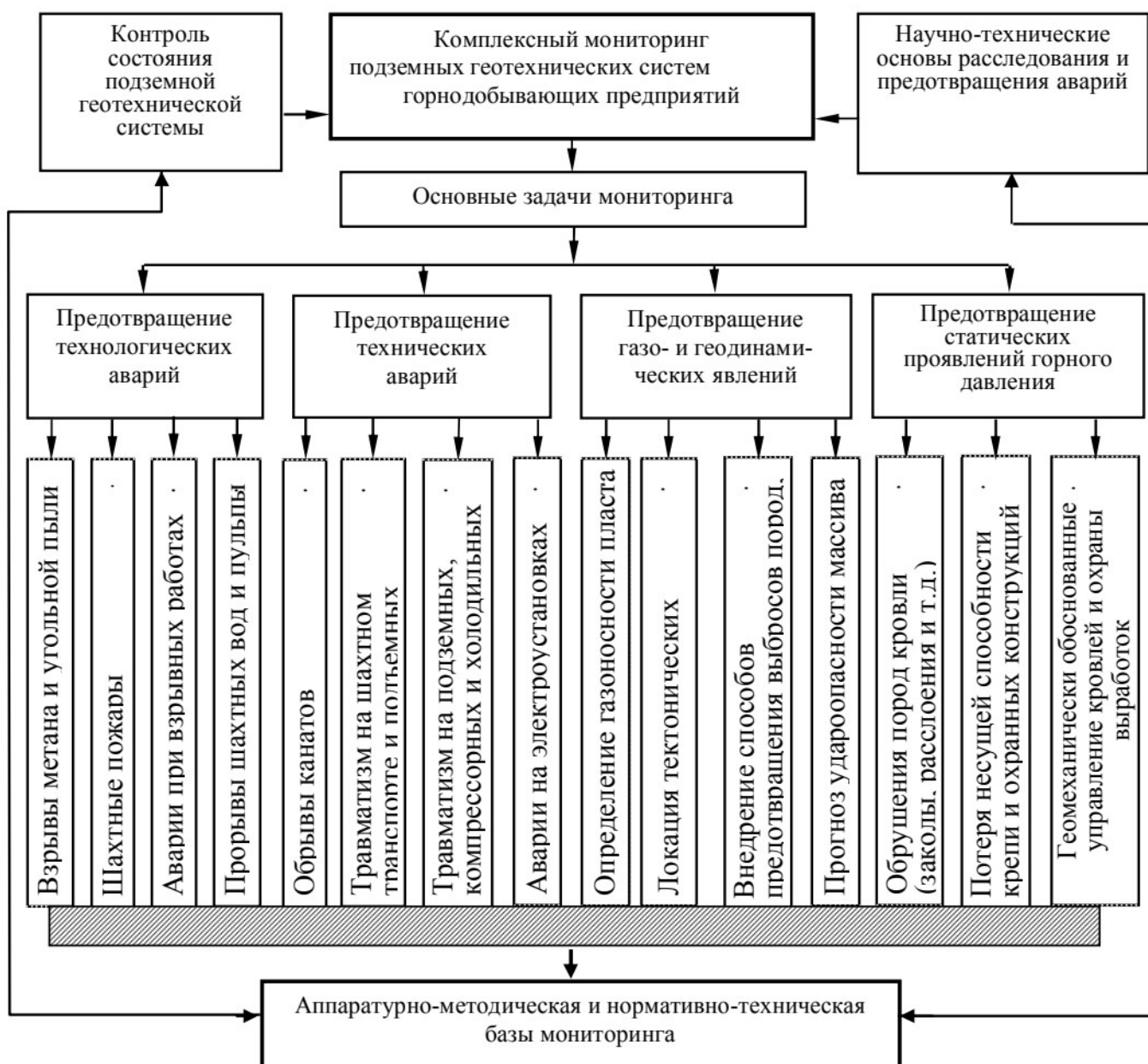
га. Опыт горнодобывающих предприятий свидетельствует о том, что базовой основой их безаварийной работы является соединение воедино задач промышленной и геомеханической безопасности производственной среды шахт и рудников путем внедрения системного контроля и диагностики состояния горного массива, крепей и других охранных конструкций (рис.1). Системный долговременный, а, в ряде случаев, постоянный контроль геомеханического состояния продуктивных толщ и подземных сооружений подразумевает их мониторинг, базирующийся на методах оперативного и непрерывного контроля, а также на технической диагностике при обязательной разработке и внедрении комплекса мероприятий, предупреждающих возникновение негативных ситуаций в шахтах.

Основной концепцией мониторинга является разделение геотехнической системы при контроле отдельных объектов и процессов с последующим синтезом и экспертной оценкой его результатов для прогноза эффективности функционирования производственного цикла всей подземной системы, а также разработка руководящих решений относительно предупреждения негативных ситуаций, обеспечивающих повышение эффективности и безопасности горных работ (рис.2). По статистическим данным около 70% несчастных случаев со смертельным исходом связано с обрушениями пород. При этом коэффициент смертности достигает 0,8. В большинстве случаев обрушаются заколы и слабые породы с коэффициентом крепости до 4, причем в ряде случаев причинами травматизма является разрушение либо крепи, либо охранных конструкций, в особенности в зонах невыявленных геологических нарушений. Благодаря огромному кругу решаемых задач, оперативности и низкой стоимости основу комплексного мониторинга составляют методы горной геофизики [14].

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ



**Рис.1. Схема алгоритма мониторинга подземной геотехнической системы**



**Рис.2. Составляющие элементы комплексного мониторинга**

**Выбор методов и средств контроля.** Во всех случаях инструментальным методам контроля и диагностики должны предшествовать визуальные исследования, по результатам которых принимается решение о привлечении одного или (для повышения достоверности) комплекса методов горной геофизики.

Основной предпосылкой геофизического контроля в горных выработках является недостаточный объем и довольно низкая достоверность данных, которые предварительно были получены при выполнении визуального осмотра, а также при проведении разведочного и контрольного бурения.

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

При выборе методов контроля учитывают следующие факторы: характер задач, которые можно решить с помощью тех или иных методов геофизического контроля; априорные результаты по степени информативности метода; условия и возможности выполнения измерений; результаты предварительного визуального обследования; наличие соответствующих технических средств; трудовые и материальные

затраты; продолжительность всего цикла работ. При выполнении диагностики состояния закрепленных и незакрепленных участков горных выработок рекомендуется применять следующие геофизические методы: ультразвуковой, ударно-волновой (виброакустический), электрометрический и электромагнитный (рис.3) [15].

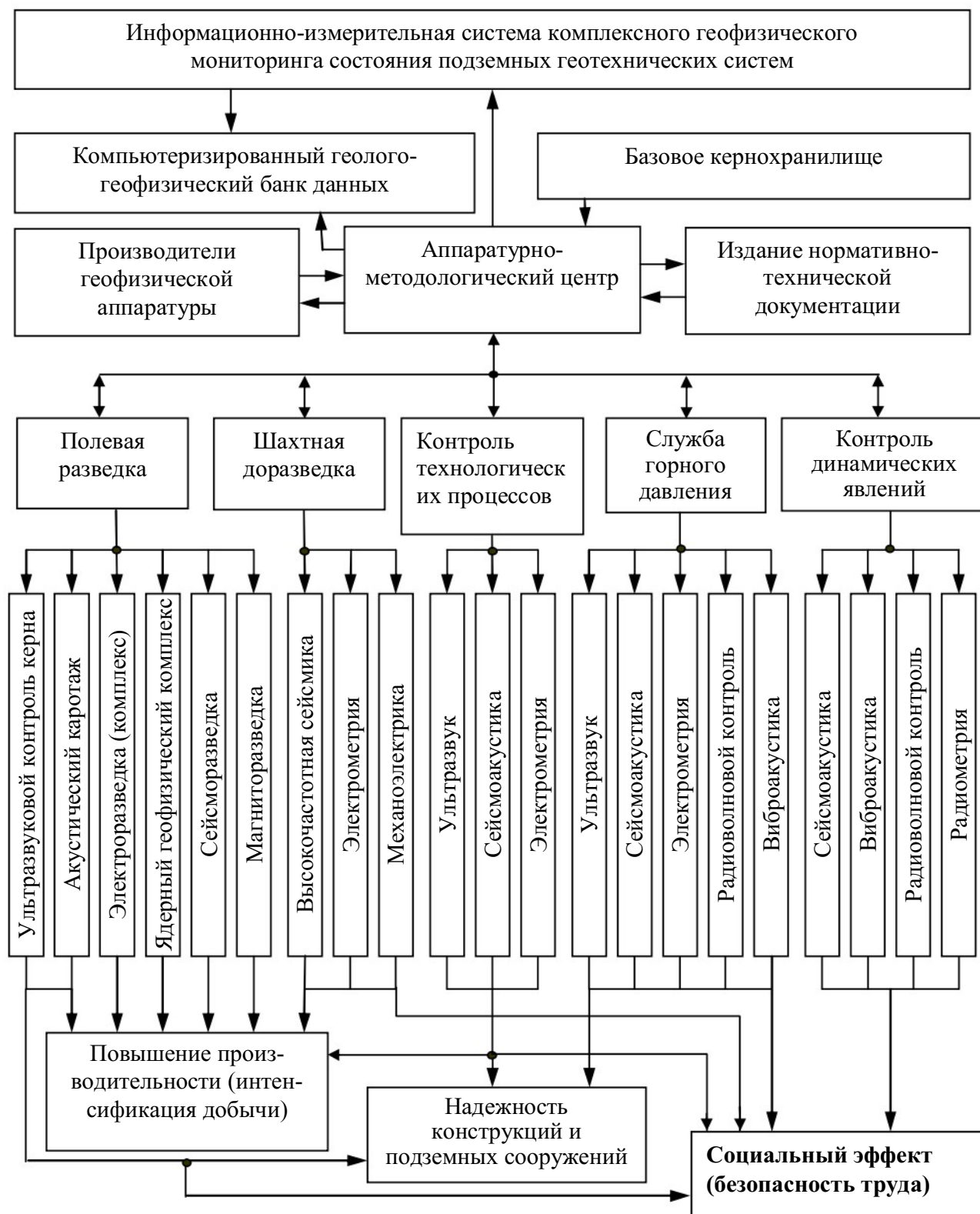


Рис.3. Схема геофизического мониторинга ПГТС

### Оценка состояния массива руд и пород звукометрическими приборами<sup>2</sup>

Для оперативного контроля, прогноза состояния горного массива и целиков различного назначения применяются звукометрические переносные и стационарные приборы, как наиболее простые средства

и методы наблюдений (табл.1). В основу приборов, улавливающих звуковые импульсы разрушения (горные шумы), возникающие в момент нарушения целостности внутренних связей отдельностей массива пород и руд, положен метод пьезоэлектрического эффекта (рис.4). Переносные звукометрические при-

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

боры (датчики и индикаторы звуков разрушения и звукометрические станции) предназначены для проведения контрольно-профилактических и регулярных наблюдений в местах, где отсутствуют наблюдательные станции (рис.5). Коэффициент усиления таких приборов не превышает  $10^5$ , а общая масса комплекта - не более 10 кг (табл.2).

Таблица 1

### Характеристика звукометрических приборов и систем

Наименование приборов и систем	Модель	Частотный диапазон, Гц	Разработчик
Индикатор звукового разрушения	ЗИР-3	$0-5 \cdot 10^3$	ГП «НИГРИ» г.Кривой Рог
Звукометрический прибор	ЗП-5 ЗП-6	$20-2 \cdot 10^4$	ВНИПИпромтехнологии г. Москва
Двухканальный регистратор	РЭМ-1	$50-4 \cdot 10^4$	ГП «УкрНИПИИ промтехнологии» г.Желтые Воды
Двухканальный цифровой измеритель	АЭ-2	$4-54 \cdot 10^3$	ИФ и МГП АН Киргыстана г.Бишкек
Стационарная сейсмоакустическая аппаратура	Гроза-16	$20-4 \cdot 10^4$	НПО «Сибцветавтоматика» г.Красноярск

Таблица 2

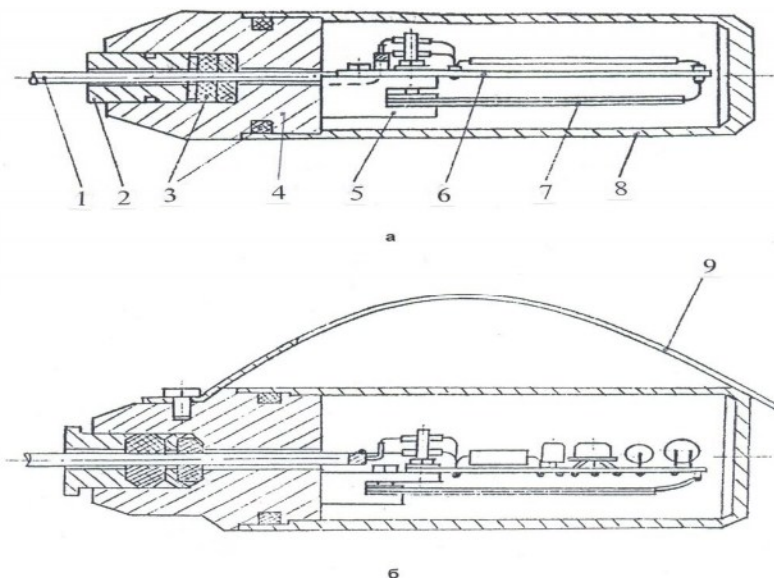
### Техническая характеристика станции "Дельта-2М"

Наименование показателей	Значение
Частотный диапазон, Гц	$10-2 \cdot 10^4$
Коэффициент усиления $K_y$ на выходе, не менее	$8 \cdot 10^4$
Диапазон регулирования $K_y$ , %	0-10
Чувствительность, мкВ, не менее	20
Величина входного сопротивления, МоМ, не менее	10
Напряжение источника питания, В	9
Габариты, мм	290x200x1300
Масса, кг	8

Таблица 3

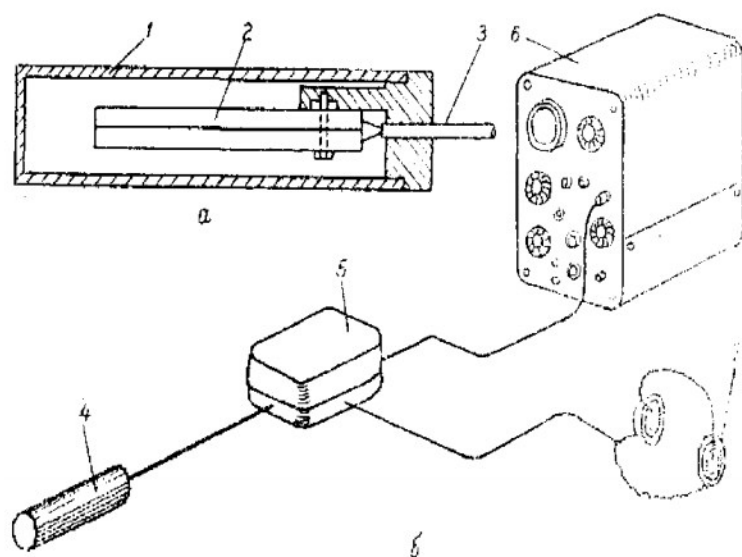
### Техническая характеристика аппаратуры "СЦЗК-2"

Наименование показателей	Значение
Частотный диапазон, Гц	$20-2 \cdot 10^4$
Коэффициент усиления $K_y$ на выходе, не менее	$3 \cdot 10^5$
Чувствительность, мкВ, не менее	20
Сопротивления нагрузки, оМ, не менее	$15 \cdot 10^3$
Напряжение источника питания, В	
- переменный	220 (50 Гц)
- постоянный	9
Количество геофонов	10
Масса комплекта, кг, не более	40



**Рис.4. Датчики-приемники импульсов звуков разрушения:**

а, б – соответственно конструкция датчиков переносного и стационарного; 1 – кабель связи; 2 – зажим; 3 – уплотнители; 4 – основание; 5 консольная платформа; 6 – монтажная планка; 7 – пьезоэлемент; 8 – изолирующая гильза; 9 – прижим



**Рис.5. Схема звукометрического метода зондировать массива пород:**

а - конструкция датчика; б - рабочая схема: 1 - корпус датчика; 2 - кристалл сегнетовой соли; 3 - кабель; 4 - датчик; 5 - усилитель; 6 - осциллограф; 7 - наушники

Стационарные звукометрические приборы (системы) предназначены для проведения длительных наблюдений и обслуживают от одного до нескольких десятков пьезоэлектрических геофонов. Такие системы позволяют оперативно получать информацию о состоянии подработанного массива горных пород и автоматическую запись звуков разрушения для их последующего анализа (табл.3). Для звукометрических приборов основным элементом в комплекте аппаратуры является пьезоэлектрический геофон (датчик-приемник звуков разрушения) (рис.4). Он представляет собой изолированную гильзу из нержавеющей трубки диаметром 38-42 мм и длиной 150-220 мм, внутри которой в специальном держателе консольно закреплен пьезоэлемент размерами

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

65x20x3,5 мм или 65x20x2,5мм. Проходящие по массиву горных пород звуки разрушения вызывают механические колебания пьезоэлемента, вследствие этого на противоположных гранях возникает разность электрических потенциалов, которая и регистрируется.

При оценке степени устойчивости подработанного массива важнейшей характеристикой является зависимость его звукоактивности от величины напряжений и деформаций, полученная при различных степенях нагружения образцов пород и руд в лабораторных или в натуральных условиях. Многочисленные

опыты и эксперименты показывают, что при напряжениях 60-80% от разрушающих значений звукоактивность массива горных пород резко увеличивается. Это служит показателем неустойчивого состояния подработанного горного массива. По составленной для каждого месторождения шкале звукоактивности пород и руд, в зависимости от состояния подработанного массива, можно фиксировать процессы, предшествующие обрушению, и принимать инженерно-технические решения (табл.4).

Таблица 4

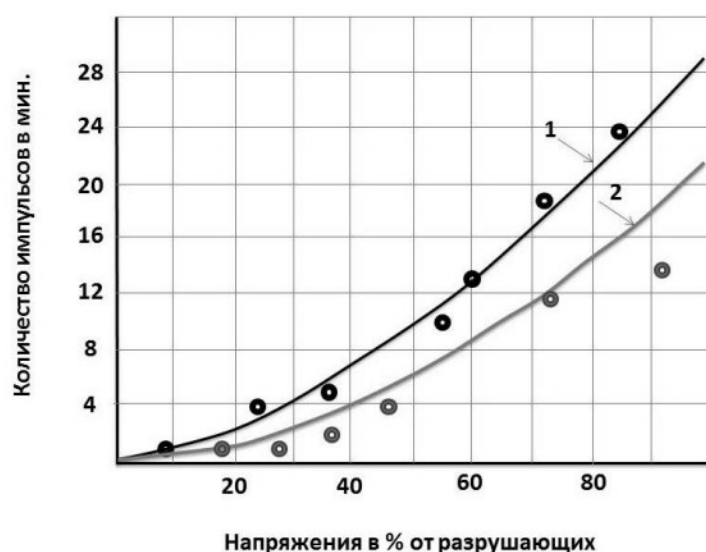
### Характеристика рудных месторождений по устойчивости подработанных горных массивов

Наименование	Породы и руды	Число импульсов в минуту, характеризующих состояние подработанных массивов, мин <sup>-1</sup>		
		стадия устойчивости		
		устойчивая	переходная	неустойчивая
Рудники Урала	Порфириты	0-25	25-40	более 40
	сиениты	0-30	30-40	более 40
	туфы магнетиты скарны	0-40	40-60	более 60
Рудники Кривбасса	Слабые руды	0-5	5-10	более 10
	средние руды	0-10	10-25	более 25
	крепкие руды	0-20	20-40	более 40
Рудники Горной Шории	Диориты	0-15	15-30	более 30
	роговики	0-30	30-60	более 60
	известняки скарны порфириты	0-40	40-60	более 60
Рудники Хакасии	Роговики скарны	0-15	15-30	более 30
	сланцы, туфы известняки	0-30	30-60	более 60
Хайдарканское	Известняки сланцы	0-10	10-20	более 20
Джезказганское	Песчаники алевриты	0-10	10-25	более 25
Миргалимсайское	Известняки доломиты	0-16	16-25	более 25
СУБР	Сланцы известняки	0-10	10-20	более 20

На основе результатов натуральных испытаний элементов горного массива, проведенных на урановых месторождениях Украины, построены зависимости частоты звуков разрушения от величины напряжений  $\sigma$  (рис.6), согласно формуле:

$$\sigma = a \cdot N_{и}^b, \quad (1)$$

где  $N_{и}$  - количество импульсов в минуту; а и в - соответственно коэффициенты, характеризующие структурные и прочностные свойства горного массива.



**Рис.6. Зависимость частоты звуков разрушения от величины напряжения для различных типов пород: 1, 2 – соответственно, средне- и сильно трещиноватый массив**

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

При определении устойчивых параметров камерной системы разработки в расчеты вводят коэффициент запаса прочности ( $K_3$ ), который выражается как отношение предельной (разрушающей) нагрузки  $[\sigma]$  к действующей на конструктивный элемент ( $\sigma$ ), или как отношение предела прочности материала к расчетному напряжению:

$$K_3 = [\sigma] / \sigma. \quad (2)$$

Исходя из формул (1) и (2), с достаточной степенью точности можно прогнозировать коэффициент запаса прочности по интенсивности регистрируемых звуковых импульсов. Наблюдения звукометрическими приборами проводятся в скважинах (или шпурах), пробуренных в горном массиве эксплуатационного блока в составе наблюдательной станции, которая располагается вне зоны обрушения. Количество

скважин определяется в зависимости от площади обнажений, приходящейся на 1 м. Расстояние в плане между скважинами может быть в пределах 5-10 м, но не более порога возможного приема звуковых импульсов разрушения. В точке заложения пьезоэлектрического геофона в скважине наблюдение ведется в течение 5 минут. Среднее значение частоты (интенсивности) звуковых импульсов разрушения ( $N_{ii}$ ) в одну минуту получается делением общего количества за период наблюдения в данной точке скважины на интервал времени ( $t$ ) (табл.5, 6). Наблюдения должны проводиться не реже одного раза в неделю. При появлении первых импульсов наблюдения должны проводиться чаще, а в особо ответственных случаях - непрерывно с погашением пустот [16].

Таблица 5

Показатель звукометрический наблюдений по скважине

Номер наблюдательной скважины (НС)	Глубина заложения геофона, м	Время наблюдения, часы и минуты		Количество импульсов за минутный интервал, мин. <sup>-1</sup>					Количество импульсов за период наблюдения	Среднее количество импульсов в минуту
		начало	конец	1	2	3	4	5		
НС-1	25	9.15`	9.20`	7	13	21	4	11	56	11
	20	20`	25`	5	9	18	4	3	39	8
	15	25`	30`	20	11	4	8	16	59	12
	10	30`	35`	3	4	9	1	12	29	6

Таблица 6

Показатели звукометрических наблюдений по эксплуатационному блоку

Дата	Объект исследования	Наблюдательная станция (НС)	Среднее количество импульсов в минуту по точкам заложения геофона в скважине, мин. <sup>-1</sup>						Максимальное среднее количество импульсов в скважине	Наблюдатели
			расстояние до геофона, м							
			5	10	15	20	25	30		
19.06.15	блок 3-59	НС-1	6	21	12	16	3	11	21	Петров А.С. Ткаченко Л.Г.
		НС-2	10	12	18	36	8	17	36	
		НС-3	4	9	7	3	0	1	9	
		НС-4	2	14	12	8	3	16	16	

**Исследование влияния глубины отработки на устойчивость горизонтальных обнажений в очистных камерах.** При разработке Мичуринского сложноструктурного месторождения (Украина) камерной системой разработки с закладкой твердеющей смесью и торцовым выпуском руды под водным объектом (рис.7) обнажения пород кровли имеют вид плоского прямоугольника, защемленного по всему периметру.

Вычисленные значения эквивалентных пролетов обнажений пород  $l_{эkv}$  и  $H$  в виде точек расположены в двух областях - устойчивой и неустойчивой (рис.8). Граница между этими областями представляет собой совокупность предельных значений функций от глубины. Статистическая обработка исходной ин-

формации на ЭВМ позволила установить зависимости устойчивого эквивалентного пролета от глубины его расположения:

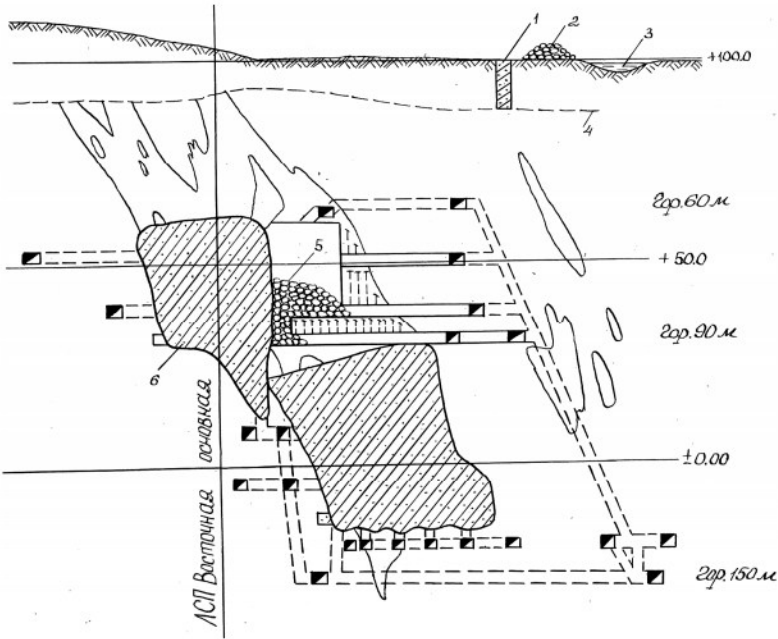
- при разработке приповерхностных запасов ( $H \leq 150 - 200$  м):

$$l_{эkv}^n \cdot H^{-1} = const, \quad (3)$$

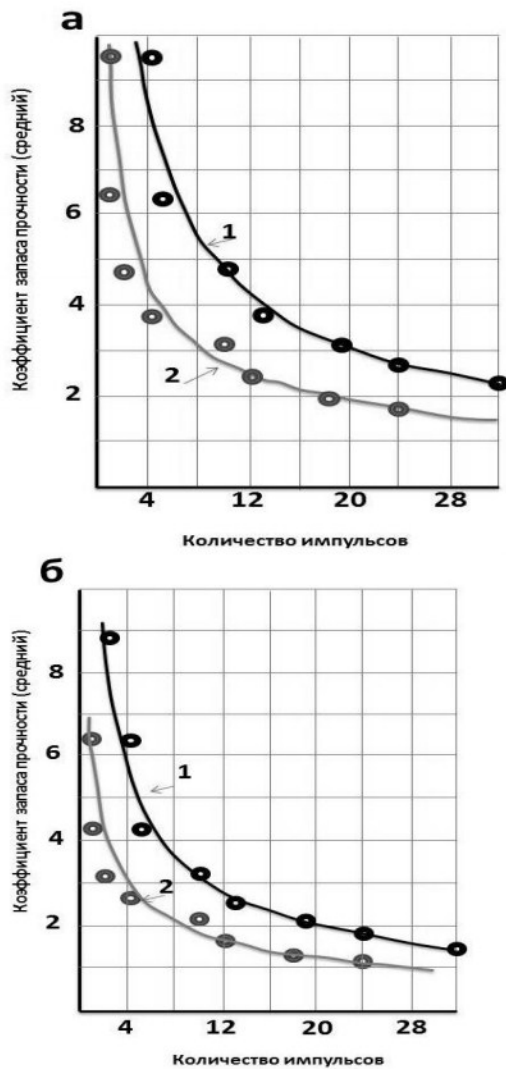
- при ведении горных работ на более глубоких горизонтах ( $H \geq 150 - 200$  м):

$$l_{эkv}^n \cdot H = const, \quad (4)$$

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ



**Рис.7. Камерная система разработки с закладкой твердеющей смесью и торцовым выпуском руды:**  
 1 – противодиффузионная завеса; 2 – дамба; 3 – река;  
 4 – нижняя граница коры выветривания; 5 – отбитая руда;  
 6 – камеры отработанные и погашенные твердеющей закладкой; ЛСП- линия совмещенной проекции



**Рис.8. График зависимости между коэффициентом запаса прочности и частотой появления импульсов разрушения:**

а, б - соответственно, средний и минимальный коэффициент запаса прочности; 1, 2 – соответственно, средне- и сильнотрещиноватый массив

Анализ состояния горизонтальных обнажений, расположенных на глубине от 40 до 150 м, показывает, что на их устойчивость существенное влияние оказывает близость поверхности.

**Прогноз устойчивости обнажений камерных систем разработки урановых руд.** Для месторождений, обрабатываемых в сложных горно-геологических условиях, большое значение имеют научно обоснованное определение параметров конструктивных элементов систем разработки и прогноз их устойчивости в период эксплуатации. Важное значение при этом приобретают изыскания методов контроля горного давления и их применение в повседневной практике. Качественное определение действующих в породах напряжений и устойчивости массива можно проводить при помощи звукометрического метода, физическая основа которого состоит в том, что большинство горных пород при нарушении условного равновесия поля напряжений генерирует звуки, возникающие в процессе местных микроразрушений при деформации породы под влиянием перераспределения напряжений. Поэтому «звуковая активность» породы проявляется задолго до ее макроразрушения и может служить предупреждением развития процесса разрушения или указывать на относительную, на данный момент времени, устойчивость массива. Для составления прогнозов обрушений и оценки устойчивости массива пород при помощи звукометрического метода, необходимо знать зависимость частоты разрушения в массиве от действующих в нем напряжений. Частоту звуков для конкретных пород определяют опытным путем. Практикой наблюдений на шахтах Криворожского бассейна установлено, что изменение частоты звуковых колебаний в пределах 1-20 импульсов в минуту характеризует в большинстве случаев развитие разрушений без внешних проявлений. Частота, изменяющаяся в пределах 20-40 импульсов в минуту, сопровождается отдельными отслоениями и местными вывалами, а превышающая 40-60 импульсов в минуту предшествует массовому обрушению пород.

Техника определения звуковой активности пород исследуемого массива состоит в поочередном помещении звукоприемника в специально пробуренные шпур (скважины) и регистрации частот звуковых колебаний в течение трех периодов по 5-10 мин. Сущность данного метода заключается в следующем. Звуки, принятые датчиком, располагаемым в массиве пород (в шпуре или скважине), после усиления и преобразования в усилителе, подаются на головные телефоны и осциллограф, которые фиксируют звуки от происходящих процессов разрушения пород в массиве. Усилитель низкой частоты, выполненный на полупроводниках, состоит из трех каскадов усиления и мостовой схемы, в диагонали которой включен микроамперметр. Питание усилителя обеспечивается от одной батарейки для карманного фонаря. Датчик представляет собой пьезоэлектрический микрофон, выполненный в виде полого металлического цилиндра, диаметром 30-32 мм и длиной 110 мм. Внутри цилиндра с помощью специального держателя консолюно закреплен пьезоэлемент.



На Мичуринском месторождении под руководством Р.Ш.Азимова проводились звукометрические наблюдения при раздавливании элементов массива в натуральных условиях [3]. Опытные работы велись на горизонте 90 м в районе подречного целика. Испытания проводились на двух площадках, по которым перед началом работ была проведена съемка трещиноватости (табл.7).

Таблица 7

#### Характеристика трещиноватости по опытным площадкам горного массива

Наименование показателей	Номер площадки	
	1	2
Максимальная частота системных трещин на 1 погонный м	16,8	9,4
Количество бессистемных трещин на 1 погонный м	3,6	0,8
Удельная трещиноватость	15,2	9,2
Максимальное количество всех трещин на 1 погонный м	20,4	10,2
Средний размер керна при бурении перпендикулярно площадке	13,3	10,7

Средний предел прочности горных пород (гнейсов) на сжатие, определенный по результатам лабораторных испытаний образцов, составляет  $1400 \text{ кг/см}^2$  при коэффициенте вариации 32,65%. Коэффициент структурного ослабления составлял 0,26-0,34. Размер элементов массива, подвергавшегося давлению, был принят  $700 \times 700 \times 940 \text{ мм}$ . Искусственное нагружение элементов массива осуществлялось давилкой установкой ДУ-30 конструкции ВНИМИ [17-19], состоящей из рабочих цилиндров с диаметром плунжера 100 мм и плунжерного ручного насоса типа ГН-500, соединенных между собой маслоподающими трубками. Изменение нагрузки проводилось путем изменения давления масла в цилиндрах ступенями через  $50 \text{ кг/см}^2$  в каждом цилиндре, что соответствовало изменению напряжений в массиве на  $22 \text{ кг/см}^2$ .

На основании результатов натуральных испытаний элементов массива построены зависимости частоты импульсов (звуков) механического разрушения от величины напряжений (рис.9). Общей закономерностью является то, что регистрация звуков начинается задолго до полного разрушения и частота звуков растет с увеличением напряжений. В трещиноватых породах частота звуков растет более плавно, так как в определенной степени происходит закрытие имеющихся в массиве дефектов и имеет место «затухание» звуков разрушения, вызванное структурной нарушенностью массива и различным заполнением трещин. Из анализа кривых для различных горных пород видно, что характер зависимости между  $N_{\text{имп}}$  и  $\sigma$  вполне определен и что кривые располагаются на графике в строгом соответствии с величиной трещиноватости. В результате математической обработки результатов, полученных из экспериментальных работ, и кривых удалось установить характер зависимости между частотой возникновения импульсов разрушения ( $N_{\text{имп}}$ ) и величиной напряжений в них  $\sigma$ .

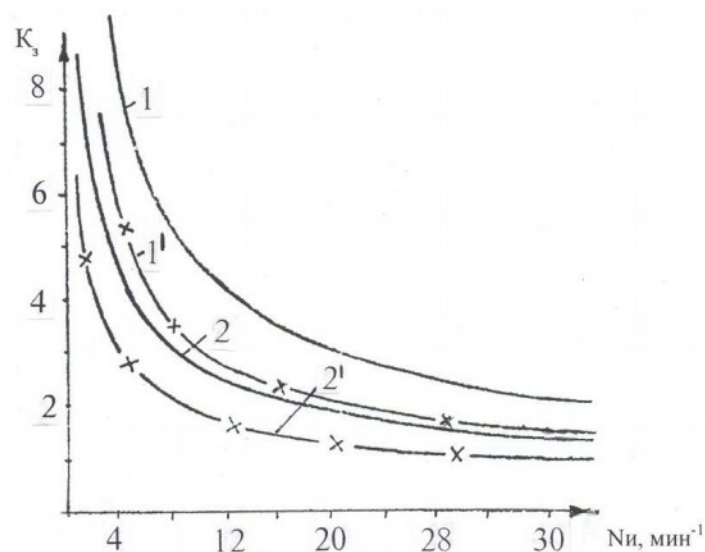


Рис.9. Графики зависимостей коэффициента запаса прочности и частоты звуков разрушения: 1,1' – соответственно среднее и минимальное значение для среднетрещиноватых пород; 2,2' – то же для сильнотрещиноватых пород

#### Выводы

1. Доказано, что устойчивость массива и целиков зависит от интенсивности импульсов (частоты) звуков разрушения в минуту. Устойчивому состоянию соответствуют значения в пределах 0-13, переходному - 13-17, неустойчивому - более 17 имп/мин. Для сильнотрещиноватых горных массивов приходится до  $20 \text{ м}^2$  обнажения на 1 м скважины, среднетрещиноватых - 30 и слаботрещиноватых - 50.

2. Обоснована функциональная взаимосвязь между величиной напряжений горного массива и количеством импульсов (звуков разрушения) в минуту, характеризующих его структурные (а) и прочностные (b) свойства. Она описывается криволинейной зависимостью вида  $y=ax^b$ , позволяющей с вероятностью 0,8 оперативно устанавливать оптимальные параметры обнажений.

3. Установлено, что условиям безопасности горных работ на Мичуринском месторождении соответствует значение надежности 0,9831 при сроках (времени) существования обнажений горных пород 240 суток, что определяет производительность эксплуатационных блоков.

4. Предложены зависимости, позволяющие прогнозировать устойчивость конструктивных элементов камерных систем разработки и рудных массивов по величине запаса прочности, что повышает безопасность ведения горных работ и эффективность отработки месторождения применительно к условиям разработки Мичуринского сложноструктурного месторождения. При этом автор доказывает необходимость создания и внедрения геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры.

# ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

## Литература

1. Борисов А.А. *Механика горных пород*. - М.: Недра, 1980. – 359 с.
2. Фисенко Г.Л. *Предельное состояние горных пород вокруг выработок*. - М.: Недра, 1980. – 359 с.
3. Слепцов М.Н., Азимов Р.Ш., Мосинец В.Н. *Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов*. - М.: Недра, 1986.- 206 с.
4. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. *Геофизический контроль в шахтах и тоннелях*. - М.: Недра, 1987. - 278 с.
5. Скипочка С.И. *Механоэлектрические эффекты в породах и их использование в горной геофизике*. – Днепропетровск: НГАУ, 2002. – 178 с.
6. Паламарчук Т.А., Кириченко В.Я., Усаченко Б.М. *Элементы механосинергетики породного массива*. – Днепропетровск: Лира ЛТД, 2006. – 307 с.
7. *Геомеханічний моніторинг підземних геотехнічних систем* / А.В. Анциферов, С.І. Скіпочка, А.О. Яланський [та ін.]. – Донецьк: «Ноулідж», 2010. – 253 с.
8. Ляшенко В.И., Голик В.И. *Геомеханический мониторинг горного массива и целиков при подземной разработке урановых месторождений // Цветная металлургия*. - 2003. - №10. - С.2-7.
9. Ляшенко В.И., Голик В.И. *Средства геомеханического мониторинга породного массива при подземной разработке рудных месторождений // Горный журнал*. - 2004. - №5. - С.47-50.
10. Ляшенко В.И., Колоколов О.В., Разумов А.Н. *Создание и внедрение природо- и ресурсосберегающих технологий подземной разработки месторождений сложной структуры // Цветная металлургия*. - 2004. - №9. - С.7-14.
11. Ляшенко В.И., Голик В.И. *Научные основы геомеханического мониторинга горного массива при подземной разработке месторождений сложной структуры // Цветная металлургия*. - 2004. - №10. - С.2-10.
12. *Временные методические указания по экспресс-*

*определению упругих свойств горных пород ультразвуковым методом на необработанных образцах керна геологоразведочных скважин. РД / А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, С.И. Скипочка [и др.]. - Л.: ВНИМИ. - 1987. - 40 с.*

13. *Методические указания по составу механических испытаний горных пород и методам обработки горногеологических данных при разведке и вскрытии месторождений полезных ископаемых для проектирования и расчета крепи капитальных горных выработок / В.Т. Глушко, Н.С. Булычев, Е.В. Стрельцов [и др.]. – Харьков: ВНИИОМШС, 1979. – 116 с.*

14. *Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам*. - Л. ВНИМИ. 1989. - 58с.

15. *Геомеханический мониторинг массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры / В.И. Ляшенко, С.И. Скипочка, А.А. Яланский и др. // Цветная металлургия*. – 2011. – №9. – С.3 – 15.

16. *Эффективное приборно-методическое обеспечение геомеханической безопасности горных работ/ В.И. Ляшенко, С.И.Скипочка, А.А. Яланский и др.// Черная металлургия*.-2012.- № 5.- С.23-31.

17. *Геомеханический мониторинг при подземной разработке месторождений сложной структуры/ В.И. Ляшенко, С.И.Скипочка, А.А. Яланский и др.//Известия вузов. Горный журнал*.- 2012.- №4.-С.109-119.

18. *Безопасности горных работ – надежное геомеханическое и приборное обеспечение/ В.И. Ляшенко, С.И.Скипочка, А.А. Яланский и др.// Безопасность труда в промышленности*.- 2012.-№ 9.- С.68-77.

19. *Ляшенко В.И., Пухальский В.Н. Обоснование безопасных параметров камер при подземной разработке приповерхностных запасов месторождения под охраняемыми объектами//Известия вузов. Горный журнал*.- 2015.- №3 -С.37-49.

<sup>1</sup> В проведении экспериментальных исследований принимали участие Ю.Я.Савельев, А.Х.Дудченко, А.А.Ткаченко, А.Г.Скотаренко, А.И.Подопригора (ГП «УкрНИПИИПромтехнологии»), С.И.Скипочка, А.А.Яланский, Т.А.Паламарчук, В.Н.Сергиенко (Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины) и др.

<sup>2</sup> В работе принимали участие Р.Ш.Азимов, В.Н.Коваленко, С.М.Слепцов, И.А.Ахвердиев, Ю.В.Трифонов, А.Н.Каширный, В.Н.Листов, В.П.Картавый и др.

*Василий Иванович Ляшенко, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., Государственное предприятие Украинский научно-исследовательский и проектно- изыскательский институт промышленной технологии, г.Желтые Воды, Украина, тел.+38(05652)290-64, E-mail:vi\_lyashenko@mail.ru*

## Уважаемые коллеги!



Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России» в связи с 20-летним юбилеем организации выпустил памятный знак «20 лет СМР» для вручения членам организации.

Вручение знака членам СМР осуществляется на конференциях и курируемых Союзом курсах повышения квалификации маркшейдеров.

Для получения знака остальными членами просьба направлять заявку через «Маркшейдерский клуб» (<http://smr-club.ru>). При этом просим уточнять личные контактные данные на сайте в категории «Члены СМР», «Личные данные (внесение актуальной информации о себе)» для совершенствования системы доведения актуальной информации до маркшейдерской общественности. В соответствии с поступившими заявками отправка знаков будет осуществляться в адрес председателей региональных отделений СМР.

Обращаем Ваше внимание на то, что в связи с большим объемом поступивших заявок их прием продлен на 2016 г.

Также готовы передавать знаки представителям региональных отделений, для чего они должны иметь при себе соответствующий список членов СМР.

Ответственной за распределение знаков является Горшкова Марина Геннадьевна (E-mail: [smr@mwork](mailto:smr@mwork), 8(499) 263-15-55, 8(926) 533-40-57).

**Редакция «МВ»**

УДК 622.241.54

Н.В.Черданцев, О.Ю.Балашов

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С ПРОЧНОСТНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ И СИСТЕМОЙ ДВУХ ПРОТЯЖЁННЫХ ВЫРАБОТОК СВОДЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

Представлены результаты расчётов техногенной нарушенности массива с регулярными поверхностями ослабления, обусловленной проведением системы двух выработок, сооружаемых в непосредственной близости друг от друга. В качестве показателя количественной оценки степени нарушенности массива принят коэффициент нарушенности, представляющий размер зон нарушения сплошности массива, образующихся вокруг выработок и приходящийся на единицу площади поперечного сечения выработок. На основе этого показателя проведён анализ нарушенности вмещающего выработки массива в зависимости от характеристик модельной среды и взаимного положения выработок.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** массив горных пород; поверхности ослабления; горная выработка; прочностная анизотропия; зоны нарушения сплошности; коэффициент нарушенности.

N.V.Cherdantsev, O.Yu.Balashov

## RESEARCH OF THE GEOMECHANICAL STATE OF THE MASSIF OF ROCKS WITH STRENGTH ANISOTROPY AND SYSTEM OF TWO EXTENDED DEVELOPMENTS OF VAULTED SECTION

Results of calculations of technogenic disturbance of the massif with regular surfaces of easing, the system of two developments constructed in close proximity from each other caused by carrying out are presented. As an indicator of a quantitative assessment of extent of disturbance of the massif the coefficient representing the size of the zones of disturbance of the continuity of massif which are formed around developments and having per unit area the cross section of developments is accepted. On the basis of this indicator the analysis of disturbance of the massif containing developments depending on characteristics of the model environment and the mutual provision of developments is carried out.

**KEY WORDS:** massif of rocks; easing surfaces; excavation; strength anisotropy; zones of disturbance of a continuity; coefficient of disturbance.



Н.В.Черданцев    О.Ю.Балашов

При разработке угольного месторождения, расположенного в массиве осадочных горных пород, сооружается большое количество выработок различных форм

поперечных сечений. В этой связи оценка геомеханического состояния массива является важным этапом в решении общей задачи по обеспечению стабильной и безопасной работы как строящегося, так и действующего угледобывающего предприятия [1-3].

Задача о геомеханическом состоянии массива горных пород, вмещающем на достаточной глубине выработки, у которых длина значительно превышает их поперечные размеры, решается в плоской постановке, поскольку породы в окрестности протяжённых выработок находятся в условиях плоского деформированного состояния [4, 5]. При таком допущении массив представляется невесомой плоскостью с регулярными поверхностями ослабления и выработкой (системой выработок) с заданной формой поперечного сечения, пройденной на глубине  $H$ . Плоскость сверху и снизу нагружена гравитационным давлением  $\gamma H$ , а по бокам  $\lambda \gamma H$  ( $\gamma$  - объёмный вес налегающей толщи пород,  $\lambda$  - коэффициент бокового давления).

Известно, что массив осадочных горных пород, вмещающий пластовые месторождения полезных ископаемых, обладает ярко выраженной прочностной

анизотропией, обусловленной системами поверхностей ослабления, по которым характеристики прочности массива существенно ниже, чем по другим направлениям. К поверхностям ослабления относятся, в основном, слоистость и кливаж [6-8].

Ориентация определяется углами  $\alpha$  (падения) и  $\beta$  (простираия). Угол  $\alpha$  образован нормалью  $\nu$  к поверхности ослабления и вертикальной осью  $z$ , а угол  $\beta$  определяется между трассой выработки (ось  $x$ ) и проекцией на горизонтальную плоскость  $xy$  нормали  $\nu$ . Порода между поверхностями ослабления называется основной и обладает свойствами сплошности, однородности, изотропности.

Расчёт геомеханического состояния анизотропного по прочности массива, вмещающего горную выработку, с точки зрения механики деформируемого твёрдого тела представляет собой довольно сложную задачу, которую необходимо решать в несколько этапов [9]. На первом этапе надо построить поле напряжений и описать упругое деформирование массива. На втором этапе ставятся условия предельного состояния по поверхностям ослабления, и исследуется поведение слоёв породы при их скольжении вплоть до наступления предельного состояния. На третьем этапе исследуется деформирование массива, когда слои основной породы находятся в предельном состоянии.

В такой постановке решение поставленной задачи связано с огромными трудностями, в основном, вычислительного характера. Поэтому для оценки состояния массива с несколькими поверхностями ослабления удобнее использовать метод упругого на-

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

ложения, который для расчёта массива с регулярными поверхностями ослабления, по-видимому, просто незаменим. Некоторые задачи о состоянии анизотропного массива, решённые с помощью этого метода изложены, например, в [8, 10, 11].

Идея метода заключается в том, что условие прочности Кулона - Мора формулируется только в точках массива, принадлежащих поверхностям ослабления. Такой подход в оценке прочности массива осадочных горных пород принадлежит Г.Н. Кузнецову [6, 7]. Он сформулировал условия разрушения массива с поверхностями ослабления следующим образом:

$$|\tau_v| \geq \sigma_v \operatorname{tg} \varphi + K, \quad \sigma_v \geq R_p, \quad (1)$$

где  $\varphi$  и  $K$  – угол внутреннего трения и коэффициент сцепления по поверхностям ослабления;  $R_p$  – предел прочности на растяжение (отрыв) в направлении, перпендикулярном поверхностям ослабления;  $\tau_v$  – касательные, а  $\sigma_v$  – нормальные напряжения на поверхностях ослабления. Эти напряжения выражаются через компоненты поля напряжений, которое находится путём решения второй внешней краевой задачи теории упругости посредством формул преобразования напряжений при повороте координатных осей.

Наиболее эффективным методом построения поля напряжений, особенно в массиве с поверхностями ослабления, является метод граничных элементов. Суть его заключается в численном решении граничного интегрального уравнения второй внешней краевой задачи теории упругости о выработке внутри бесконечного массива относительно фиктивной нагрузки, приложенной к ней изнутри, и последующем определении напряжений в любой точке области с использованием фундаментального решения Кельвина о действии на бесконечную среду сосредоточенной силы [9, 12].

Метод упругого наложения является приближённым методом, потому что деформирование слоёв при условии их скольжения, переходе в предельное состояние и связанное с этим перераспределение напряжений в массиве не рассматриваются и в расчётах не учитываются. По существу с помощью этого метода находятся только внешние границы областей массива, в которых происходит разрушение массива только по поверхностям ослабления. Поскольку удовлетворение условий (1) приводит лишь к разрушению массива по этим поверхностям, то области такого характера часто называют зонами нарушения сплошности (ЗНС). Это название подчёркивает тот факт, что в этих зонах массив расслаивается.

С практической точки зрения для анализа состояния вмещающего массива распределения ЗНС около выработок бывает вполне достаточно, например, для выбора крепи, особенно анкерной, и расчёта её параметров, так как реальные разрушения слоёв основной породы и её вывалы, приводящие к потере

устойчивости выработки, происходят именно из зон нарушения сплошности.

В этой связи ЗНС наглядно представляют качественное состояние массива, а их размеры дают количественную оценку его нарушенности. Являясь своеобразным критерием устойчивости выработок, ЗНС позволяют оценить их устойчивость, выявить рациональные формы поперечных сечений выработок и определить оптимальные параметры крепи [5]. Кроме того, ЗНС являются областями, в которых происходит более интенсивная фильтрация газа, чем в остальных частях массива [2, 3]. А в массивах с несколькими выработками при определенных условиях ЗНС интегрируются, что приводит к образованию областей неустойчивости системы выработок. Так, например, если массив представлен тонкослоистой структурой, то образование вывалов из зон нарушения сплошности весьма вероятно, а повысить устойчивость выработок (и массива) путём применения анкеров не представляется возможным. Поэтому построение областей неустойчивости является важным моментом на стадии проектирования системы выработок.

Для оценки степени нарушенности массива в окрестности выработок вводится показатель, называемый коэффициентом нарушенности  $k_n$  [9, 11]:

$$k_n = S_n / S,$$

где  $S$  – суммарная площадь поперечного сечения выработок;  $S_n$  – суммарная площадь их ЗНС.

Введённый показатель создает методическую основу для исследования модельных многосвязных сред в зависимости от их параметров.

Описанный подход к исследованию геомеханического состояния анизотропного по прочности массива, основанный на методе упругого наложения, представляет собой математическую модель состояния массива осадочных горных пород.

В данной статье представлены результаты проведённого расчёта массива и анализа состояния его нарушенности в окрестности двух одинаковых выработок с сечениями в виде комбинации прямоугольника и полукруга (прямоугольно-сводчатыми сечениями) при различных их взаимных положениях.

Расчётная схема массива с двумя протяжёнными одинаковыми выработками с прямоугольно-круговым сечением и размерами  $h, a=2r$  представлена на рис.1. Горизонтальная ось  $y$  привязанной к первой выработке системы координат проходит по границе раздела круговой и прямоугольной частей сечения первой выработки, а вертикальная ось  $z$  совпадает с осью симметрии сечения. Угол, образованный линией, соединяющей точки  $O$  и  $O_1$ , и осью  $y$ , обозначен  $\theta$ , а расстояние между контурами выработок составляет величину  $b$ .

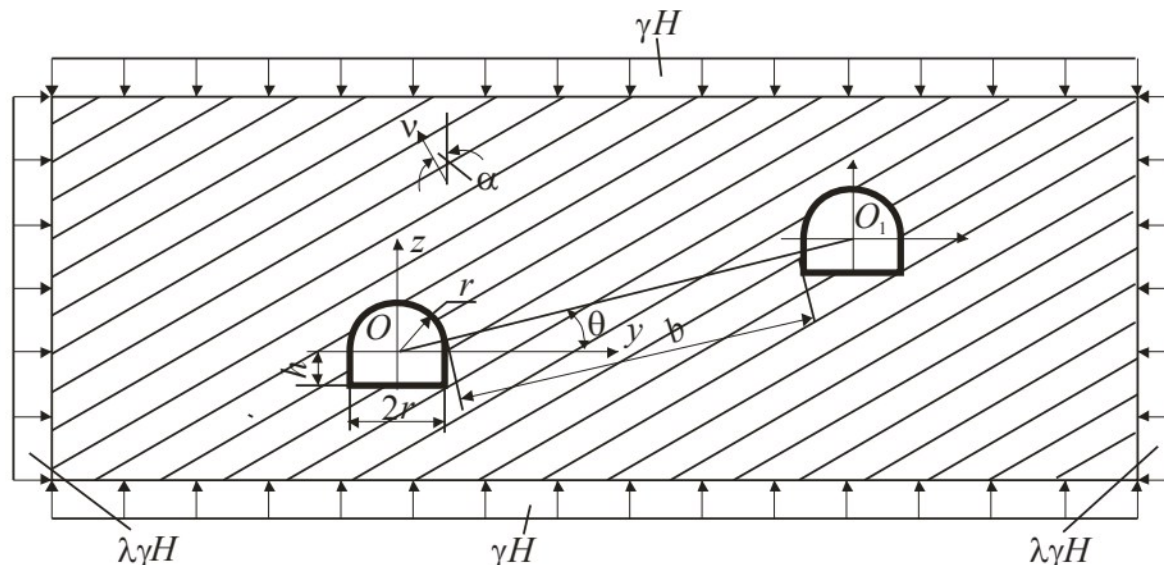


Рис. 1. Расчётная схема анизотропного массива с двумя выработками

Исследование состояния массива заключалось в построении ЗНС массива вокруг выработок для ряда расстояний  $b$  между их контурами и при изменении угла  $\theta$  в интервале  $0-90^\circ$ .

Представленные в статье результаты получены в среде программирования СИ ШАРП в ходе широко-масштабного вычислительного эксперимента, проведённого по разработанному алгоритму, реализующему представленную выше математическую модель геомеханического анизотропного состояния массива.

В качестве исходной информации приняты следующие параметры выработки и массива:  $h/r=0,785$ ,  $\lambda=1$ ,  $\alpha=\beta=0^\circ$ ,  $\varphi=20^\circ$ ,  $K/\gamma H=0$ ,  $\sigma_p/\gamma H=0,01$ . Здесь размер  $h$  принят из условия равенства площадей круговой и прямоугольных частей сечения. Напряжения вычислялись в долях от  $\gamma H$ .

На фрагментах рис.2 представлены картины ЗНС около выработок для двух значений угла  $\theta$  и  $b=2r$ . Здесь же приведены и коэффициенты нарушенности массива. Из рис.2 а следует, что ЗНС около выработок, расположенных на одном горизонте, в большей степени формируются не в промежутке между ними, а с противоположных (внешних) сторон выработок. Рис.2 б показывает, что при диагональном

расположении выработок друг относительно друга возможен эффект образования «моста» между контурами выработок в виде единой зоны нарушения сплошности, получившейся в результате смыкания ЗНС от каждой отдельной выработки.

На рис.3 построены графики зависимости коэффициента нарушенности массива от угла  $\theta$  при трёх значениях  $b$ . График 1 соответствует  $b=1$ , 2 -  $b=2$ , 3 -  $b=3$ .

По сравнению с  $k_n$  для одиночной выработки, около которой он равен 1,06, в окрестности спаренных выработок, как это следует из графиков рис.3, он значительно выше. Так, например,  $k_n$  в 1,8 раза больше в точках максимума при  $\theta=60^\circ$  и  $b=2r$  и в 1,22 раза в точках минимума при  $\theta=0^\circ$  и  $b=(1-3)r$ . Кроме этого по результатам расчёта установлено, что смыкание зон на диапазоне изменения  $b$  от  $r$  до  $3r$  происходит в интервале  $\theta$  от  $35^\circ$  до  $70^\circ$ . Как следует из характера изменения графиков, до  $35^\circ$  значения  $k_n$  при  $b=3r$  выше, чем при меньших его значениях. Однако максимум нарушенности достигается, когда расстояние между контурами составляет один пролёт выработки, т.е. его ширину. При  $\theta$  больше  $75^\circ$  нарушенность не зависит от расстояния  $b$ .

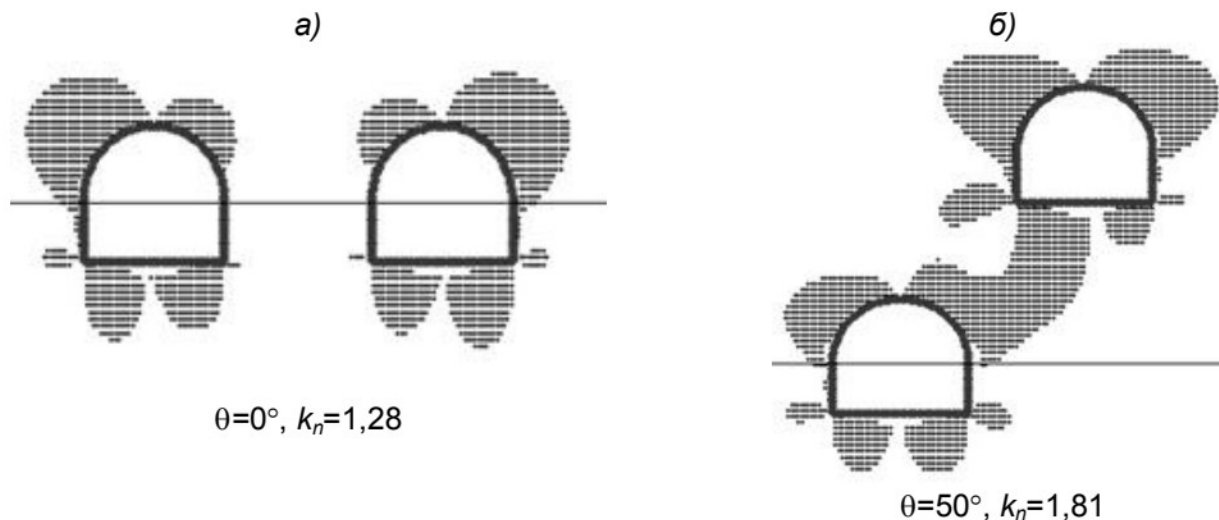
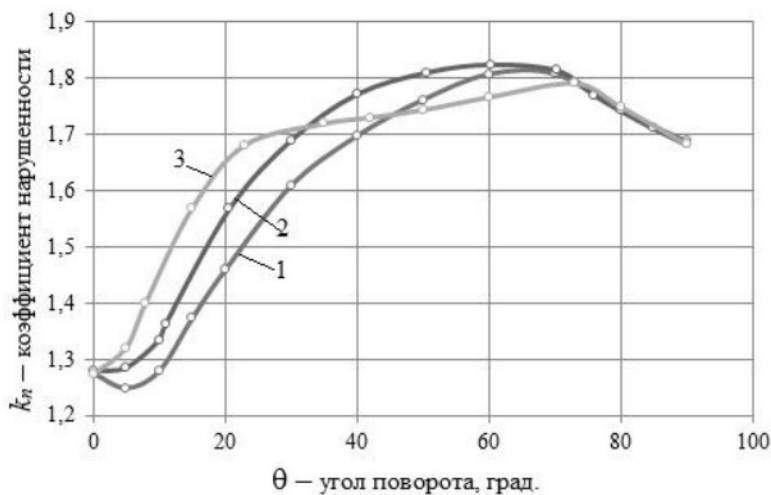


Рис.2. Зоны нарушения сплошности массива около выработок

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

Следует отметить, что взаимное влияние исследуемых выработок значительно больше, чем влияние двух одинаковых выработок круглого сечения, расположенных в равнокомпонентном поле напряжений ( $\lambda=1$ ). Для случая цилиндрических выработок максимальный  $k_n$  достигает максимума при  $\theta=55^\circ$ , при этом расстояние между контурами выработок составляет  $2,6 r$ , а сам коэффициент в 1,22 раза превышает коэффициент нарушенности массива около одиночной выработки [11]. В этом случае коэффициент нарушенности массива в окрестности одиночной выработки прямоугольно-сводчатого сечения лишь в 1,07 раз превышает  $k_n$  массива около цилиндрической выработки.



**Рис. 3. Графики зависимости коэффициента нарушенности от угла поворота одной выработки вокруг трассы другой для ряда расстояний между их контурами**

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Распределение нарушенности массива с прочностной анизотропией, обусловленное проведением выработок, неравномерно. Оно зависит от их взаимного положения. Существуют положения, при которых зоны нарушения сплошности формируются около каждой выработки, мало влияя друг на друга. Но есть положения, при которых зоны, увеличивая свои размеры возле каждой выработки, ещё и смыкаются друг с другом, образуя области неустойчивости массива и создавая максимальные его нарушения сплошности. При горизонтальных поверхностях ослабления эффект смыкания зон происходит при диагональном расположении выработок друг относительно друга.

2. Коэффициент нарушенности массива около двух выработок прямоугольно-сводчатого сечения в 1,5 раза превышает аналогичный коэффициент в окрестности двух выработок круглого сечения. Применительно к массиву с одиночными выработками значения коэффициента нарушенности отличаются всего на 7%.

### Литература

1. Клишин В.И., Зворыгин Л.В., Лебедев А.В., Савченко А.В. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. - ИУ СО РАН, 2011. - 524 с.
2. Зыков В.С., Абрамов И.Л., Торгунаков Д.В. Статистика динамических явлений в шахтах и уточнение их классификации // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). - 2013. - Отдельный выпуск 6. - С. 297-319.
3. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Обоснование технологических решений по управлению выемочного участка с учётом геомеханических процессов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. - 2014. - № 2. - С. 37 - 43.
4. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. - Киев: Наукова Думка, 1968. - 888 с.
5. Булычёв Н.С. Механика подземных сооружений. - М.: Недра, 1994. - 382 с.
6. Кузнецов Г.Н. Предельные состояния твердых горных пород с учетом пространственной ориентировки поверхностей ослабления // Тр. ВНИМИ. - Л., 1961. №43. - С. 98-112.
7. Кузнецов Г.Н. Графические методы оценки предельных состояний трещиноватого массива вокруг горных выработок // Современные проблемы механики горных пород. - Л.: Наука, 1972. С. 30-44.
8. Ержанов Ж.С., Изаксон В.Ю., Станкус В.М. Комбайновые выработки шахт Кузбасса. Опыт поддержания и расчёт устойчивости. - Кемерово: Кемеровское книжное изд. - во, 1976. - 216 с.
9. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твёрдого тела. - Мир, 1987. - 328 с.
10. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Изаксон В.Ю. Выбор нетипового поперечного сечения выработки в зависимости от физико-механических свойств массива горных пород // Горный журнал. 2009. № 6. - С. 41-44.
11. Черданцев Н.В., Преслер В.Т., Изаксон В.Ю. Построение областей неустойчивости двухсвязного массива горных пород с прочностной анизотропией // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 8. - С. 313 - 320.
12. Бреббия К., Теллес Ж., Врубел Л. Методы граничных элементов. - Л.-М: Мир, 1987. - 525 с.

Николай Васильевич Черданцев, д-р техн. наук, зав. лабораторией геомеханики угольных месторождений, тел. (384-2) 74-15-57, E-mail: cherdantsevnv@icc.kemsc.ru;  
Олег Юрьевич Балашов, ст. инженер лаборатории геомеханики угольных месторождений, E-mail: olegus16@mail.ru  
(Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово)

УДК 624.121

Б.Т.Ильясов

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ КОНЕЧНО-ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Описывается модель, разработанная для расчетов квазиползучих деформаций горных пород с использованием метода конечно-дискретных элементов. Описаны реализованные в модели алгоритм расчета снижения прочности со временем, учитывающий действующие напряжения *in situ*, алгоритм ускоренной стабилизации динамической системы. Приведен пример расчетов разрушения участка борта карьера, описан механизм развития трещиноватости в массиве во времени.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метод конечно-дискретных элементов; метод дискретных элементов; длительное разрушение горных пород; ползучесть горных пород; длительная прочность; механизм разрушения бортов карьеров.

B. T. Ilyasov

## MODELLING OF LONG DESTRUCTION OF MASSIFS OF ROCKS BY METHOD OF FINAL AND DISCRETE ELEMENTS

The model developed for calculations of quasicreeping deformations of rocks with use of a method of final and discrete elements is described. Are described realized in model the algorithm of calculation of decrease in durability over time considering the operating *in situ* tension, algorithm of the accelerated stabilization of dynamic system. The example of calculations of destruction of a site of a board of a pit is given, the mechanism of development of a jointing in the massif in time is described.

**KEY WORDS:** method of final and discrete elements; method of discrete elements; long destruction of rocks; creep of rocks; long durability; mechanism of destruction of boards of pits.



### Общие сведения

Метод конечно-дискретных элементов, разработанный в начале 2000-х годов [1], является представителем класса численных методов механики дискретной среды.

В данном методе моделируемая среда разбивается на треугольные конечные элементы, со-

единенные четырехугольными трещинными элементами. Упругое деформирование среды происходит вследствие деформаций конечных элементов, пластическое деформирование среды рассчитывается в виде смещений в трещинных элементах. После разрушения трещинных элементов взаимодействие конечных элементов рассчитывается алгоритмами поиска контактов и взаимодействия на контактах.

Метод конечно-дискретных элементов является очень перспективным инструментом для решения проблем геомеханики, т.к. предоставляет возможность моделирования трансформации сплошной среды в дискретную посредством образования и роста трещин и дальнейшей фрагментации среды.

Известно, что большая часть крупномасштабных геомеханических процессов, происходящих при ведении горных работ, протекает в течение длительного времени. В связи с этим для получения более точных и полных результатов при выполнении геомеханических расчетов методом конечно-дискретных элементов следует учитывать изменение прочностных параметров горных пород со временем. Для этого разработана программа-процессор метода конечно-дискретных элементов, в которой реализована модель со снижением прочности со временем в зависимости от действующих напряжений.

В разработанной программе-процессоре метода конечно-дискретных элементов реализована зависимость сдвиговой прочности от нормальных напряжений в виде критерия прочности Кулона, а также реализованы эффективные алгоритмы поиска контактов

и кривые деформирования, основанные на эмпирических зависимостях Н.Бартона, учитывающие нелинейную зависимость напряжений связи от смещений как при допредельном, так и постпредельном деформировании [2]. При постпредельном деформировании по принятой схеме напряжение связи при сдвиге к моменту разрушения стремится к остаточной прочности трещины.

### Оперирование со временем

Анализ выполненных ранее исследований [3, 4, 5] позволил установить, что авторы, в основном, сходятся во мнении относительно следующих утверждений.

1. Длительная прочность горных пород характеризуется наличием предела, при действии напряжений ниже которого снижения прочности не происходит.

2. Снижения величины угла внутреннего трения со временем не происходит, либо оно незначительно по сравнению с уменьшением сцепления.

3. Интенсивность ползучести и длительность разрушения зависит от соотношения напряжение/кратковременная прочность, времени, абсолютных величин напряжений и прочностных свойств.

4. Длительное деформирование (ползучесть) горных пород можно рассчитывать через снижение прочностных параметров во времени в зависимости от действующих напряжений.

В разработанной с учетом приведенных зависимостей модели реализовано снижение прочности трещинных элементов со временем в зависимости от действующих *in situ* напряжений. Расчет снижения прочности выполняется следующим образом.

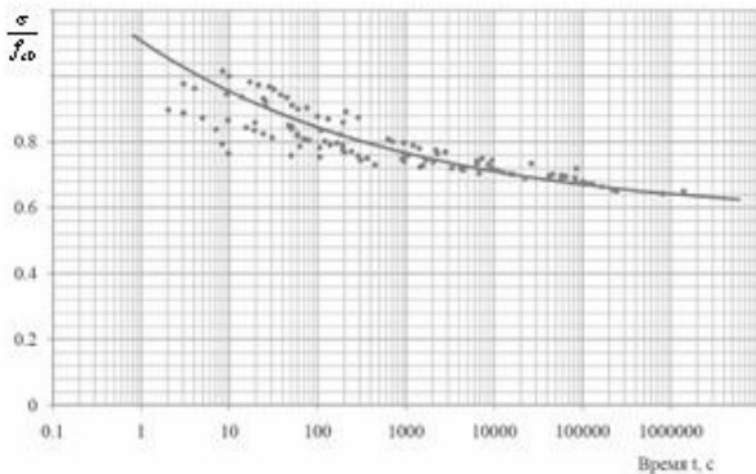
1. После стабилизации модели, достигнутой после первоначального нагружения, выполняется расчет времени до разрушения каждого трещинного элемента в зависимости от действующих напряжений с использованием функций, согласующихся с приведенными выше утверждениями и данными лабораторных исследований [6, 7]:

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

$$t_{fs} = t_0 \left( \frac{f_{s0} - f_{s\infty}}{\tau - f_{s\infty}} \right)^b, \quad (1)$$

$$t_{ft} = t_0 \left( \frac{f_{t0} - f_{t\infty}}{\sigma - f_{t\infty}} \right)^b, \quad (2)$$

где  $\tau$ ,  $\sigma$  – касательное и нормальное напряжения;  $f_{s0}$ ,  $f_{s\infty}$ ,  $f_{t0}$ ,  $f_{t\infty}$  – кратковременная прочность и предел долговременной прочности на сдвиг и разрыв, соответственно;  $t_0$ ,  $b$  – константы материала, определяемые эмпирически. На рис.1 представлена кривая, рассчитанная согласно выражению (1). Точками на рис.1 показаны данные испытаний [6].



**Рис.1. Принятая зависимость времени разрушения при сдвиге от соотношения напряжений и кратковременной прочности**

2. Вычисляется интервал времени  $\Delta t$ , соответствующий времени до разрушения  $n$ -го элемента в списке трещинных элементов модели, расположенных в порядке возрастания времени до разрушения. Величина  $n$  определяется в ходе предварительных испытаний таким образом, чтобы обеспечить требуемую дискретизацию времени.

3. Выполняется перерасчет прочностных характеристик к моменту истечения вычисленного интервала времени  $\Delta t$  согласно выражениям:

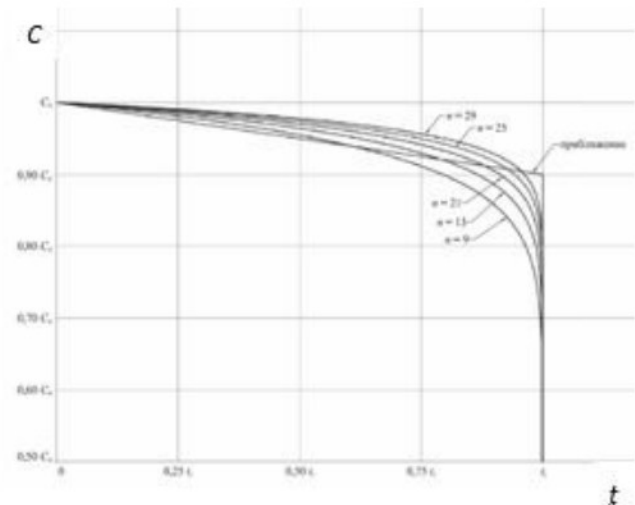
$$C_i = C_{i-1} \left( 1 - \Delta t \frac{D}{t_{fs}} \right), \quad (3)$$

$$f_{ii} = f_{ii-1} \left( 1 - \Delta t \frac{D}{t_{ft}} \right), \quad (4)$$

где  $C_i$ ,  $C_{i-1}$ ,  $f_{ii}$ ,  $f_{ii-1}$  – соответственно, сцепление и прочность на разрыв до и после истечения интервала времени  $\Delta t$ .

Выражения (3), (4) получены упрощением схемы расчета снижения прочности, предложенной Дж. Кемени [8]. Параметр  $D$  является константой, в выполненных расчетах принята величина  $D=0,1$ , обеспечивающая сходимость с расчетными. Схожая схема снижения прочности обоснована и использована в исследованиях консалтинговой группы Итаска [4].

На рис.2 представлена кривая, рассчитанная по формуле (3) и кривые, полученные по схеме расчета Дж.Кемени [8].

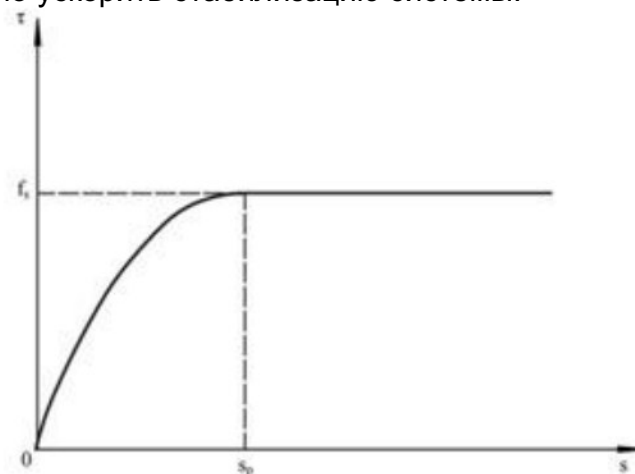


**Рис.2. Снижение сцепления со временем**

### Стабилизация динамической системы

При расчетах методом конечно-дискретных элементов полуплоскостей, закрепленных на границах, любое приложение сил приводит к возникновению упругих колебаний. Поэтому для повышения точности расчета длительного деформирования массива горных пород моделирование образования трещин и расчет снижения прочности должны производиться только после стабилизации модели. Для этого напряжения связи при сдвиге в трещинных элементах до достижения системой состояния покоя при превышении предельных касательных смещений  $s_p$  принимаются равными прочности согласно кривой на рис.3. Аналогично рассчитываются напряжения связи при растяжении.

Очевидно, что при достижении максимальной по модулю средней скорости узлов в полуцикле колебаний состояние системы наиболее близко к состоянию равновесия. Присваивание нулевых значений скоростям узлов в этот момент позволит исключить дальнейшее деформирование элементной сети, происходящее под воздействием инерции. Неоднократное повторение обнуления скоростей в момент достижения максимальной средней скорости позволит значительно ускорить стабилизацию системы.



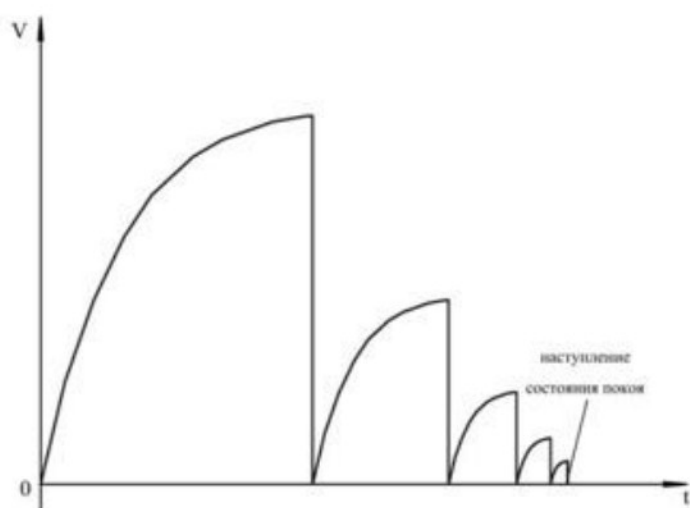
**Рис.3. Зависимость напряжений связи от смещений при принудительной стабилизации**

На рис.4 схематично изображена зависимость средних скоростей узлов от времени при применении данного условия.

Данная схема принудительной стабилизации



обеспечивает значительное ускорение расчетов и увеличение точности расчета напряжений, которые учитываются при расчете снижения прочности.



**Рис.4. Зависимость средней скорости узлов от времени при принудительной стабилизации**

Можно представить схему длительного деформирования модели с подробным описанием процесса стабилизации в следующем виде.

1. Первоначальное нагружение системы – приложение силы тяжести. Напряжения связи при превышении предельного смещения считаются постоянными, то есть разрушение элементов невозможно.

2. При начале снижения средней скорости узлов

элементов, то есть при достижении максимальной скорости в полцикле колебаний, выполняется их обнуление.

3. Пункты 1 и 2 повторяются несколько раз, количество повторений определяется в ходе предварительных расчетов.

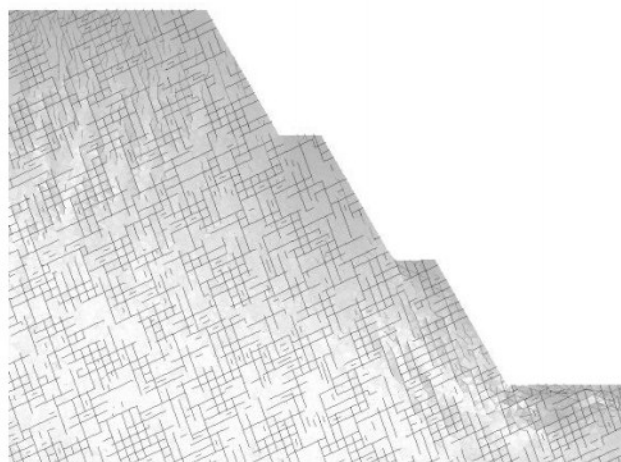
4. Выполняется расчет деформирования модели с допущением разрушения элементов.

5. Когда после последнего разрушения трещинного элемента проходит полный цикл с минимальным количеством разрушений, выполняется обнуление скоростей узлов, расчет напряжений и запуск алгоритма снижения прочности. При этом для трещинных элементов, находящихся в состоянии постпредельного деформирования, напряжения принимаются равными прочности.

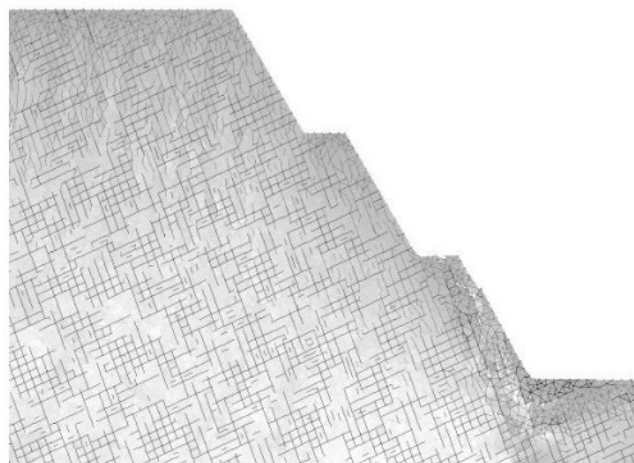
6. Возврат к пункту 1.

### Пример применения

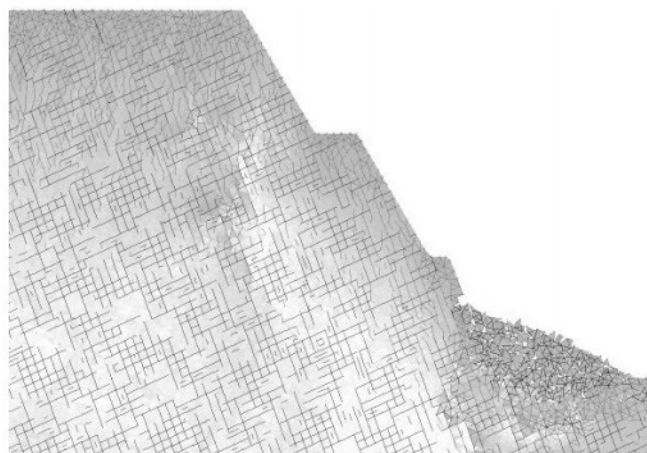
По описанной схеме, реализованной в методе конечно-дискретных элементов, выполнены расчеты длительного деформирования участка борта карьера с коэффициентами запаса устойчивости 1,0; 1,1; 1,2 и 1,3. На рис.5 а-г представлен результат расчета длительного разрушения участка борта с коэффициентом разрушения 1,1. Обозначения: LT – время длительное (относительное), TS – временной шаг в расчете.



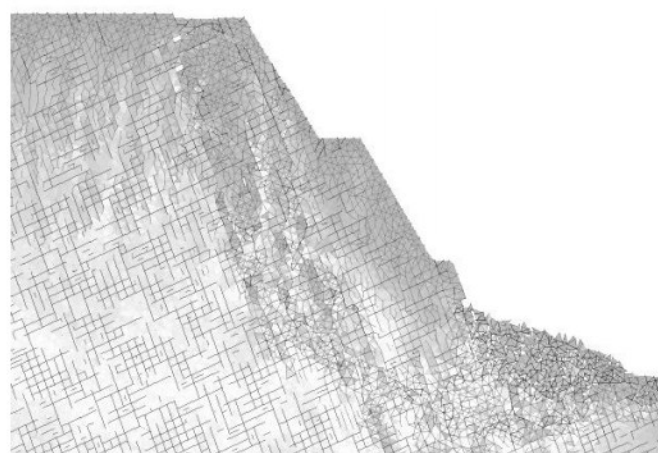
а) LT=0; TS=100 000;



б) LT=0,022; TS=700 000;



в) LT=0,977; TS=3 125 000;



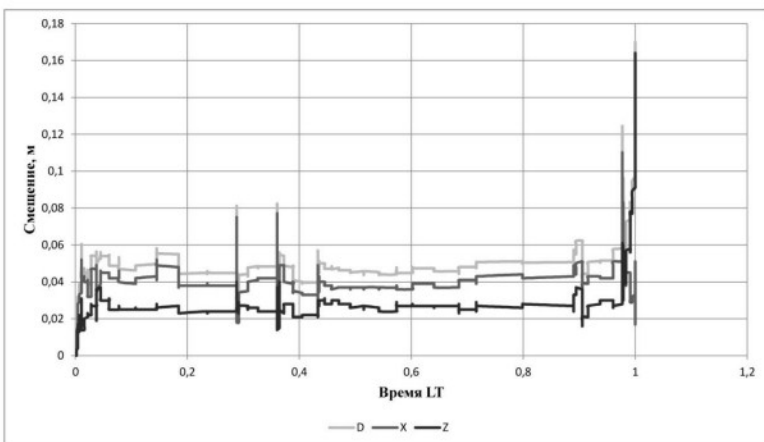
г) LT=1; TS=3 400 000.

**Рис.5. Разрушение модели участка борта с  $K_{sy}=1,1$**

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

Изучен механизм развития пластических деформаций в массиве при длительном разрушении. Локальные разрушения на первой и второй стадии ползучести развиваются в районе основания участка борта, происходит рост данной зоны разрушений, одновременно с которым происходит смещение верхней части борта, сопровождающееся увеличением раскрытия трещин, выходящих на поверхность борта в верхней его части. С началом стадии прогрессирующего разрушения происходит раскрытие трещин, направленных по нормали к верхней трети формирующейся поверхности разрушения. Формирование поверхности разрушения происходит кратковременно, при этом максимальные сдвиговые смещения вдоль поверхности достигаются изначально в верхней половине участка борта. Образование поверхности разрушения в верхней части участка борта сопровождается образованием вторичных поверхностей разрушения, круто поднимающихся к поверхности откоса. После этого происходит разрушение оставшейся ненарушенной средней части поверхности разрушения и срыв тела обрушения.

На рис.6 представлена зависимость от времени смещений точки на верхней бровке участка борта карьера по осям. Время разрушения приведено к единице. Обозначения на рис.6: X – смещения по горизонтальной оси, направленной в сторону выработки; Z – смещения по вертикальной оси, направленной вниз; D – общие смещения. За начало отсчета принято положение точки в момент окончания мгновенных упруго-пластических деформаций.



**Рис.6. Зависимость смещений точки на верхней бровке участка борта с коэффициентом запаса устойчивости 1,1 от времени**

На графике, представленном на рис.6, можно проследить первую, вторую и третью стадии ползучести, то есть представленная схема позволяет моделировать ползучесть массивов горных пород.

### Заключение

Реализация в методе конечно-дискретных элементов описанной схемы расчета снижения прочностных параметров во времени под действием касательных и растягивающих напряжений позволила выполнять расчеты разрушения массивов горных пород в результате ползучести. Приведенная схема согласуется с современными данными о длительных деформационных процессах.

Описанный алгоритм принудительной стабилизации элементной сети позволяет сократить время расчетов и увеличить их точность.

Моделирование по описанной схеме дает представление о механизме длительного разрушения массива горных пород и о динамике деформационных процессов.

### Литература

1. Munjiza A. *The combined finite-discrete element method*. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd. – 2004. – 350 p.
2. TERETAU – вычислительная геомеханика. URL: <http://teretau.com>.
3. Malan D. F. *Simulating the time-dependent behaviour of excavations in hard rock* // *Rock Mech. Rock Engng.* – 2002. – № 35(4). – P. 225-254.
4. *Long-term geomechanical stability analysis [e-book] / ITASCA CG.* – 2011. – 139 p.
5. *Glamheden R. Creep in jointed rock masses. State of knowledge [Study report] / Glamheden R., Hökmark H.* – Stockholm: SKB, 2010. – 44 p.
6. Schmidtke R.H. *The long-term strength of Lac du Bonnet granite / Schmidtke R.H., Lajtai E.Z.* // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science.* – 1985. – №22. – P. 461-465
7. Nyungu D. *Time-dependent tensile strengths of Bushveld Complex rocks and implications for rock failure around mining excavations / Nyungu D., Stacey T.R.* // *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.* – 2014. – № 114. – P. 765-772.
8. Kemeny J. *Time dependent drift degradation due to the progressive failure of rock bridges along discontinuities* // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* – 2005. – № 42. – P. 35-46.

Булат Тагирович Ильясов, аспирант кафедры маркшейдерского дела, Уральский государственный горный университет, г.Екатеринбург, ООО «Теретау», тел. +7-343-2577445, E-mail: [info@teretau.com](mailto:info@teretau.com)

### Уважаемые коллеги!

Некоммерческое партнерство «Содействие развитию горной промышленности «Горное дело», Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России» и Российское геологическое общество приглашают принять участие во Всероссийской научно-практической конференции «Промышленная безопасность при недропользовании и охрана недр», которая будет проводиться с 30 мая по 04 июня 2016 года в г. Кисловодск.

Для участия в конференции приглашены руководители и специалисты Ростехнадзора, Росприроднадзора, министерств и ведомств природоресурсного блока, горно- и нефтегазодобывающих организаций, научных, проектных и учебных организаций.

Получить информацию об условиях участия, программе и докладчиках, а также о дополнительных мероприятиях можно на сайте [www.mwork.su](http://www.mwork.su), по тел.: (495) 641-00-45; (499) 263-15-55 или e-mail: [smr@mwork.su](mailto:smr@mwork.su); [gorobr@inbox.ru](mailto:gorobr@inbox.ru).

Редакция «МВ»

УДК 622.23

Ю.А.Боровков, В.В.Ивченко

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД ТРУБКИ «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНАЯ» ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рассмотрены результаты аналитических и лабораторных исследований изменения прочностных характеристик скальных горных пород трубки «Интернациональная» при знакопеременном температурном воздействии. Приведены полученные зависимости и выявленные закономерности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** рудник «Интернациональный»; массив пород; прочностные характеристики; знакопеременное температурное воздействие; напряженное состояние массива.

Yu.A.Borovkov, V.V.Ivchenko

## DETERMINATION OF REGULARITIES OF CHANGE OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF ROCKS OF THE TUBE "INTERNATIONAL" AT SIGN-VARIABLE TEMPERATURE INFLUENCE

The results of analytical and laboratory researches of change of strength characteristics of rocky mountain breeds of tube "International" are considered at sign-variable temperature influence. The received dependences and the revealed regularities are given.

**KEY WORDS:** «International» mine; massif of breeds; strength characteristics; sign-variable temperature influence; massif tension.



Ю.А.Боровков В.В.Ивченко

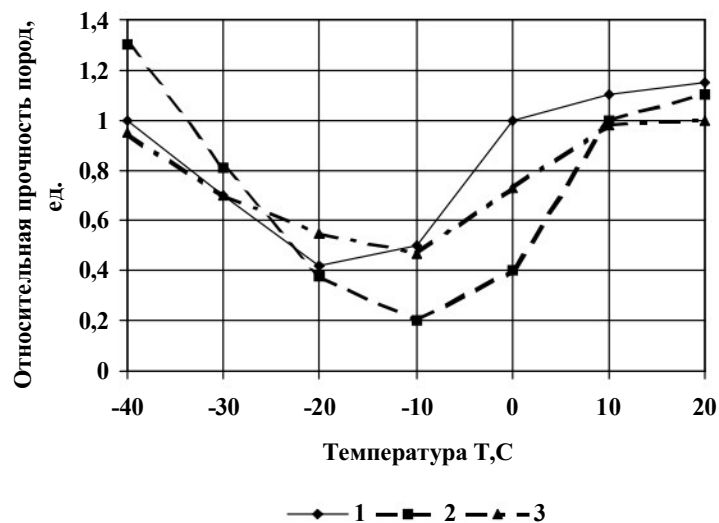
Для исследования изменения прочностных характеристик скальных горных пород при знакопеременном температурном воздействии были отобраны образцы из отвалов

отбитой вмещающей породы карьера «Интернациональная». Из отобранных кусков породы были изготовлены 50 образцов правильной кубической формы 30×30×30 мм и 35 образцов размером 40×40×40 мм. Цвет образцов от светло - до темно-серого. По минералогическим признакам испытываемые образцы относятся к карбонатным породам и представлены известняками, известковыми доломитами и доломитами, которые в большинстве случаев содержат прослойки мергеля. Удельная плотность породы 2700 кг/м<sup>3</sup>. Открытая пористость образцов исследованных пород изменяется от 1 до 8%. Породы засоленные; содержание растворимых веществ по сухому остатку мелкозернистой составляющей достигает 2,7%.

Образцы кимберлита трубки «Интернациональная» таких же размеров, как и образцы вмещающей породы, были выпилены из двух кернов, предоставленных институтом ГАБМ СО РАН. Объемная плотность образцов кимберлита 2500-2650 кг/м<sup>3</sup>. Открытая пористость 5-7%. Влажность в воздушно-сухом состоянии порядка 1%, а при полном водонасыщении 1,8 - 2,3%.

Образцы вмещающих пород и кимберлита были испытаны на прочность при одноосном сжатии. Испытания проводили при температурах +20°С, +10°С, 0°С, -10°С, -20°С и -40°С. Половину образцов испытывали в воздушно-сухом, другую в водонасыщенном состояниях по методике д.т.н. Курилко А.С. Образцы каждой серии делились на 6 групп: 3 группы испытывались в воздушно-сухом состоянии, 3 группы предварительно насыщались дистиллированной водой. По одной группе воздушно-сухих и водонасыщенных

образцов помещали в морозильную камеру и в течение 5 часов выдерживали при одной из заданных температур. Затем образцы испытывали на прочность в стабилометре системы Кармана. Усредненные по результатам испытаний данные приведены на рис.1 в виде графиков относительной прочности (отношение пределов прочности пород на сжатие водонасыщенных и сухих образцов).



**Рис. 1 - Относительная прочность горных пород в зависимости от температуры для:**

1 - глинистого известняка; 2 - мергелистого доломита; 3 - кимберлита

Результаты экспериментов показывают, что при понижении температуры от комнатной до (-10°С)–(-20°С) происходит потеря прочности вмещающей породы в среднем на 50% (кимберлита на 45%). При дальнейшем снижении температуры прочность горных пород возрастает и в среднем достигает значений, которые имели породы при комнатной температуре, т.е. в диапазоне 0°С–(-20°С) существует локальный минимум прочности пород, причем падение прочности достаточно велико и его необходимо учитывать при проведении горных работ. Такое изменение прочности пород в зависимости от температуры объясняется тем, что при понижении температуры происходят различные физические и термохимиче-

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

ские превращения, в частности, изменение агрегатного состояния одного из компонентов горной породы - воды. Кроме того, при изменении температуры в горных породах возникают термонапряжения, обусловленные различиями в упругих свойствах и коэффициентах теплового расширения отдельных минеральных зерен.

Анализируя представленные графики, можно заметить, что относительная прочность горных пород ( $\eta$ ) в зоне многолетней мерзлоты от их температуры, которая учитывает климатические условия ведения горных работ, изменяется по параболическому закону и имеет следующую закономерность:

$$\eta = \frac{\sigma_c^{об}}{\sigma_c^{ос}} = A \cdot (T - T_{cp})^2 + K, \quad (1)$$

где  $\sigma_c^{об}, \sigma_c^{ос}$  - пределы прочности породы на сжатие, соответственно, водонасыщенных и сухих образцов, МПа; А, К – эмпирические коэффициенты, зависящие от структурных особенностей образцов пород, их физико-механических свойств и пористости (для кимберлита значения  $A=0,002$ ,  $K=0,6855$ ),  $T_{cp}$  – средняя температура района ведения горных работ ( $T_{cp}=244,5$  К).

При проникании в структуру пород свободной воды при пониженной температуре происходит образования льда, что влечет за собой увеличение объема пород примерно на 9-10%, за счет чего возникает расклинивающее напряжение. Внутренние напряжения возрастают в процессе интенсивного замерзания поровой влаги в породе. С прекращением роста кристаллов льда рост внутренних напряжений прекращается. В породах, насыщенных пресной водой, интенсивное замерзание воды происходит при  $0^{\circ}\text{C}$ . В породах, насыщенных растворами солей, диапазон температуры интенсивных фазовых переходов смещается в зону более низких температур и может достигать, в зависимости от концентрации и состава растворов,  $-20^{\circ}\text{C}$  и ниже. При дальнейшем понижении температуры поровый лед цементирует и упрочняет породу. С этим связано увеличение прочности породы после того, как температура становится ниже температур интенсивных фазовых переходов и уменьшается количество незамерзшей воды.

Следует отметить, как было показано в работе [1], при насыщении водой прочность пород уменьшается как в талом, так и в мерзлом состоянии, например, водонасыщение снижает прочность кимберлита на 43% при  $+20^{\circ}\text{C}$ , на 33% при  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Проведенные лабораторные и аналитические исследования на образцах пород не дают полной картины изменения напряженного состояния массива с учетом колебания температуры в сезонные периоды при комбинированной разработке рудника «Интернациональный». Поэтому можно предположить, что разрушение пород при их подработке подземными работами с учетом гидрогеологических условий будет происходить за счет главных напряжений, дей-

ствующих в массиве пород, и напряжений гравитационного поля путем сдвига по поверхностям скольжения трещин, заполненных льдом, вторичным материалом и влагой. Поэтому в качестве оценки характера проявления горного давления можно принять теорию прочности Кулона-Мора.

Для обоснования размера зоны влияния карьера на массив горных пород, расположенный под дном карьера, необходимо установить характер изменения угла внутреннего трения кимберлита от изменения температуры в зоне многолетней мерзлоты. Учитывая равнинный рельеф поверхности месторождения и гравитационное поле напряжений, считая, что вертикальные напряжения -  $\sigma_1 = \gamma H$  и горизонтальные напряжения  $\sigma_3 = m \gamma H$  (где  $\gamma$  – удельный вес кимберлита,  $\text{МН/м}^3$ ,  $H$  – глубина разработки, м,  $m$  – коэффициент бокового распора), можно записать распределение напряжений в виде:

$$\gamma H = K_c \cdot \sigma_c^{ос} + \beta m \gamma H, \quad (2)$$

где  $K_c$  - коэффициент структурного ослабления пород.

Преобразуя (2) и допуская, что  $\eta = \frac{\sigma_c^{ос}}{\gamma H}$  - соот-

ветствует относительной прочности горных пород в зоне многолетней мерзлоты, получим формулу для определения угла внутреннего трения кимберлита в зависимости от знакопеременной температуры и напряженного состояния массива:

$$\varphi = \arcsin \left( 1 - \frac{2m}{1 - K_c \cdot \eta + m} \right). \quad (3)$$

Следует заметить, что относительная прочность горных пород в зоне многолетней мерзлоты и коэффициент структурного ослабления зависят от температуры в различные сезоны года. Первый показатель рассчитывается по формуле (1), а второй – на основе методики Павлова А.М. [2], который предложил рассчитывать коэффициент структурного ослабления на основе методики Д.Н.Кима посредством введения дифференцированной поправки, учитывающей влияние знакопеременных температур на состояние льда в трещинах пород, из выражения:

$$K_c = \frac{1}{0,53(l/l_{\sigma_l} + 1,175)} + 0,315 + \Delta, \quad (4)$$

где  $l$  – линейный размер оцениваемого на прочность участка массива, м;  $l_{\sigma_l}$  – линейный размер структурного блока, м.

Величина поправки  $\Delta$  принята на основе проведенных исследований мониторинга величин природных напряжений и фактического поведения массива дифференцированно: для мерзлых пород («постоянной» зоны) равным 0,4; «сезонной» (зима) - 0,2; «сезонно-переходной» и «природно-переходной» зоны - 0,1; «техногенной», «сезонной» (лето) - 0.

На основании полученных формул были рассчитаны углы внутреннего трения кимберлита и глинистого известняка для различных температур (табл.1) и построены графики при  $m=0,3$  и  $l=60$ м (высота эта-

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

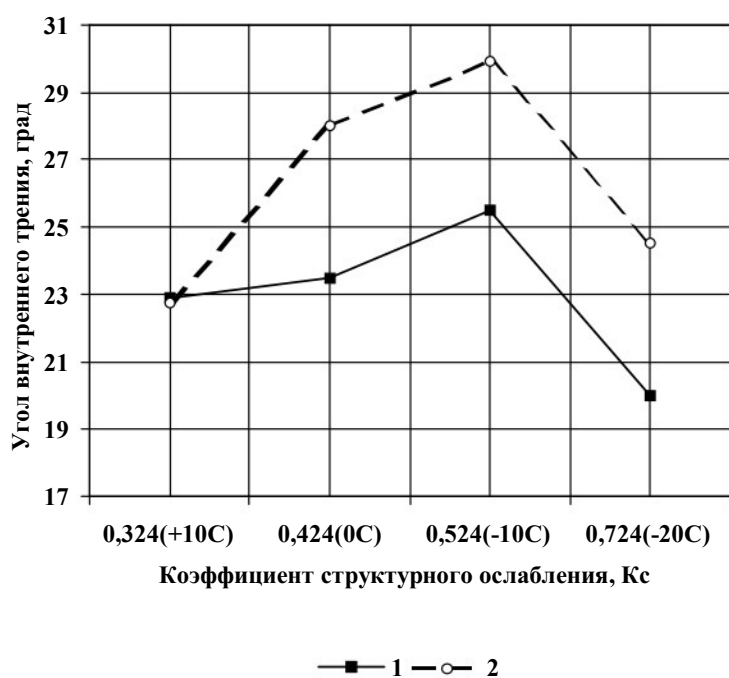
жа),  $l_{6л}=0,3$  м – кимберлит и  $l_{6л}=0,25$  м – глинистый известняк, рис.2.

Из графика видно, что угол внутреннего трения имеет максимальное значение при температуре в пределах около  $-10^{\circ}\text{C}$  как для кимберлита, так и для глинистого известняка при коэффициенте структурного ослабления, колеблющегося от 0,42 до 0,72, при-

чем его величина в экстремальном значении для глинистого известняка на 15% больше. Это объясняется тем, что заполнивший трещины и поры лед имеет достаточную прочность, но при повышении температуры он начинает таять и талая вода фильтруется в окружающий массив, тем самым ослабляя его прочностные характеристики.

Таблица 1

№№	Т, $^{\circ}\text{C}$	Кимберлит			Глинистый известняк		
		Коэф. структур. ослаб. $K_c$	Относ. прочн. г.п. в зоне мерзлоты, $\eta$	Угол внутр. трения, $\varphi$ , град.	Коэф. структур. ослаб. $K_c$	Относ. прочн. г.п. в зоне мерзлоты, $\eta$	Угол внутр. трения, $\varphi$ , град.
1	-20	0,724	0,55	20	0,721	0,38	24,5
2	-10	0,524	0,47	25,5	0,521	0,2	29,9
3	0	0,424	0,73	23,2	0,421	0,4	28
4	+10	0,324	0,98	22,9	0,321	1,0	22,8



**Рис. 2. График изменения угла внутреннего трения от коэффициента структурного ослабления кимберлита и температуры:**  
1 - кимберлит; 2 - глинистый известняк

### Выводы

1. На основании лабораторных исследований была получена зависимость относительной прочности горных пород в зоне многолетней мерзлоты ( $\eta$ ) от их температуры, изменяющейся по параболическому закону и описываемой формулой (1).

2. Разрушение пород при их подработке подземными работами с учетом гидрогеологических ус-

ловий разработки рудника «Интернациональный» будет происходить за счет главных напряжений, действующих в массиве пород, и напряжений гравитационного поля путем сдвига по поверхностям скольжения трещин, заполненных льдом, вторичным материалом и влагой, поэтому в качестве оценки характера проявления горного давления можно использовать теорию прочности Кулона-Мора.

3. На основании аналитических и лабораторных исследований было выявлено, что угол внутреннего трения имеет максимальное значение при температуре в пределах около  $-10^{\circ}\text{C}$  как для кимберлита, так и для глинистого известняка при коэффициенте структурного ослабления, колеблющегося от 0,42 до 0,72, причем его величина в экстремальном значении для глинистого известняка на 15% больше. Это объясняется тем, что заполнивший трещины и поры лед имеет достаточную прочность, но при повышении температуры он начинает таять и талая вода фильтруется в окружающий массив, ослабляя его прочностные характеристики.

### Литература

- Курилко А.С., Новопашин М.Д. Исследование влияния температуры на прочность горных пород //ФТПРПИ. – 2005. - №2. – с.32-36
- Павлов А.М. Обоснование параметров подземной геотехнологии наклонных и пологих жил золоторудных месторождений в криолитозоне с учетом выявленных свойств геологической среды //Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГТУ, 2011. -№5. – с.29-39.

Юрий Александрович Боровков, д-р техн.наук, профессор кафедры «Геотехнологические способы и физические процессы горного производства», тел.(495)433-57-55 (доб.11-31); Владимир Владимирович Ивченко, аспирант (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе, МГРИ-РГГРУ)

УДК 622.28

До Куанг Туан, С.В.Кузьмин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПОРОДНЫМ МАССИВОМ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН

Представлены результаты исследований смещений пород кровли при креплении выработок различными типами крепи. Получены коэффициенты работоспособности крепей в зависимости от напряженности породного массива.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** исследование; выработка; моделирование; породный массив; смещение пород; комбинированная крепь.

Do Kuang Tuan, S.V.Kuzmin

## RESEARCH OF CHARACTER AND REGULARITIES OF INTERACTION COMBINED FIX EXCAVATIONS WITH THE PEDIGREE MASSIF IN THE CONDITIONS OF BIG DEPTHS

Results of researches of shifts of breeds of a roof when fastening developments are presented by various types fix. Coefficients of working capacity are received fix depending on intensity of the pedigree massif

**KEY WORDS:** research; development; modeling; pedigree massif; shift of breeds; combined support.



До Куанг Туан С.В.Кузьмин

Целью экспериментов являлась оценка эффективности различных типов крепи при креплении выработок в сложных горно-геологических условиях на большой глубине.

Исследования закономерности взаимодействия комбинированной крепи горных выработок с породным массивом проводились на моделях из эквивалентных материалов [1-3].

Исследования проводились в кольцевом стенде (рис.1), при гидростатическом поле распределения напряжений при  $\lambda=1,0$ , масштаб моделирования 1:25. Величина вертикальных напряжений в массиве соответствовала моделируемой глубине работ 600 м.

Всего на кольцевом стенде было отработано 4 модели.

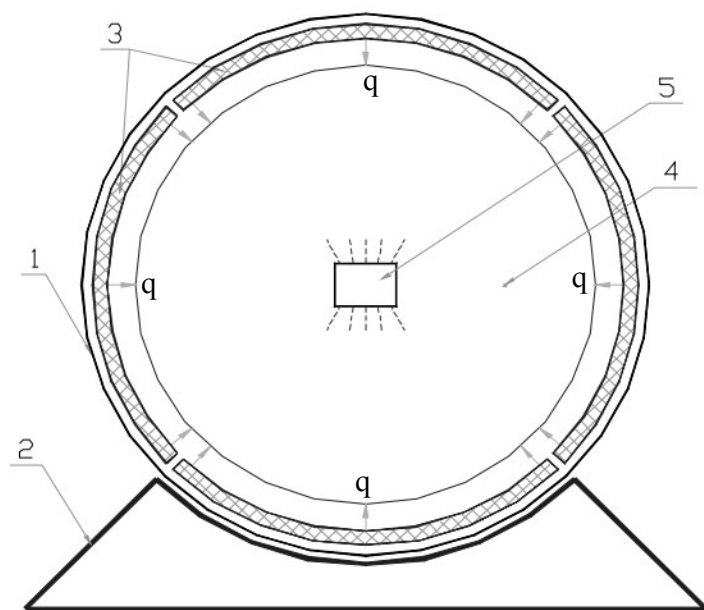


Рис.1. Схема модели в кольцевом повороте стенде

При этом в первой модели выработка проходила без крепи, а в остальных моделях применялась рамная крепь и два вида комбинированной крепи – анкерная в сочетании с рамной и анкерная с металлической сеткой, затяжкой и продольными прогонами. Все крепи имели одинаковую несущую способность и работали в податливом режиме при постоянном сопротивлении.

Комбинированная смешанная крепь состояла из рамной и анкерной податливой крепи, устанавливаемой в промежутках между рамами. Суммарное сопротивление анкерной крепи и удельное сопротивление рамной крепи соответствовало удельному сопротивлению чисто рамной крепи. Плотность установки анкеров составляла 1 анкер/м [4]. Измерение смещений пород в выработках производилось индикатором часового типа по мере нагружения модели. При этом измерялась как вертикальная, так и горизонтальная конвергенция пород.

На рис.2 приведены графики горизонтальной конвергенции пород в выработках, закрепленных комбинированными и рамными типами крепи при одинаковом их сопротивлении.

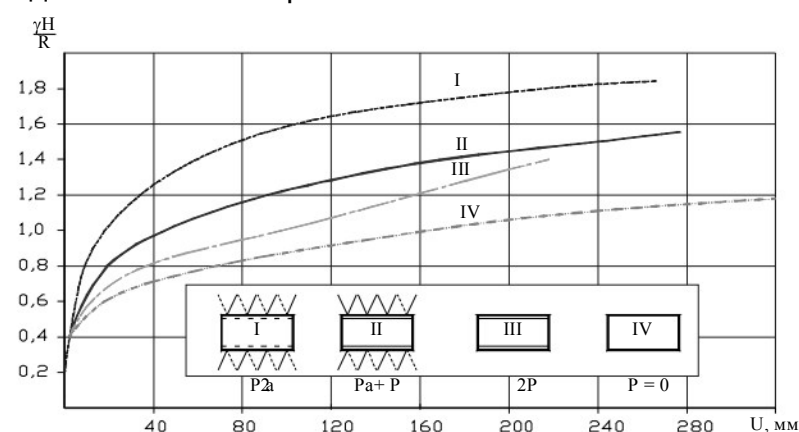


Рис.2. Графики горизонтальной конвергенция пород

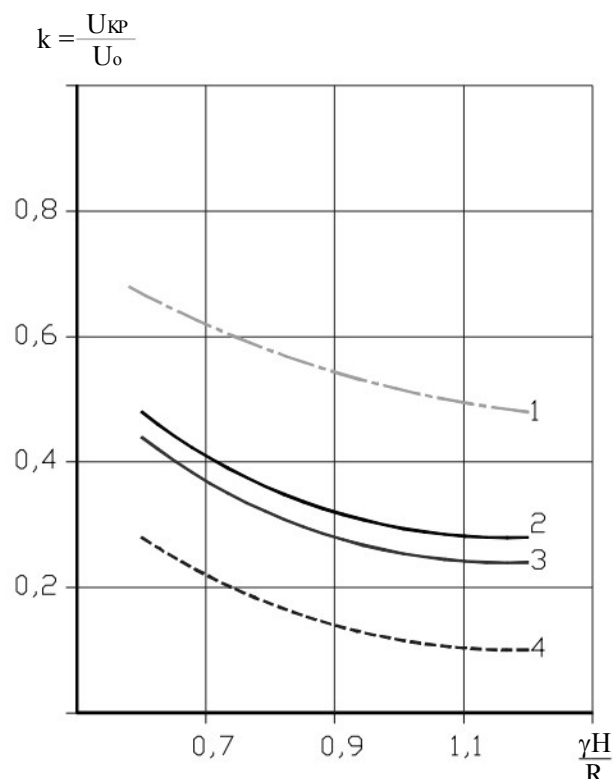
I, II – комбинированная крепь; III – рамная крепь; IV – без крепи

Как следует из приведенных данных, при одинаковом сопротивлении крепи величины смещений пород в выработках существенно отличаются. Макси-

мальные смещения пород отмечаются в выработках, закрепленных рамной крепью.

По мере перехода от рамной крепи к комбинированной смещения пород в выработках существенно уменьшаются, так как кроме сопротивления крепи начинает сказываться эффект упрочнения анкерами пород приконтурной зоны.

На рис.3 приведены коэффициенты работоспособности крепи для различных ее типов в зависимости от напряженности массива.



**Рис.3. Коэффициенты работоспособности крепи для различных типов в зависимости от напряженного массива:**

$U_{кр}$  – смещения пород кровли выработки при принятом типе крепи;  $U_0$  – смещения пород кровли в выработке без крепи. 1 – рамная крепь; 2 – анкерная крепь; 3 – комбинированная крепь; 4 – специальная комбинированная анкерная крепь

Полученные количественные величины смещений пород при разных типах крепи в сравнении с выработками без крепи позволяют разделить величины смещений пород, погашаемые крепью за счет ее сопротивления и отдельно за счет эффекта упрочнения пород.

Так, уменьшение смещений пород на 30-40% при применении рамных крепей следует отнести только за счет влияния сопротивления крепи. Если это влияние распространить на смешанную и комбинированную крепь (т.е. принять его одинаковым в обоих экспериментах), тогда разница между величинами коэффициентов у комбинированной и рамной крепи позволит количественно определить в сопоставлении со смещениями в незакрепленной выработке величину смещений пород, погашаемых за счет эффекта упрочнения их анкерной крепью.

### Выводы

При креплении выработок комбинированной (анкерно-рамной) крепью интенсивность проявления горного давления зависит как от сопротивления рамной крепи, так и от упрочнения пород приконтурной зоны анкерами.

Значение коэффициента ( $K=U_{кр}/U_0$ ) работоспособности у различных типов крепи при одинаковом сопротивлении составляет: рамная крепь 0,7-0,45, комбинированная крепь 0,45-0,3. В случае применения только анкерной крепи этот коэффициент равен 0,55-0,4.

Таким образом, лучшие результаты получены при применении комбинированной крепи.

### Литература

1. Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Филиппова А.А., Шклярский М.Ф. Изучение проявлений горного давления на моделях. Углетехиздат Москва, 1959, с. 282.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. - 432 с.
3. Глушихин Ф.П., Кузнецов Г.Н., Шклярский М.Ф. и др. Моделирование в геомеханике. М.: Недра, 1991, 240 с.
4. «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России» М., Ростехнадзор, 2013 г.

До Куанг Туан, горный инженер, аспирант лаборатории геомеханики, тел. 8-965-085-47-82,

E-mail: quangtuanmdc2000@gmail.com;

Сергей Владимирович Кузьмин, горный инженер, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории геомеханики, тел. раб.: 8-812-328-86-54, моб. 8-904-617-88-39,

E-mail: kuzmin\_sv@rambler.ru

(Научный центр геомеханики и проблем горного производства НМСУ «Горный» г.Санкт-Петербург)

УДК 622.411.33

В.С.Зыков

## К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ ЗА ВЫБРОСООПАСНОСТЬЮ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрен вопрос прогноза выбросоопасности в свете создания многофункциональной системы безопасности (МФСБ). Сформулированы требования к методам текущего прогноза в условиях интенсификации ведения горных работ на подземных угледобывающих предприятиях. Приведены результаты исследований по разработке методов прогноза, удовлетворяющих этим требованиям. Предложены параметры, характеризующие выбросоопасность массива в окрестности забоя горной выработки, которые в перспективе могут использоваться для создания автоматизированного прогноза (контроля) за выбросоопасностью.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** угольная шахта; многофункциональная система безопасности; выброс угля и газа; прогноз выбросоопасности; скорость газовой выделености; показатель активности электромагнитного излучения.

V.S.Zykov

## TO THE QUESTION OF CONTROL FOR EMISSION BY DANGER AT REALIZATION OF THE MULTIPURPOSE SECURITY SYSTEM

The question of the forecast of outburst danger in the light of creation of a multipurpose security system (MPSS) is considered. Requirements to methods of the current forecast in the conditions of an intensification of conducting mining operations at the underground coal-mining enterprises are formulated. Results of researches on development of the methods of the forecast meeting these requirements are given. The parameters characterizing outburst danger of the massif in vicinity of a face of an excavation which in the long term can be used for creation of the automated forecast (control) for outburst danger are offered.

**KEY WORDS:** coal mine; multipurpose security system; emission of coal and gas; forecast of outburst danger; gas emission speed; indicator of activity of electromagnetic radiation.



В настоящее время осуществляется реализация положения (п.22) федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» о создании многофункциональной системы безопасности угольных шахт (далее – МФСБ) [1]. В число наиболее трудных задач по выполнению этого положения входит создание системы контроля и прогноза газодинамических явлений. Самыми сложными и опасными газодинамическими явлениями по своим последствиям представляются внезапные выбросы угля и газа.

К данному моменту времени сложилась такая ситуация, что, благодаря исключению из числа работающих шахт тех из них, где возникли самые неблагоприятные условия ведения горных работ, и уменьшению глубины отработки пластов потенциальная выбросоопасность шахт России снизилась. Во-вторых, в разы увеличились темпы подвигания выработок по угольным пластам. В этих условиях определяющей в мероприятиях по предупреждению внезапных выбросов угля и газа стала роль текущего прогноза (контроля) за выбросоопасностью. Во-первых, методы текущего прогноза должны быть достаточно оперативными, чтобы не сдерживать подвигание выработок, а, во-вторых, они должны быть достоверными, чтобы можно было точно и надежно выявлять местонахождение выбросоопасных зон.

Учитывая интенсивное развитие подземных технологий ведения горных работ, желательно иметь в достаточной степени автоматизированный непрерывный метод текущего прогноза (контроля) за выбросоопасностью, позволяющий осуществлять оценку

выбросоопасности забоев с минимальным влиянием субъективного фактора на ее результаты. В этом направлении проведены многочисленные разработки и предложено несколько методов прогноза. Однако ни один из этих методов не обладает достоверностью, достаточной для его эффективного применения.

Поэтому по-прежнему согласно действующей «Инструкции по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа» [2] применяется метод текущего прогноза выбросоопасности по структуре пласта и начальной скорости газовой выделености из прогнозных скважин (шпуров), пробуренных по потенциально выбросоопасной угольной пачке, если последняя присутствует в сечении забоя.

Он позволяет надежно и своевременно устанавливать выбросоопасные зоны, прост в применении, не требует громоздкого оборудования. Прогноз выбросоопасности зоны в окрестности забоя выработки выдается сразу после выполнения цикла работ по определению прочности слагающих угольный пласт в сечении выработки пачек угля и измерения в процессе бурения прогнозных скважин поинтервальных значений начальной скорости газовой выделености из скважин.

Если в сечении забоя оперативными измерениями прочности угля, занимающими 10-15 мин, устанавливается отсутствие потенциально выбросоопасной пачки, то зона в окрестности забоя проводимой горной выработки относится к невыбросоопасным без бурения прогнозных скважин и измерений скорости газовой выделености.

Положительным моментом при применении метода является оценка выбросоопасности с опережением прогнозными скважинами забоя выработки. Известно, что выбросоопасные зоны угольных пластов

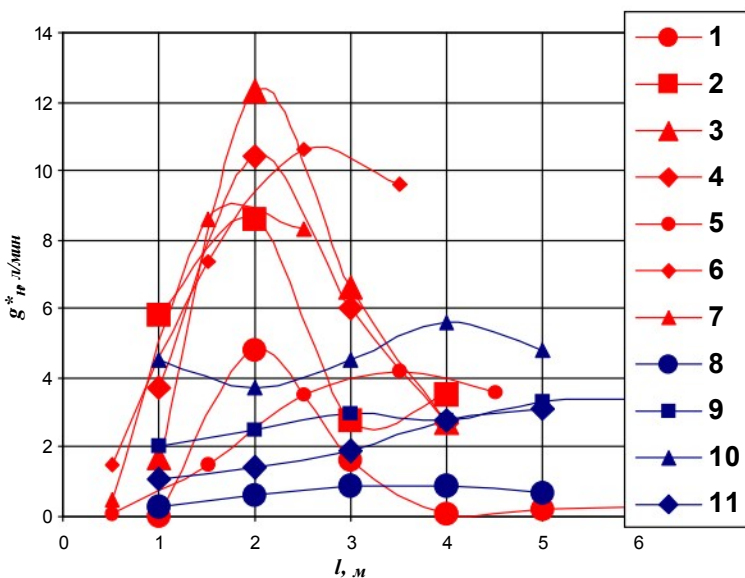


характеризуются развитием впереди забоя квазипараллельных плоскости забоя систем трещин, заполненных газом под высоким давлением [3]. Именно наличие этих трещин предопределяет возможность развязывания внезапного выброса угля и газа при подвигании забоя выработки. При бурении скважин в интервале, соответствующем максимальному развитию трещин, резко возрастает газовыделение, что регистрируется измерением сразу после окончания бурения в данном интервале значения начальной скорости газовыделения  $g_{н.х}$  [4]. Кривые изменения данного параметра в выбросоопасных зонах, полученные непосредственно перед внезапными выбросами угля и газа, характеризуются наличием ярко выраженного максимума на определенном удалении от устья скважины (рис.1). Это уже говорит о потенциальной выбросоопасности зоны.

Величина начальной скорости газовыделения из интервала шпура единичной длины может быть выражена следующей зависимостью, полученной на основе закона Дарси [5]:

$$g_{н.х} = \frac{\pi k_x (P_x^2 - P_c^2)}{P_a \mu \ln \frac{r_k}{r_c}}, \quad (1)$$

где  $g_{н.х}$  – начальная скорость газовыделения из интервала скважины единичной длины на расстоянии  $x$  от забоя;  $k_x$  – коэффициент проницаемости массива;  $P_x$  – давление газа на контуре питания скважины на расстоянии  $x$  от забоя;  $P_c$  – давление газа в скважине;  $P_a$  – атмосферное давление;  $r_k$  – радиус контура питания скважины;  $r_c$  – радиус скважины;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости газа.



**Рис. 1. Изменение начальной скорости газовыделения вглубь массива в выбросоопасных (1-7) и невыбросоопасных (8-11) зонах: 1, 2, 3, 4, 8, 9 – шахтопласты Кузбасса; 5, 10, 11 – шахтопласты Воркуты; 6, 7 – шахтопласты Донбасса**

Из зависимости (1) видно, что величина  $g_{н.х}$  зависит, в основном, от параметров  $P_x$ ,  $k_x$  и  $r_c$ .

В свою очередь активная сила внезапного вы-

броса на глубине  $x$  от забоя может быть записана в виде [3]:

$$F_a = P_x S_x \lambda_x, \quad (2)$$

где  $P_x$ ,  $S_x$  и  $\lambda_x$  – соответственно давление газа, площадь поперечного сечения потенциально выбросоопасной угольной пачки и ее просветность в угольном массиве на расстоянии  $x$  от забоя.

Мы видим, что как начальная скорость газовыделения, так и активная сила внезапного выброса угля и газа напрямую зависят от давления газа. Кроме того, величина  $g_{н.х}$  изменяется прямо пропорционально величине  $k_x$ , а  $F_a$  – прямо пропорционально величине  $\lambda_x$ . Но величины  $\lambda_x$  и  $k_x$  имеют прямую связь между собой. Таким образом, изменению активной силы внезапного выброса будет соответствовать изменение в ту же сторону начальной скорости газовыделения. А значит, по изменению при подвигании забоя начального газовыделения из прогнозных скважин можно прогнозировать выбросоопасность зоны впереди забоя выработки, что и используется в описанном выше методе прогноза.

В наибольшей степени выбросоопасность забоя определяется величиной максимальной по длине прогнозных скважин начальной скорости газовыделения  $g_{н.мах}$ , поскольку она соответствует зоне наиболее интенсивного развития квазипараллельных забоем систем трещин, определяющих возможность выброса.

В результате проведенных при разработке метода многочисленных экспериментальных исследований и их математической обработки установлено критическое значение показателя выбросоопасности  $g_{н.мах}$ , разделяющее выбросоопасные и невыбросоопасные зоны, которое составило 4 л/мин [2].

Метод прост и позволяет, как показала практика его массового применения, исключать пропуски опасных зон в процессе текущего прогноза выбросоопасности. Но при использовании метода выявлены и его недостатки.

Во-первых, используемые для оценки выбросоопасности значения начальной скорости газовыделения, измеренные в различных горно-геологических условиях, не могут быть сопоставимы. Величина зоны разгрузки в окрестности шпура, из которой газ поступает при бурении, может для различных условий очень сильно различаться. Это очень наглядно видно по результатам измерений выхода бурового штыба при бурении прогнозных скважин инструментом с диаметром бурового резца 43 мм, значения которого для интервала скважины длиной 1 м могут составлять от 2 л до 100 л и более. И если первая величина соответствует диаметру скважины 43 мм, то вторая величина – диаметру 300 мм и более. Во-втором случае поверхность газовыделения из интервала скважины получается во много раз больше. Поэтому показатель выбросоопасности  $g_{н.мах}$  не говорит о степени выбросоопасности. Он позволяет только по его критическому значению разделять зоны, где внезапный выброс возможен ( $g_{н.мах} \geq 4$  л/мин), и зоны, где выброс невозможен ( $g_{н.мах} \leq 4$  л/мин).

Во-вторых, выбросоопасность определяется по

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

показателю, отражающему только активную силу внезапного выброса. Но этой силе всегда противодействует пассивная сила. В определенной степени она учитывается тем, что зона относится к опасным только при наличии тектонически нарушенной структуры угля. Но этого недостаточно, так как угли нарушенной структуры могут существенно отличаться по прочности и, следовательно, по величине пассивной силы, препятствующей развитию внезапного выброса.

С учетом указанных выше недостатков были выполнены научно-исследовательские работы по совершенствованию метода прогноза. Из геометрических соображений была сформулирована зависимость для приведения измеренной скорости газовыделения из интервала скважины к проектному диаметру скважины (проектному диаметру бурового резца):

$$g_{n,i}^* = g_{n,i} \sqrt{\frac{S_{np}}{S_i}}, \quad (3)$$

где  $g_{n,i}$  и  $g_{n,i}^*$  – соответственно измеренное и приведенное значения начальной скорости газовыделения из шпуров в  $i$ -том интервале;  $S_i$  и  $S_{np}$  – соответственно измеренное и проектное значения выхода бурового штыба в том же интервале.

Разработан показатель выбросоопасности, отражающий как активную силу внезапного выброса угля и газа, так и пассивную силу. Кроме того, в показателе вместо максимальной начальной скорости газовыделения учитывается градиент приведенной начальной скорости газовыделения по длине скважины  $\frac{(g_{n,max}^* - g_{n,z}^*)}{l_{g^*}}$ , в большей степени отражающий

активную силу внезапного выброса. Показатель имеет вид:

$$B = \frac{cm_e(g_{n,max}^* - g_{n,z}^*)}{f_e l_{g^*}}, \quad (4)$$

где  $c$  – постоянный коэффициент, мин/л;  $m_e$  – мощность потенциально выбросоопасной пачки (совокупности смежных пачек) в точках бурения скважин, м;  $f_e$  – коэффициент крепости по М.М.Протождяконову данной пачки (совокупности пачек) в этих же точках;  $l_{g^*}$  – расстояние до середины интервала скважины, в котором получено  $g_{n,max}$ , м.

Данными проведенной практической проверки установлено, что при использовании показателя выбросоопасности  $B$  достоверность прогноза (контроля) выбросоопасности повышается в 2-3 раза по сравнению с действующим методом и становится приемлемой для выполнения оценки выбросоопасности забоев горных выработок. Согласно Инструкции [2], показатель  $B$  может применяться по согласованию с организацией-разработчиком метода прогноза для уточнения выбросоопасности.

Но, учитывая стремление применять в МФСБ автоматизированные методы контроля за состоянием

горного массива, следует констатировать, что методы прогноза выбросоопасности, основанные на определении прочности угольных пачек и параметров газодинамической реакции массива на бурение скважин, практически не поддаются автоматизации, поскольку измерения этих параметров выполняются приборами, не приспособленными для автоматизированной передачи сигналов на сервер.

Решение этой проблемы возможно при использовании для оценки выбросоопасности признаков, непрерывно и автоматически регистрируемых при продвижении забоев выработок. Попытки разработки такого метода прогноза неоднократно делались [6-8 и др.]. При этом использовались АГК и аппаратура для регистрации акустической активности призабойной части массива. Однако имеющиеся разработки не обладают точностью и надежностью, позволяющей применять их в качестве самостоятельных методов непрерывного прогноза (контроля) за выбросоопасностью забоев выработок. Следует продолжать работу над усовершенствованием этих методов.

В качестве отправного пункта можно использовать уточненные представления о предвыбросном состоянии призабойной части угольного массива [4]. В соответствии с этими представлениями перед внезапным выбросом потенциально выбросоопасная пачка угля находится в динамичном состоянии, кинетическая энергия смещений массива и энергия сорбции метана переходят в потенциальную энергию, идет энергонасыщение массива. И здесь возникает идея при проведении горных выработок с помощью определенной геофизической аппаратуры улавливать признаки высокой энергонасыщенности массива, свидетельствующей о высокой газодинамической опасности зоны.

Сделаны определенные шаги в данном направлении. Экспериментальными исследованиями на шахтах «Чертинская» и «Новая» установлено, что по среднему показателю активности электромагнитного излучения из призабойной части горного массива  $A_{cp}$  приближение к выбросоопасной зоне выявляется раньше, чем по другим показателям: максимальной начальной скорости газовыделения из контрольных скважин  $g_{n,max}$  и увеличению концентрации метана при отбойке угля в забое  $c$  (рис.2).

Показатель  $A_{cp}$  рассчитывается в зависимости от среднего количества импульсов за время регистрации  $N_{cp}$  и коэффициента  $B$ , отражающего соотношение сильных и слабых импульсов в потоке электромагнитного излучения.

Согласно нормативным положениям, зона считается выбросоопасной, если  $g_{n,max} \geq 4$  л/мин. Из рисунка видно, что параметр  $A_{cp}$  реагирует на приближение к выбросоопасной зоне раньше, чем другие рассматриваемые параметры. Об этом говорит то, что максимальное значение параметра  $A_{cp}$  получено на один цикл измерений раньше, чем максимумы двух других параметров.

Это означает, что бесконтактные способы, позволяющие осуществлять непрерывный, оператив-

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

ный и технологичный контроль за состоянием массива, к тому же могут быть более чувствительными к его изменению, чем даже способы, основанные на параметрах, измеренных с опережением из пробуренных вперед скважин. Они подтверждают гипотезу об энергетической насыщенности угольного массива перед внезапным выбросом. Исследования в данном направлении представляют большую перспективу, и для них нужны современные адаптированные к условиям шахт приборы.

Получение положительных результатов в данном направлении может быть положено в основу непрерывного контроля за выбросоопасностью забоя, который не будет ограничивать скорость продвижения забоя.

Выбросоопасная ситуация в призабойной зоне подготовительной выработки складывается при наличии больших градиентов газового давления, изменения механических свойств угля в сторону уменьшения прочности и образования систем связанных, но гидравлически замкнутых трещин. Подвигание забоя в такой зоне, как правило, сопровождается уменьшением энергоемкости отбойки угля, увеличением газовыделения в забое и неравномерностью газовыделения (всплесками). Это можно видеть из графиков изменения концентрации метана в выработках перед и в процессе внезапных выбросов, полученных с помощью АГК (рис.3). Уже одни эти всплески позволяют прогнозировать возможность внезапного выброса угля и газа.

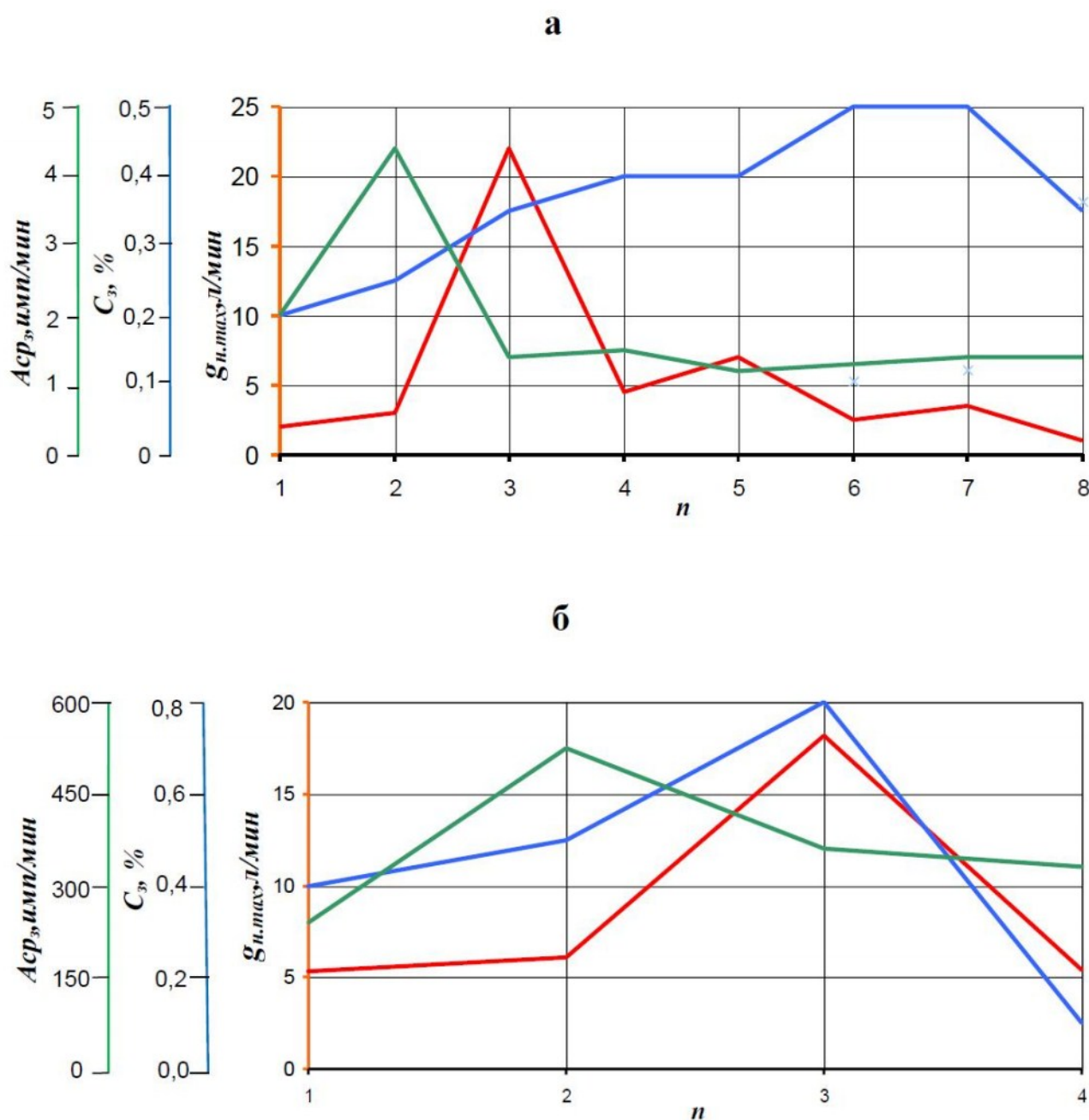
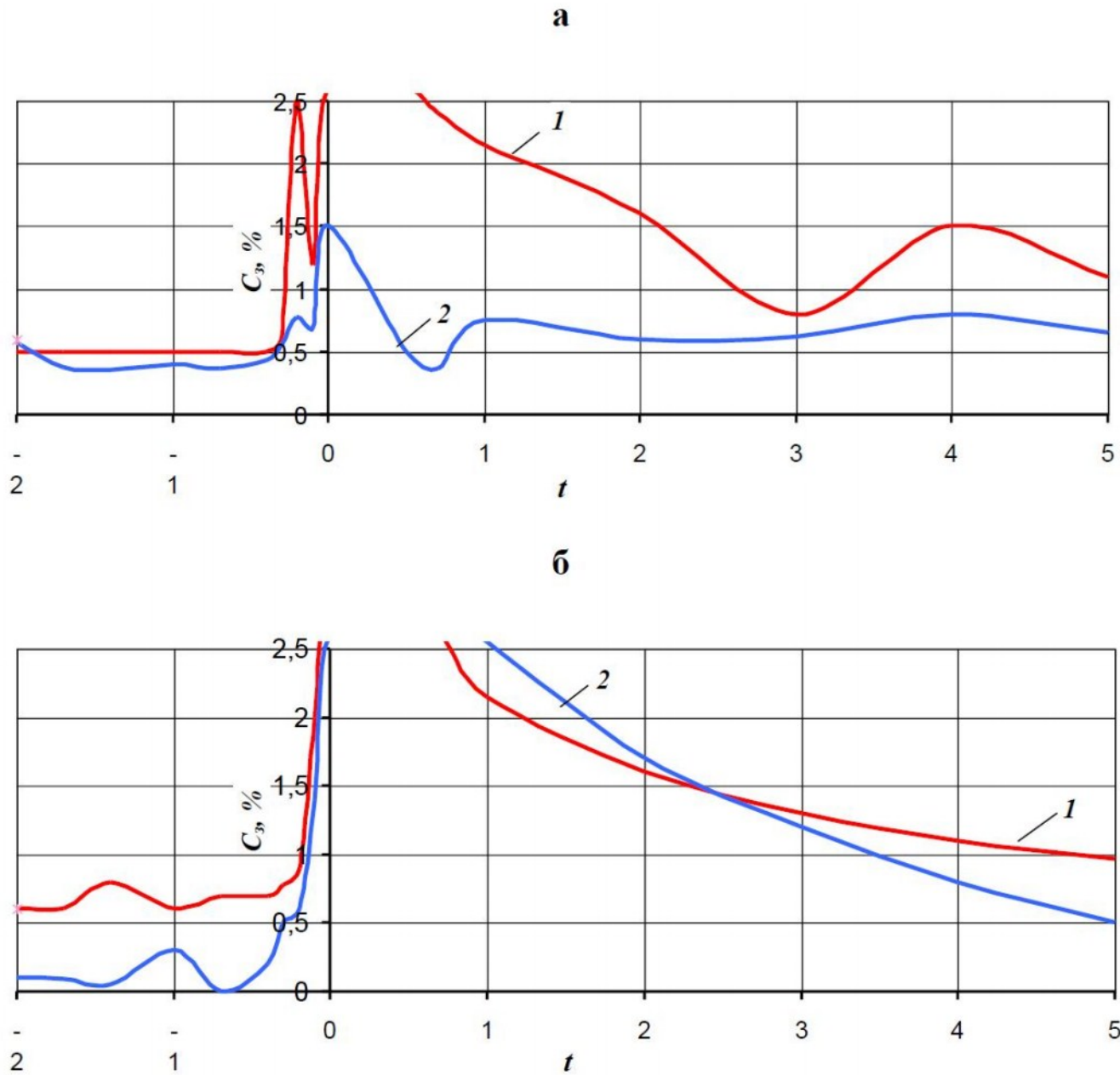


Рис.2. Сопоставительные графики изменения характеристик выбросоопасности последовательно в циклах измерений с номером  $n$  при приближении к выбросоопасной зоне в вентиляционном уклоне №2 шахты «Чертинская» (а) и конвейерном штреке 416 шахты «Новая» (б) по пласту 4 (Кузбасс)

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ



**Рис.3. Диаграммы автоматической записи концентрации метана  $C$  во времени  $t$  до и в процессе внезапного выброса угля и газа (а) на шахте «Бирюлинская» в вентиляционном уклоне 211 по пласту XXI (11.06.1989) и внезапного выдавливания угля с повышенным газовыделением на шахте «Березовская» в дренажном штреке №5-15 по пласту XXI (24.12.1990) в Кузбассе: 1 – диаграммы изменения  $C$  в забое выработки; 2 – диаграммы изменения  $C$  на исходящей**

При дальнейшей отбойке угля через некоторое время газовыделение в выработку начинает сильно возрастать, а затем кривая концентрации метана идет почти вертикально вверх, что свидетельствует о начале внезапного выброса угля и газа. Моменты начала газодинамических явлений соответствуют значению  $t=0$ . Отрицательные значения  $t$  – это время до начала явления, а положительные – время от начала явления.

Вышеизложенное послужило основанием для разработки критерия выбросоопасности, основанного на показаниях АКМ.

В качестве критерия была выбрана величина эффективной газоносности  $X_{эф}$ , представляющая собой разность между природной газоносностью и остаточной. Проведёнными ранее исследованиями установлено, что эффективная газоносность угля выбросоопасных зон угольных пластов составляет не менее  $4 \text{ м}^3/\text{т}$ . Таким образом, пользуясь данным критерием, зону следует относить к выбросоопасным при значениях  $X_{эф} \geq 4 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Используя показания аппаратуры контроля метана, эффективную газоносность в призабойной зоне пласта можно определить по формуле:

$$x_{эф} = 0,25 \left[ \frac{(C_{\phi} + C_1)(Q_0 + Q_1) + (C_1 + C_2)(Q_1 + Q_2) + \dots + (C_{n-1} + C_n)}{(Q_{n-1} + Q_n) - 4C_{\phi}(0,5Q_{\phi} + Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{n-1} + Q_n + 0,5Q_N)} \right] \frac{0,01t_p}{nS_{np}l_n\gamma_y}, \quad (5)$$

где  $t_p$  – продолжительность значимой газодинамической реакции на выемку угольного пласта;  $n$  – число зафиксированных значений концентрации метана и расхода воздуха через промежутки времени  $\Delta t = t_p/n$ ;  $C_\phi$  – значение фоновой концентрации метана, %;  $C_1, C_2, \dots, C_{n-1}, C_n$  – фиксируемые концентрации метана на момент окончания каждого из  $n$  временных интервалов, %;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_{n-1}, Q_n$  – соответствующие значения расхода воздуха (по показаниям датчика ИСВ-1);  $S_{np}$  – сечение выработки по углю в проходке;  $l_n$  – подвигание забоя за один цикл;  $\gamma_y$  – удельный вес (плотность) угля.

Параметр перспективен для применения при мониторинге опасности забоя выработки по внезапным выбросам в процессе реализации многофункциональной системы безопасности, поскольку контроль за ним может быть автоматизирован и осуществляться непрерывно, что удовлетворяет условиям МФСБ.

Таким образом, параметр  $A_{cp}$  при непрерывной его регистрации позволяет своевременно установить энергонасыщенность массива в окрестности забоя горной выработки, достаточную для развязывания внезапного выброса угля и газа, а параметр  $X_{эф}$  – достаточность газового потенциала массива для развития явления. Осуществление непрерывного контроля за параметром  $X_{эф}$  принципиальной сложности не представляет, т.к. необходимые для его определения переменные параметры  $C$  и  $Q$  постоянно регистрируются с помощью автоматизированной аппаратуры. Для измерения параметра  $A_{cp}$  существуют переносные приборы «Волна», серийно выпускавшиеся ОАО «ВНИМИ». На их основе может быть разработана аппаратура для непрерывного контроля данного параметра.

Объединение результатов измерений с помощью АГК и аппаратуры измерения активности электромагнитного излучения на одном сервере, выполняющем по специальной программе расчет по оценке выбросоопасности забоя горной выработки, позволит осуществлять контроль за его выбросоопасностью.

Следует отметить, что, как показала практика ведения горных работ на выбросоопасных пластах, внезапный выброс происходит только при наличии в пласте потенциально выбросоопасной пачки (пачек) угля (пачки или совокупности смежных пачек тектонически нарушенного угля мощностью не менее 0,2 м, для Воркутинского месторождения – 0,1 м). Наличие такой пачки (пачек) угля выявляется в настоящее

время с помощью прочностномера П1 с периодичностью измерений 4 м. Эти измерения сложности не представляют и выполняются оперативно. Они могут произведены в то время, когда в забое не ведется выемка угля, т.е. без специальной остановки забоя.

Следует, однако, заметить, что при разработке метода прогноза выбросоопасности на первых порах для установления критических значений  $A_{cp}$  и  $X_{эф}$  потребуется параллельное определение показателя выбросоопасности  $g_{н.мах}$ , а также определение этого показателя и в дальнейшем в особо сложных условиях ведения горных работ. Но в целом разработка нового метода с использованием данных параметров позволит получить эффективный и надежный метод текущего прогноза выбросоопасности.

### Литература

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» // Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности. Серия 05. Выпуск 40. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2014. – 196 с.
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа // Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов. Серия 05. Нормативные документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в угольной промышленности. 2-е изд., испр.– Выпуск 2 / НТЦ «Промышленная безопасность». – М.: ГП НТЦ БП, 2001. – С. 120–303.
3. Мурашев В. И. Механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в горных выработках // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа: Сб. науч. тр. – М.: Недра, 1978. – С. 141–162.
4. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. – Кемерово: ООО «Фирма ПОЛИГРАФ», 2010. – 334 с.
5. Ромм Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1966. – 284 с.
6. А.С. №1670154. Способ оценки выбросоопасности призабойной части массива при механизированной выемке угля/ А.В.Антонов, А.Г.Хейфец, В.С.Зыков и др. // Изобретения. – 1995. – №2. – С. 174.
7. Полевщиков Г.Я., Золотых С.С. Автоматизация методов контроля и прогноза газодинамической обстановки в выработках метанообильных шахт // Уголь. – 1993. – № 9. – С. 33-35.
8. Мирер С.В., Хмара О.И., Масленников Е.В. О контроле выбросоопасности забоев по спектральным характеристикам акустических сигналов // Вопросы предотвращения внезапных выбросов: Науч. сообщ. / ИГД им. А.А.Скочинского. – М., 1987. – С. 52-61.

Виктор Семенович Зыков, глав.научн. сотр., д-р техн. наук, профессор, Кемеровский филиал АО «ВНИМИ», тел.раб.(3842) 58-00-40, сот. 8-903-067-63-08, E-mail: zykovvs@icc.kemsc.ru

# ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 614.8

*В.К.Мусаев, И.И.Колтунов, Ю.Н.Захаров, А.В.Логунов, Д.А.Баранов*

## О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрены некоторые проблемы комплексной безопасности. Сообщается, что культурой безопасности является способ разумной жизнедеятельности человека в области обеспечения безопасности, результаты этой жизнедеятельности и степень развитости личности и общества в этой области. Результаты жизнедеятельности привели человечество к глобальному кризису. Для благополучного выхода из кризиса в устойчивое развитие необходимо изменить степень развитости личности и общества в области обеспечения безопасности. Миропонимание должно изменить систему ценностей и целей жизнедеятельности людей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проблема; комплексная безопасность; культура безопасности; жизнедеятельность человека; личность; общество; глобальный кризис; устойчивое развитие; миропонимание; система ценностей.

*V.K.Musayev, I.I.Koltunov, Y.N.Zakharov, A.V.Logunov, D.A.Baranov*

## SOME PROBLEMS OF INTEGRATED SECURITY

Some problems are considered complex security. It is reported that a safety culture is the way a reasonable human activity in the area of security, the results of this activity and the degree of development of the individual and society in this area. The results of life has led humanity to a global crisis. For a successful exit from the crisis in sustainable development it is necessary to change the degree of development of the individual and society in the field of security. Outlook should change the values and purposes of human activity.

**KEY WORDS:** problem; comprehensive security; security culture; a person's life; personality; society; global crisis; sustainable development; worldview; system of values.

Изучение сложных и жизненно важных проблем безопасности в новой эпохе должно основываться на качественном анализе. Для этого используем широко практикуемый в науке системный подход. При системном подходе рассматриваемые явления представляются как процессы, протекающие в определенных системах, состоящих из компонентов.

Каждая система является в свою очередь компонентом системы более высокого уровня. Изучение процессов и их закономерностей в соответствующей системе с учетом взаимосвязей и взаимозависимости основных, определяющих компонентов позволяет провести удовлетворительное обследование рассматриваемой проблемы. Также объективно оценить ее основные особенности и найти оптимальное решение. Правильно выбранный для анализа уровень системы позволяет исключить из рассмотрения все сложности систем более высоких уровней. Это становится возможным тогда, когда динамическое поведение выбранной системы, процессы, в ней протекающие, не влияют на состояние и процессы в системах более высокого уровня. Наличие систем более высокого уровня учитывается не изменяющими своего характера во времени различными реакциями на изучаемые процессы в выбранной системе.

Некоторые исследования в области комплексной безопасности рассмотрены в работах [4, 6].

При решении задач безопасности компонент системы, защищенность которого рассматривается в анализе, называется объектом безопасности. Активный компонент, обеспечивающий с помощью действий безопасность объекта, называют субъектом безопасности.

Моделью системы называется схематичное отображение выбранной области действительности для анализа, сохраняющее ее основные особенности и отбрасывающее те, которые для решения пробле-

мы несущественны.

Упрощенная модель используется для изучения основных закономерностей процессов в системе. Известны модели двух типов: физические; идеальные. Наибольшее применение имеют сегодня модели идеальные. К ним относятся словесные, графические и математические модели.

Определяющее значение имеют допущения, используемые при составлении модели. Допущения позволяют предварительное разделение особенностей системы на важные и несущественные. Разработка допущений и составление модели основывается на имеющемся опыте, а также на интуиции исследователя. Перед использованием результатов моделирования на практике соответствие допущений поставленным задачам проверяется экспериментом.

Для анализа безопасности системы «человек-общество» используются различные системы. Объекты безопасности, соответствуют следующим уровням систем: индивидуальному; профессиональному; национальному; глобальному.

Системы высшего уровня, большие масштабами, чем биосфера, серьезно рассматривать мы не можем. Это связано с недостаточностью наших знаний и тем, что влияние человечества на состояние систем космических масштабов пока практически отсутствует. Воздействие Космоса на системы с объектами безопасности может учитываться как реакция окружающей среды.

До настоящего времени проблемы безопасности рассматривались в рамках социальных и техногенных вопросов. Вся природа считалась окружающей средой. Сегодня - та часть природы, которая изменяется процессом жизнедеятельности сообществ и определяет условия жизни.

Во многих задачах безопасность не может считаться независимой от окружающей среды. Она

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

должна быть включена в анализируемую систему как компонент. Это не означает, что при решении любых задач в области безопасности нужно учитывать природные компоненты. Например, решая задачи обеспечения безопасности фирмы от конкурентов и преступников, можно о взаимодействии с окружающей природной средой не беспокоиться. Однако нужно учитывать, скажем, появление зимой снежных валов вблизи защитной ограды фирмы. В то же время, решая задачи производства, нельзя не учитывать вопросы экологии – вроде сбросов вредных отходов в соседнюю речку.

При разработке модели анализируемой системы безопасности необходимо учитывать все компоненты, которые изменяются в исследуемом процессе. Для анализа безопасности объектов разного уровня целесообразно использовать разные системы. Однако в условиях новой эпохи проблемы безопасности всех уровней неразрывно взаимосвязаны.

В работах [1–3, 5, 7–11] приведена информация о безопасности природного, техногенного и экологического характера.

Выбор уровней структуры и связей его с другими уровнями зависит от решаемой задачи. Выбранная система приводит к решению поставленной задачи.

Примечательно, что если анализ проблем верхних уровней структуры может проводиться без учета процессов в нижних уровнях, то обратная картина сегодня недопустима. Система, выбранная для анализа, должна в той или иной мере включать в себя взаимосвязи с верхними уровнями общей структуры.

Задачи безопасности встают ежедневно перед каждым человеком. Вступая в процесс жизнедеятельности, надо научиться рассматривать себя как субъект безопасности. Знания каждого человека, необходимые для обеспечения безопасности, должны базироваться на четких представлениях о процессах, протекающих в сложных системах, включающих большое число природных, социальных и техногенных компонентов.

Разные модели первой системы объектов безопасности в неявном виде присутствуют при изучении безопасности поведения личности и группы в разделах общеобразовательного школьного курса «Основы безопасности жизнедеятельности».

Модели систем с центральным объектом безопасности используются при решении задач безопасности профессиональной деятельности. Они изучаются в профессиональных учебных заведениях в разделах дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Проблемы безопасности объектов следующих уровней отдельными людьми и коллективами непосредственно не решаются, однако, при решении всех задач низших уровней их необходимо знать и руководствоваться в своей повседневной жизнедеятельности выработанными обществом мерами безопасности. Важно, чтобы знанием проблем и необходимых мер безопасности общества в новой эпохе руко-

дствовался каждый гражданин в его общественной жизни.

Модели систем с объектом безопасности государства в окружающей природной, социальной и техногенной среде явно или неявно используются государственными ведомствами и общественными организациями при решении проблем национальной безопасности. Наряду с государством в таких моделях в настоящее время не могут не присутствовать в качестве объектов безопасности личность и общество.

Модели систем с объектами безопасности человечество и биосфера разрабатываются и применяются учеными и международными организациями при анализе глобальных проблем и выработке международных мер безопасности. Такая система используется при анализе мировой динамики. В данном случае необходимо отметить важность выбора оптимальной модели системы для анализа, а также минимум сложности при максимуме эффективности.

Намного сложнее была рассмотрена модель системы биосферы. С помощью этой модели изучаются не только антропогенные процессы внутри системы, но и поведение всей системы в целом под естественным внешним воздействием окружающей ее среды. В состав этой системы входят все компоненты поверхности нашей планеты: атмосфера; гидросфера; литосфера; биота. Анализ функционирования и устойчивости этой системы позволил научно обосновать большой комплекс экологических проблем, входящих определяющим звеном в характеристику сущности новой эпохи развития человечества.

Проблемы безопасности характерны тем, что и объектом и субъектом безопасности является человек. Решение задач безопасности низших уровней носит характер конкретных действий, вызванных необходимостью защиты в сложившейся опасной ситуации.

Решение проблем национального и глобального уровней включает в себя организационные и защитные мероприятия в масштабах данного сообщества и меры предотвращения опасных и чрезвычайных ситуаций. Предотвращение осуществляется с помощью преобразования окружающей среды и управления жизнедеятельностью общества. Большого внимания в новой эпохе требует преобразование сознания личности и общества в области обеспечения своей безопасности.

Способы обеспечения безопасности – защита и предотвращение – распределяются по субъектам и уровням безопасности.

Судьба и будущее общества зависит: от организованных мер по обеспечению безопасности; от сознания людей; от мировоззрений индивидов. Мировоззрения у всех разные. Для выживания общества мировоззрения разных людей должны содержать общую составляющую. Поэтому миропониманием осуществляется гармоничное сочетание знаний и веры.

Отражение в сознании индивида познанной им и обществом части окружающей среды можно назвать

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

знанием. Основа представлений индивида о непознанной и безграничной окружающей среде и характер его идеалов можно назвать верой. В течение большого промежутка времени в обществе существовало противопоставление знаний и веры. Современные взгляды общества признают диалектическое единство знаний и веры. Механизм формирования мировоззрения таинственен, поскольку содержит непостижимый элемент веры. Очевидно, в этом механизме участвуют образование и воспитание.

Образование и воспитание людей строится на началах культуры безопасности.

Воспитание в области безопасности осуществлялось всегда - от момента рождения человека до конца его жизни - родителями и близкими, обществом и государством. Но происходило это разрозненно и стихийно. Новая эпоха требует формирования культуры безопасности на основе применения научных подходов и системного включения вопросов безопасности в постоянную потребность образования.

Говоря о культуре безопасности, целесообразно исходить из общего понимания культуры. Она является особой областью, которая противопоставляется природе, передается по традиции средствами языка и символов, практического изучения и прямого подражательства, а не биологического наследования. Культура представляется в единстве трех ее неразрывно связанных аспектов: способов разумной деятельности человека; результатов этой деятельности; степени развитости личности и общества. Культура человека является сложной структурой. Она состоит из многих элементов, каждый из которых относится к определенной сфере деятельности. Понятие безопасность относится ко всем сферам деятельности. Ее обеспечение составляет область жизнедеятельности человека в целом.

Культурой безопасности является способ разумной жизнедеятельности человека в области обеспечения безопасности, результаты этой жизнедеятельности и степень развитости личности и общества в этой области.

Результаты жизнедеятельности привели человечество к глобальному кризису. Для благополучного выхода из кризиса в устойчивое развитие необходимо изменить степень развитости личности и общества в области обеспечения безопасности. Для этого нужно дополнить используемые до настоящего времени способы жизнедеятельности в этой области преобразованием собственного сознания. Миропонимание должно изменить систему ценностей и целей жизнедеятельности людей. Переключить их с максимально-го удовлетворения постоянно и неограниченно растущих материальных потребностей на духовное развитие и на информационную сферу жизнедеятельности.

Становление новой культуры безопасности возможно в результате преобразования сознания всех слоев общества. Образование при этом должно носить опережающий характер, позволяющий обществу перейти от приоритета защиты в сложившихся ситуациях к приоритету предотвращения этих ситуаций, к устранению причин угроз, к обеспечению безопасно-

сти своей жизнедеятельности.

Важнейшим компонентом образования должны стать общеобразовательная область «Основы безопасности жизнедеятельности» - в школе, дисциплина «Безопасность жизнедеятельности» - в учреждениях профессионального образования.

Они в целом составляют комплексную образовательную область «Безопасность жизнедеятельности». Все разделы области тесно связаны не только друг с другом, но и с другими образовательными компонентами межпредметными связями для подготовки молодежи к жизни в новой эпохе.

При изучении проблем безопасности нельзя обойти вопрос конфликтов между интересами личности, общества, государства, человечества в целом. Каждый из этих субъектов имеет свою ярко выраженную цель. Степень достижения цели, зависит не только от собственных действий субъекта, но и от действий других субъектов. Стремясь достичь своих целей, субъект должен согласовать свои действия с другими, чтобы действия этих других не оказались направленными против его действий. Компромисс состоит в согласовании своих действий с другими.

В общем случае конфликта решения быть не может. Не существует стандартного способа согласования несовпадающих интересов различных субъектов. Однако существует класс систем, в которых отыскание компромисса принципиально возможно. Положение, когда есть общая цель, Н.Н. Моисеев назвал ситуацией «путешественников в одной лодке». Лодка одна, поэтому успех этого общего дела зависит от общих усилий. Значит, имеются предпосылки для компромисса. Надо еще определить необходимые, устраивающие всех условия, но это вопрос согласования, а не принципиальный.

Компромисс между интересами личности и общества в рамках нации выработан веками и заключается в нормах национальной морали и нравственности, которые можно назвать основой существования сообщества. Признание всеми членами сообщества общих норм жизнедеятельности, следование этим нормам, предписывающим в определенных ситуациях предпочитать общественные интересы личным, является главным условием жизнеспособности сообщества. В государстве компромисс интересов оформляется в виде законов государства, которые обязан выполнять и соблюдать каждый гражданин этого государства.

В настоящее время на планете очень важно нахождение компромисса между интересами стран, государств и человечества в целом, так как многие страны сегодня не выполняют научно обоснованных рекомендаций Организации объединенных наций (ООН) по переходу на устойчивое развитие. Причины разные.

Отсталые страны считают несправедливым ограничение их развития по пути, уже пройденному странами развитыми. Речь идет о пути, который обеспечивает современный комфорт населению и современные гарантии национальной безопасности. Например, ядерные силы сдерживания.



## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Развитые страны, финансирующие деятельность ООН, желают формировать ее рекомендации согласно вложенным средствам. Отсюда появляется понятие «двойного стандарта». То, что можно развитым странам, нельзя развивающимся.

Для перехода к обязательности исполнения принимаемых ООН рекомендаций по проблемам глобальной безопасности должно пройти какое-то время. Должны произойти настораживающие события, которые изменят общее отношение к этому вопросу. Обязательность, подкрепленная единством понимания всеми жителями планеты судьбоносности выполнения принимаемых ООН рекомендаций, может в какой-то степени гарантировать дальнейшее устойчивое развитие цивилизации. В случае компромиссов между личностью и сообществом на этническом уровне, в основе компромиссов между государствами недостаточно иметь формальные международные соглашения.

Необходимость компромисса между интересами личности, общества, государства и мирового сообщества требует, чтобы все население планеты выработало, признало и руководствовалось в своей жизнедеятельности единой духовной основой в виде приоритета общечеловеческих ценностей. В настоящее время имеется острая необходимость в создании взаимосвязи планетарного, континентального и государственного законодательства, как единого целого. Строгое соблюдение действующего законодательства и контроль гражданского общества в роли независимой экспертизы судебных постановлений с широкой гласностью может разрешить многие проблемные вопросы глобализации на современном уровне.

### Литература

1. Филиппов В.М., Мусаев В.К., Земцов С.П., Стрелко С.В., Щесняк Е.Л. Анализ и управление риска в задачах безопасности // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы IX Международной конференции. – М.: РГГУ, 2001. – С. 78–82.
2. Мусаев В.К. Анализ риска в задачах безопасности

населения и территорий. – М.: РУДН, 2005. – 21 с.

3. Мусаев В.К. Методы управления риском в политике смягчения последствий чрезвычайных ситуаций. – М.: РУДН, 2005. – 24 с.

4. Мусаев В.К., Суцев С.П., Попов А.А., Федоров А.Л., Соловьев А.А., Кривошапко С.Н. Экологическая безопасность как инструмент глобальной политики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – №1. – С. 54–61.

5. Мусаев В.К., Суцев С.П., Шиянов М.И., Куранцов В.А. Анализ риска в задачах моделирования опасностей // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XV Международной конференции. – М.: РГГУ, 2007. – С. 111–134.

6. Мусаев В.К., Суцев С.П., Шиянов М.И., Попов А.А. Системный анализ фундаментальных проблем природной, техногенной и экологической безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – №1. – С. 20–26.

7. Мусаев В.К., Суцев С.П., Федоров А.Л., Куранцов В.А. Анализ риска в задаче безопасности системы человек и среда обитания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 3. – С. 19–25.

8. Мусаев В.К. О концепции системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций объектов экономики // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 3. – С. 121–131.

9. Мусаев В.К. Некоторые экологические приоритеты экономики // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 4. – С. 138–142.

10. Мусаев В.К., Шиянов М.И., Дзыбов М.М., Клиновицкий С.А. О системном анализе безопасности человека, общества и окружающей среды // Двойные технологии. – 2013. – № 2. – С. 23–25.

11. Мусаев В.К., Спиридонов В.П., Деревяшкин И.В., Дикова Е.В., Стародубцев В.В. О комплексном и системном подходе в мониторинге безопасности объектов производственной и социальной сферы при чрезвычайных ситуациях // Маркшейдерский вестник. – 2015. – №5. – С. 59–62.

Вячеслав Кадыр оглы Мусаев, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное дело», тел. 89265670558, E-mail: musayev-vk@yandex.ru;

Игорь Ильич Колтунов, д-р техн. наук, профессор, зав.кафедрой «Информационные системы и дистанционные технологии»;

Юрий Никитович Захаров, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное и нефтегазовое оборудование»;

Александр Вячеславович Логунов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное и нефтегазовое оборудование»;

Дмитрий Анатольевич Баранов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Техника и технология переработки отходов»

(Московский государственный машиностроительный университет)

# ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 614.8

*В.К.Мусаев, А.М.Гонопольский, Ю.Н.Захаров, А.В.Логунов, Д.А.Баранов*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА РИСКА

Приводится информация о моделировании опасностей с помощью методов анализа риска. Анализ риска может быть представлен как ряд последовательных событий: планирование и организация работ; выявление и предварительная оценка характеристик опасностей; анализ частоты, последствий и неопределенностей риска; разработка рекомендаций по управлению риском. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время решение вопросов анализа риска находится на стадии свое развития, поэтому в первом приближении его нельзя считать строгим процессом, поддающимся проверке научными методами.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** моделирование; опасность; анализ риска; информация; событие; планирование; организация работ; управление риска.

*V.K.Musayev, A.M.Gonol'skii, Y.N.Zakharov, A.V.Logunov, D.A.Baranov*

## MODELLING HAZARDS USING RISK ANALYSIS

Provides information about the modelling of hazards by using methods of risk analysis. Risk analysis can be presented as a series of sequential events: planning and organization of works; identification and preliminary evaluation of the characteristics of the hazards; analysis of frequency, consequences and uncertainties of risk; development of recommendations on risk management. The analysis allows to conclude that at present the issues of risk analysis is at the stage of its development, so to a first approximation, it cannot be considered a rigorous process, verifiable scientific methods.

**KEY WORDS:** modeling; risk; risk analysis; information; event; planning; organization of work; management of risk.

Опасность занимает центральное место как сферы безопасности жизнедеятельности в техносфере, так и промышленной безопасности. Под опасностью понимаются явления, процессы, объекты, способные вызывать нежелательные последствия непосредственно или косвенно. Другими словами, опасность - следствие действия некоторых негативных факторов на определенный объект воздействия. При несоответствии характеристик воздействующих факторов характеристикам объекта воздействия и появляется феномен опасности, например, ударная волна, аномальная температура, недостаток кислорода в воздухе, токсичные примеси в воздухе и т.п.

Некоторые исследования в области безопасности сложных систем приведены в следующих работах [1, 3, 7–12, 14–20].

Опасность - это свойство, внутренне присущее сложной технической системе. Она может реализовываться в виде прямого или косвенного ущерба для объекта воздействия постепенно, внезапно или резко в результате отказа системы. Потенциальная опасность реализуется для человека, технических и экологических систем.

Определяющими причинами является возможность непосредственного отрицательного воздействия на некоторый объект. Возможность нарушения нормального состояния элементов производственного процесса, в результате которого могут возникнуть аварии, взрывы, пожары и травмы. Наличие одного из указанных признаков является достаточным для отнесения факторов к разделу опасных или вредных. Количество опасных признаков, характеризующих опасность, может быть увеличено или уменьшено в зависимости от целей анализа.

В настоящее время очень распространенными терминами среди работников промышленности являются «опасность» и «риск». В научной литературе встречается различное толкование термина «риск», и

в него иногда вкладываются отличающиеся друг от друга содержания. В страховании риск используется в следующих случаях: при обозначении предмета страхования промышленного предприятия или фирмы; при страховании случая наводнения, пожара, взрыва и пр.; при страховой суммы опасности в денежном выражении или же как собирательный термин для обозначения нежелательных или неопределенных событий.

Экономисты и статисты понимают риск как меру возможных последствий, которые проявятся в определенный момент в будущем. Ряд трактовок раскрывает риск как вероятность возникновения несчастного случая, опасности, аварии или катастрофы при определенных условиях производства или окружающей человека среды. Общим для всех приведенных толкований термина является то, что риск включает неуверенность, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли неблагоприятное состояние. Заметим, что в соответствии с современными взглядами риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения различных явлений, сопровождающихся возникновением, формированием и действием опасностей, и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба и вреда.

Под риском следует понимать ожидаемую частоту или вероятность возникновения опасностей определенного класса, или же размер возможного ущерба от нежелательного события, или же некоторую комбинацию этих величин.

Применение понятия риск позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск является мерой опасности. Часто используют понятие «степень риска» (Level of risk), по сути не отличающееся от понятия риск, но лишь подчеркивающее, что речь идет о величине измеряемой. Различные интерпретации термина «риск» используются в настоя-

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

щее время при анализе опасностей и управлении безопасностью сложной системы.

В работах [2, 4–6, 13] приведена информация об опасностях природного, техногенного и экологического характера.

Применительно к проблеме безопасности жизнедеятельности таким нежелательным событием может быть: ухудшение здоровья или смерть человека; авария или катастрофа технической системы или устройства; загрязнение или разрушение экологической системы; гибель группы людей или возрастания смертности населения; материальный ущерб от реализовавшихся опасностей или увеличение затрат на безопасность.

Каждое нежелательное событие может возникнуть по отношению к определенному объекту риска. Соотношение объектов риска и нежелательных событий позволяет различать следующие риски: индивидуальный; технический; экологический; социальный; экономический. Каждый вид его обуславливают характерные источники и факторы риска.

Индивидуальный риск создается условием жизнедеятельности человека при заболевании, травме, инвалидности и смерти. Технический риск создается при несовершенстве технических систем и объектов, которые приводят к аварии и катастрофе.

Экологический риск создается вмешательством человека в природную среду, которое приводит к аварии и катастрофе. Социальный риск связан с качеством жизни человека, который создает заболевания, травмы, гибель людей и рост смертности. Экономический риск влияет на материальные ресурсы при повышенной опасности производству и природной среде, который приводит к увеличению затрат на безопасность и ущерб от недостаточной защищенности.

Источниками индивидуального риска могут быть: внутренняя среда организма человека; привычки; социальная экология; профессиональная деятельность; транспортные сообщения; непрофессиональная деятельность; социальная среда; окружающая природная среда. Индивидуальный риск может быть добровольным или вынужденным.

Технический риск является комплексным показателем надежности элементов техносферы. Он выражает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Источниками технического риска могут быть: низкий уровень научно-исследовательских работ; низкий уровень опытно-конструкторских работ; опытное производство с низкими критериями безопасности; серийный выпуск продукции с нарушением регламента безопасности; нарушение правил безопасной эксплуатации технических систем; ошибки персонала.

Экологический риск выражает вероятность нарушения дальнейшего нормального функционирования и существования экологических систем и объек-

тов в результате антропогенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия. Нежелательные события экологического риска могут проявляться как в зонах вмешательства, так и за их пределами.

Дополнительным косвенным критерием экологического риска может служить интегральный показатель экологичности территории предприятия, соотносимой с динамикой плотности населения, то есть численности работающих.

Уровни экологичности позволяют разделять территории по степени экологического благополучия и по степени экологического бедствия. Кроме того, динамика уровня экологичности территории позволяет судить об изменении экологической ситуации на ней за длительные промежутки времени, определить зоны экологического бедствия или благополучия. Источниками экологического риска могут быть: антропогенное вмешательство в природную среду; техногенное влияние на окружающую природную среду; природное явление.

Социальный риск характеризует масштабы и тяжесть негативных последствий чрезвычайных ситуаций на группу людей, а также различного рода явлений и преобразований, снижающих качество жизни людей. По своему содержанию - это риск для группы или сообщества людей. Оценить его можно по динамике смертности, рассчитанной на 1000 человек соответствующей группы. Источниками социального риска могут быть: урбанизация экологически неустойчивых территорий; промышленные технологии и объекты промышленной опасности; социальные и военные конфликты; эпидемии; снижение качества жизни.

Экономический риск определяется соотношением пользы и вреда, получаемых обществом от рассматриваемого вида деятельности. В условиях хозяйственной деятельности необходимо определять оптимальные отношения затрат на безопасность и возможного ущерба от недостаточной защищенности. Найти его можно, если задаться некоторым значением реально достижимого уровня безопасности производства. Эту задачу можно решить методом математической оптимизации.

Использование рассматриваемых видов риска позволяет выполнять поиск оптимальных решений по обеспечению безопасности как на уровне предприятия, так и территории. Для реализации поставленной задачи необходимо выбирать значения приемлемого риска.

Приемлемый риск сочетает в себе технические, экологические и социальные аспекты. Он представляет собой некоторый компромисс между приемлемым уровнем безопасности и экономическими возможностями его достижения, т.е. можно говорить о снижении индивидуального, технического или экологического риска, но нельзя забывать о том, сколько за это придется заплатить и каким в результате окажется социальный риск.

При разработке критериев риска и безопасности самое пристальное внимание уделяется системному

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

подходу учета и изучения разнообразных факторов, влияющих на показатели риска, именуемому анализом риска.

Анализ риска или риск-анализ (risk analysis) - это процесс идентификации опасностей и оценки риска для отдельных лиц, групп населения, объектов, окружающей природной среды и других объектов рассмотрения. Опасность понимается как источник потенциального ущерба или вреда или ситуация с возможностью нанесения ущерба. Идентификация опасности - это процесс выявления и признания, что опасность существует, а также определение ее характеристик.

Существует много формулировок этого понятия. Однако в общем виде под анализом риска подразумевается процесс выявления опасности и оценки возможных негативных последствий в результате возникновения нарушений в работе конкретных технологических систем и представления этих последствий в количественных показателях.

Многообразие видов производственной деятельности и специфика промышленных объектов отражают многоаспектность проблемы анализа риска.

Особенность анализа технологического риска заключается в том, что в ходе его рассматриваются потенциально негативные последствия, которые могут возникнуть в результате отказа в работе технических систем, сбоев в технологических процессах, ошибок со стороны обслуживающего персонала. Разумеется при моделировании ситуации можно рассматривать негативные воздействия на людей и окружающую природную среду при безаварийном функционировании производства.

Результаты анализа риска находят широкое применение при учете разнообразных ситуаций, с которыми может столкнуться управляющий персонал в процессе своей деятельности, особенно при возникновении чрезвычайной обстановки. Неопределенность анализа риска накладывает отпечаток на методику, ход и конечные результаты. Методы, используемые в процессе анализа риска, должны быть ориентированы на выявление и оценку возможных потерь в случае аварии при реализации того или иного проекта.

Анализ риска имеет ряд общих положений независимо от специфики решаемых задач. Во-первых, общей является задача определения допустимого уровня риска, стандартов безопасности обслуживающего персонала и населения, защиты окружающей природной среды. Во-вторых, определение допустимого уровня риска происходит в условиях недостаточной или непроверенной информации, особенно когда это касается новых технологических процессов или новой техники. В-третьих, при решении задачи об анализе риска в значительной мере приходится решать вероятностные задачи, что может привести к существенным расхождениям в получаемых результатах. В-четвертых, анализ риска нужно рассматривать, как процесс решения задачи о компромиссе между сторонами, заинтересованными в определенных

результатах.

Анализ риска может быть определен как процесс решения сложной задачи, требующий рассмотрения широкого круга вопросов и поведения комплексного исследования и оценки технических, экономических, управленческих, социальных и политических факторов.

При решении задачи об анализе риска возникает потребность в ответе на следующие три вопроса: что плохого может произойти; как часто это может случиться; какие могут быть последствия. Основным элементом анализа риска - это обнаружение возможных нарушений, которые могут привести к негативным последствиям.

Моделирование ситуации в области анализа риска начинается с планирования и организации работ. Анализ риска проводится в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов. Однако более точный выбор задач, средств и методов анализа риска обычно не регламентируется. В документах подчеркивается, что анализ опасности должен соответствовать сложности рассматриваемых процессов, наличию необходимых данных и квалификации специалистов, проводящих анализ. При этом более простые и понятные методы анализа риска следует предпочитать более сложным методам.

На первом этапе анализа риска необходимо: указать причины и проблемы, вызвавшие необходимость проведения исследования; определить рассматриваемую систему и дать ее описание; выявить источники информации о безопасности системы; указать исходные данные и предельные значения при оценке исследуемого объекта; определить цели и критерии приемлемого риска. В нормативных документах содержатся требования к оформлению этого этапа анализа риска.

Следующий этап анализа риска - это идентификация опасностей. Основная задача: выявление и четкое описание всех присущих системе опасностей. Этот этап анализа очень ответственный, так как невыявленные на этом этапе опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения.

Существует целый ряд формальных методов выявления опасностей. Рассмотрим предварительную оценку опасностей с целью выбора дальнейшего направления деятельности: прекратить дальнейший анализ риска ввиду незначительности опасностей; провести более детальный анализ риска; выработать рекомендации по уменьшению опасностей.

Исходные данные и результаты предварительной оценки опасностей должным образом документируются. Процесс анализа риска может заканчиваться уже на этапе идентификации опасностей. После идентификации опасностей переходят к этапу оценки риска. Последний этап анализа риска технологической системы - разработка рекомендаций по уменьшению уровня риска в случае, если степень риска выше приемлемой.

Множественность результатов и возможность

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

компромиссных решений дают основание считать, что решение вопросов анализа риска находится на стадии своего развития, поэтому в первом приближении его нельзя считать строгим процессом, поддающимся проверке научными методами.

### Литература

1. Мусаев В.К. Анализ риска в задачах безопасности населения и территорий. – М.: РУДН, 2005. – 21 с.
2. Мусаев В.К. Методы управления риском в политике смягчения последствий чрезвычайных ситуаций. – М.: РУДН, 2005. – 24 с.
3. Мусаев В.К. Нормативная база расчета на безопасность уникальных сооружений. – М.: РУДН, 2005. – 28 с.
4. Мусаев В.К., Суцев С.П., Шиянов С.М., Мусаев А.В., Федоров А.Л. О некоторых положениях нормативной и правовой базы мониторинга чрезвычайных ситуаций // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 4. – С. 37–48.
5. Мусаев В.К., Суцев С.П., Шиянов М.И., Попов А.А. Системный анализ фундаментальных проблем природной, техногенной и экологической безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 1. – С. 20–26.
6. Мусаев В.К., Попов А.А., Суцев С.П., Куранцов В.А. О методах оценки безопасности сложных систем природного и антропогенного происхождения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 39–45.
7. Мусаев В.К., Суцев С.П., Попов А.А., Ситник В.Г., Мусаев А.В. Некоторые проблемы долговечности и надежности гидротехнических сооружений // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. – № 1. – С. 75–77.
8. Мусаев В.К., Шиянов М.И., Дзыбов М.М., Клиновицкий С.А. О системном анализе безопасности человека, общества и окружающей среды // Стратегическая стабильность. – 2011. – № 3. – С. 47–49.
9. Шиянов С.М., Шепелина П.В., Куранцов В.В., Кормилицин А.И. О повышении надежности и безопасности технических систем в процессе эксплуатации // Стратегическая стабильность. – 2011. – № 3. – С. 50–52.
10. Мусаев В.К. О возможных сценариях развития аварий на гидротехнических сооружениях // Стратегическая стабильность. – 2011. – № 3. – С. 53–56.
11. Кормилицин А.И., Шепелина П.В., Шиянов С.М., Куранцов В.В. О живучести несущих конструкций сложных технических систем // Стратегическая стабильность. – 2011. – № 3. – С. 68–70.
12. Мусаев В.К., Шиянов М.И., Дзыбов М.М., Клиновицкий С.А. Об анализе безопасности и технического состояния строительных объектов // Стратегическая стабильность. – 2011. – № 3. – С. 71–73.
13. Мусаев В.К. Анализ риска в безопасности населения и территорий объектов экономики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 3. – С. 32–37.
14. Мусаев В.К. Об эксплуатационной безопасности строительных объектов экономики // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 4. – С. 115–121.
15. Шиянов С.М., Шепелина П.В., Куранцов В.В., Кормилицин А.И. О живучести несущих конструкций сложных технических систем // Двойные технологии. – 2013. – №1. – С. 17–19.
16. Мусаев В.К. О возможных сценариях развития аварий на гидротехнических сооружениях // Двойные технологии. – 2013. – № 2. – С. 19–22.
17. Шиянов С.М., Шепелина П.В., Куранцов В.В., Кормилицин А.И. О повышении надежности и безопасности технических систем в процессе эксплуатации // Двойные технологии. – 2013. – № 1. – С. 20–22.
18. Мусаев В.К., Шиянов М.И., Дзыбов М.М., Клиновицкий С.А. О системном анализе безопасности человека, общества и окружающей среды // Двойные технологии. – 2013. – № 2. – С. 23–25.
19. Мусаев В.К., Шиянов М.И., Дзыбов М.М., Клиновицкий С.А. Об анализе безопасности технического состояния строительных объектов // Двойные технологии. – 2013. – № 2. – С. 26–28.
20. Мусаев В.К., Спиридонов В.П., Деревяшкин И.В., Дикова Е.В., Стародубцев В.В. О комплексном и системном подходе в мониторинге безопасности объектов производственной и социальной сферы при чрезвычайных ситуациях // Маркшейдерский вестник. – 2015. – №5. – С. 59–62.

Вячеслав Кадыр оглы Мусаев, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное дело», тел. 89265670558, E-mail: musayev-vk@yandex.ru;  
Адам Михайлович Гонопольский, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Техника и технология переработки отходов»;

Юрий Никитович Захаров, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное и нефтегазовое оборудование»;

Александр Вячеславович Логунов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Горное и нефтегазовое оборудование»;

Дмитрий Анатольевич Баранов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Техника и технология переработки отходов»  
(Московский государственный машиностроительный университет)

И.И. Ерилова

**ИТОГИ РАБОТЫ СЕМИНАРА №2 «ПРОБЛЕМЫ МАРКШЕЙДЕРИИ, ГЕОМЕТРИЯ И КВАЛИМЕТРИЯ НЕДР» (ПОСВЯЩЕН 95-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ «МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА И ГЕОДЕЗИИ» ГОРНОГО ИНСТИТУТА НИТУ «МИСИС») XXIV МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО СИМПОЗИУМА «НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА – 2016»**

XXIV международный научный симпозиум прошел с 25 по 29 января 2016 г. в Московском горном институте НИТУ «МИСиС».

Организаторами симпозиума совместно с Горным институтом НИТУ «МИСиС» выступили Институт проблем комплексного освоения недр РАН и Научный совет РАН по проблемам горных наук.

В работе научного симпозиума приняли участие видные учёные академической, вузовской и отраслевой наук, представители высших учебных заведений, научных и промышленных организаций России и 30 стран СНГ и дальнего зарубежья.

Пленарное заседание международного научного симпозиума 26 января в Актовом зале Горного института НИТУ «МИСиС» открыл советник Президиума РАН, председатель научного совета РАН, академик РАН – К.Н. Трубецкой.

На пленарном заседании были заслушаны доклады: сопредседателя симпозиума, ректора НИТУ «МИСиС», профессора, д.э.н. А.А.Черниковой, профессора, д.т.н. Е.И.Панфилова (ИПКОН РАН), профессора, д.т.н. Б.А.Картозии (Горный институт НИТУ «МИСиС»), профессора, д.т.н. Е.Б.Черепецкой (Горный институт НИТУ «МИСиС»).

Пленарное заседание завершилось вручением наград заслуженным ученым.

На международном научном симпозиуме работали 28 научных семинаров: горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр (семинары №№1,2,3); геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэродинамика, горная теплофизика (семинары №№4,5,6); экономика и менеджмент горного производства, геоэкология (семинар №7,8,9,10,11,12); геоинформатика (семинары №№13,14,15,16); геотехнология (подземная, открытая и строительная) (семинары №№17,18,19,20,21); горные машины, электротехнические системы и комплексы (семинары №№22,23,24,25,26); обогащение полезных ископаемых (семинар №27); гуманитарные науки (семинар №28).

Прошли заседания: Совета Федерального учебно-методического объединения в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 21.00.00 Прикладная геология, Горное дело, Нефтегазовое дело и Геодезия; Научного совета РАН по проблемам использования взрывов в народнохозяйственных целях и по проблемам горных наук

В рамках Международного симпозиума работали четыре круглых стола: журнала «Глюкауф» «Развитие сотрудничества, инновации, риски, эффективность»; «Экологические проблемы использования техногенного сырья в производстве стекла и керамики»; «Наилучшие доступные технологии в горной промышленности»; «Вопросы реализации программы импортозамещения в отрасли горного машиностроения и на предприятиях горнодобывающей промышленности, осуществляющих геологоразведку, добычу и переработку полезного ископаемого».

Прошли презентации, выставки, деловые встречи, посещение геологического музея, экскурсии на кафедры, встречи с преподавателями, научными сотрудниками, инженерами, аспирантами и студентами.

В Программу работы Семинара №2 «Проблемы маркшейдерии, геометрия и квалиметрия недр» (руководители-профессоры Г.О.Абрамян, М.А.Иофис, ученый секретарь – доцент И.И.Ерилова) XXIV-го Международного научного симпозиума «Неделя горняка 2016» предварительно были включены 27 докладов.

В ходе работы на заседаниях Семинара заслушаны и обсуждены участниками 17 докладов, представленных докладчиками в форме мультимедийных презентаций.

В работе Семинара приняли участие более 35 человек, включая представителей научных, научно-исследовательских и учебных институтов (университетов): ФБГУН ИПКОН РАН, ИГД УрО РАН, ИГДС СО РАН, ГИ Кольского научного центра РАН, НМСУ «Горный», РУДН, Сибирского Федерального Университета, ТашГТУ (Узбекистан), Карагандинского ГТУ (Казахстан), НИ ИргТУ, БГТУ им. В.Г.Шухова, Магнитогорского ГТУ им. Г.И.Носова, КузГТУ, ЮРГПУ (НПИ), ИМГРЭ, РГГРУ, Московского государственного машиностроительного университета, МАМИ; предприятий: НПП ОАО «СУЭК-Кузбасс», ООО ГРП «ЮГРЮМ-РЕКА», R&K Geo-Engineering Ltd. (Германия), а также преподаватели, аспиранты и студенты кафедры «Геологии и маркшейдерского дела» и других кафедр Горного института НИТУ «МИСиС».

В числе участников Семинара были ученые из зарубежных стран: Узбекистана – зав.кафедрой «Маркшейдерского дела и геодезии» Ташкентского государственного технического университета имени Абу Райхна Беруни, профессор, к.т.н. С.С.Сайидкосимов; Казахстана – доценты кафедры «Маркшейдерского дела и геодезии» Карагандинского государственного технического университета О.Г. Бембаева и С.Б.Ожигина; Сирии – аспирант кафедры «Маркшейдерского дела и геодезии» Российского университета дружбы народов Х.Сальфар и Германии – управляющий директор компании «R&K Geo-Engineering Ltd.» Dr. Godrat Rafat.

Открыл работу Семинара профессор, к.т.н. Г.О.Абрамян – руководитель маркшейдерского направления кафедры «Геологии и маркшейдерского дела», сопредседатель Семинара №2, докладом «95 лет кафедре «Маркшейдерского дела и геодезии» (с 01.09.2015 кафедра «Геологии и Маркшейдерского дела» Горного института НИТУ «МИСиС»). В докладе подробно показан пройденный кафедрой 95-летний путь, достижения, заслуги, награды кафедры и ее выпускников.

Темы последующих докладов Семинара касались основных актуальных вопросов и современных проблемы маркшейдерии, подготовки профессиональных кадров, в частности: способов оценки сдвижений и деформаций горных пород и обеспечения охраны подрабатываемых объектов; развития методов расчета деформаций земной поверхности при освоении недр; организации деформационного мониторинга при строительстве подземных сооружений в мегаполисах; геометризации минерально-сырьевых ресурсов; оценки устойчивости бортов карьеров по результатам маркшейдерского мониторинга; спутникового позиционирования; подготовки специалистов в рамках реализации проекта Micromine-ВУЗ; динамики развития электронного образовательного проекта обучения дисциплинам «Геодезия» и «Маркшейдерия» и других.

## ИНФОРМАЦИЯ

Наибольший интерес вызвали доклады: М.А.Иофис, А.В.Есина (ФГБУН ИПКОН РАН): «Развитие методологии расчетов деформации земной поверхности при освоении недр»; Г.О.Абрамян, П.В.Яковлев, Е.А.Тухель (Горный институт НИТУ «МИСиС»): «Спутниковое позиционирование и системы счета высот»; Е.М.Волохов (НМСУ «Горный»): «Проблемы оценки смещений и деформации горных пород, обеспечения охраны подрабатываемых объектов и организации деформационного мониторинга при строительстве подземных сооружений в мегаполисах»; С.С.Сайидкосимов, А.Н.Казаков (ТашГТУ, Узбекистан): «Прогнозирование устойчивости подготовительных горных выработок при подземном способе разработки глубоких горизонтов месторождений Зармитанской золоторудной зоны»; Ю.М.Шурыгина (ЮРГПУ (НПИ): «Теория и методы

геометризации углевмещающей толщи как основа планирования развития горных работ».

Участниками Семинара, помимо известных учёных и маркшейдеров горных предприятий, были аспиранты и студенты.

В программе Семинара заявлены 5 докладов аспирантов из Горного института НИТУ «МИСиС», НМСУ «Горный», Сибирского Федерального Университета, РУДН и ИПКОН РАН.

С докладом выступила аспирант Е.В.Красюкова (ИПКОН РАН).

Доклады Семинара рекомендованы к публикациям в ГИАБе и журналах «Маркшейдерский вестник» и «Маркшейдерия и недропользование».

### Фотообзор (автор Ерилова И.И.)



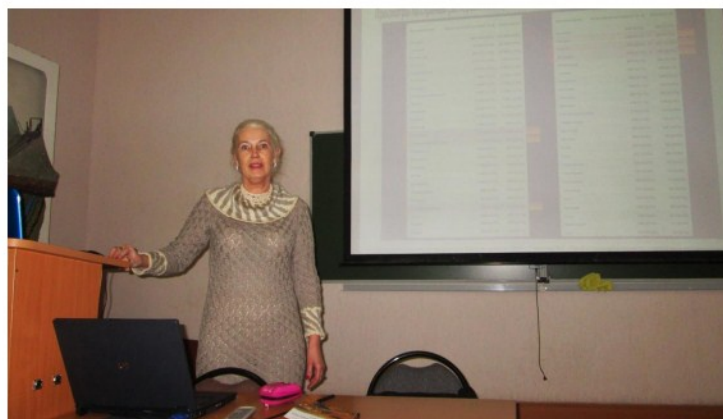
Пленарное заседание XXIV Международного научного симпозиума «Неделя горняка 2016» в актовом зале Горного института НИТУ «МИСиС»



Сопредседатели Семинара №2 XXIV Международного научного симпозиума «Неделя горняка 2016» проф., д.т.н. М.А.Иофис, проф., к.т.н. Г.О.Абрамян



Проф., к.т.н. С.С.Сайидкосимов (ТашГТУ, Узбекистан)



Доц. И.И.Ерилова (Горный институт НИТУ «МИСиС»)



К.т.н. Д.Н. Шурыгин (ЮРГПУ (НПИ))



С.В. Карабибер (ОАО «СУЭК-Кузбас»)

Ирина Игоревна Ерилова, доцент кафедры ГМД МГИ НИТУ «МИСиС», тел. (499)230-2558, E-mail: irina-erilova@yandex.ru