

А.А.КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, зам. директора по научной работе, kozar@goi.kolasc.net.ru

М.М.КАГАН, старший научный сотрудник, mkagan@goi.kolasc.net.ru

К.Н.КОНСТАНТИНОВ, младший научный сотрудник, const1980@gmail.com

Учреждение Российской академии наук Горный институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты Мурманской обл.

Д.В.ЖИРОВ, научный сотрудник, zhirov@geoksc.apatity.ru

Учреждение Российской академии наук Геологический институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты Мурманской обл.

A.A.KOZYREV, Dr. in eng. sc., deputy director, kozar@goi.kolasc.net.ru

M.M.KAGAN, senior research assistant, mkagan@goi.kolasc.net.ru

K.N.KONSTANTINOV, junior research assistant, const1980@gmail.com

The Establishment of the Russian Academy of Sciences Mining Institute of the Kola Science Center RAS, Apatity, Murmansk region

D.V.ZHIROV, research assistant, zhirov@geoksc.apatity.ru

The Establishment of the Russian Academy of Sciences Geological Institute of the Kola Science Center RAS, Apatity, Murmansk region

ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И НАКЛОНОВ ГЕОСТРУКТУРНОГО БЛОКА В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ И РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Приводятся результаты регистрации деформаций и наклонов блока массива пород на шахтном поле подземного рудника за длительный период, включающий в себя разные стадии подготовки и реализации техногенного землетрясения. Выявлены устойчивые средне- и краткосрочные предвестники землетрясения. Выполнен анализ результатов в рамках иерархической блоковой геологической модели среды.

Ключевые слова: землетрясение, предвестники, деформации, наклоны, подземный рудник.

CHANGES IN STRAIN AND SLOPE GEOSTRUCTURAL BLOCK IN THE PREPARATION AND REALIZATION OF TECHNOGENIC EARTHQUAKE

The results are presented of deformation and rock mass block inclination in the underground mine field for the long period of time including different stages of preparation and realization of the earthquake. The stable mid-term and short-term earthquakes precursors are identified. The result analysis has been made within the hierarchy-block geological model of environment.

Key words: earthquake, precursors, deformation, inclination, underground mine.

Введение. Сейсмические события большой мощности (с магнитудой больше единицы) представляют собой грозные природные явления, создающие опасность жизни людей и несущие значительный эконо-

мический ущерб. Выявление надежных предвестников этих явлений, позволяющих осуществлять прогнозирование их возникновения, является задачей актуальной и до настоящего времени не решенной. В связи с

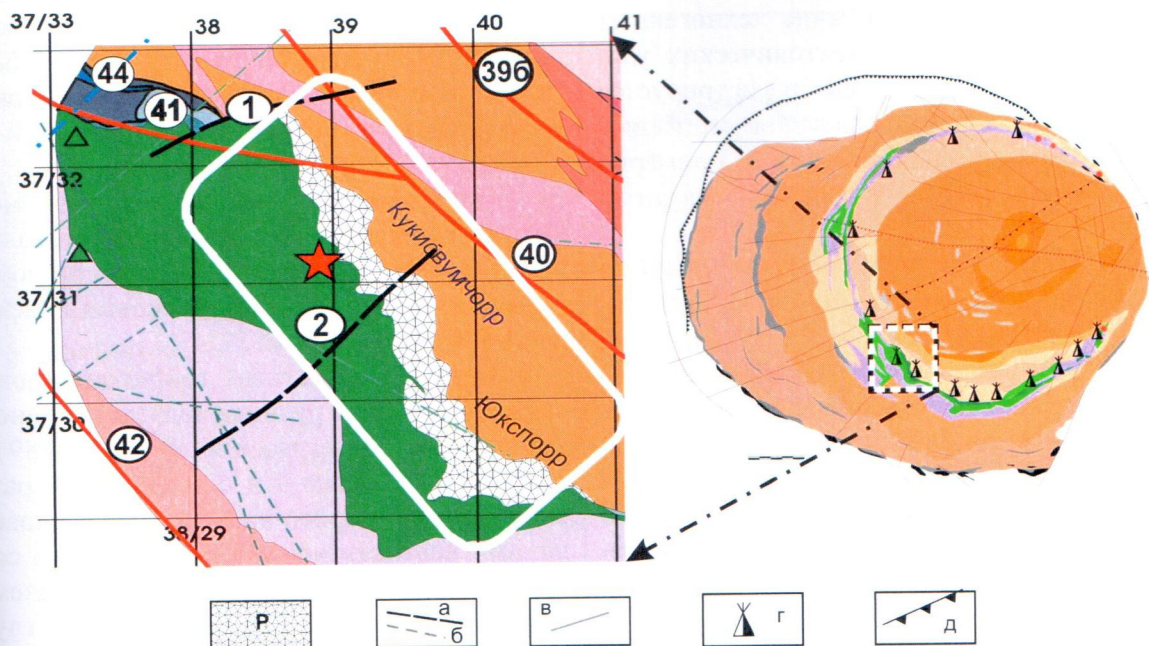


Рис.1. Геолого-структурное положение Кировского рудника ОАО «Апатит»

Слева – геологическая схема рудника; справа – местоположение рудника в Хибинском массиве
 Р – рудное тело; а – радиальные разломы; б – разрывные нарушения других систем; в – разрывные нарушения, выделенные по результатам дешифрирования аэрофотоснимков; г – месторождения апатит-нефелиновых руд (правый рисунок); д – наиболее крупные разломы 1-го ранга; цифры в круге: 1 – Ворткеуйвский радиальный; 2 – Саамский радиальный и 40 – Южно-Эвселогчорский концентрический разлом; белый контур – площадь проекции выработок Кировского рудника и выходов месторождений Кукисвумчорр и Юкспорр на поверхность; звездочка – проекция эпицентра события от 21.10.2010 г. на поверхность

этим представляется важным систематизировать опыт надежного выявления таких предвестников любой физической природы, пусть и в ретроспективном плане. В данной статье нами приводятся результаты измерений деформаций и наклонов блока массива горных пород в зоне подготовки очага техногенного землетрясения с магнитудой, равной 3,5, произошедшего в зоне отработки Хибинского апатитового месторождения (Объединенный Кировский рудник ОАО «Апатит»). По нашему мнению, эти результаты отчетливо отражают различные стадии подготовки и реализации землетрясения и позволяют сделать определенные выводы о механизмах его подготовки и о прогностической роли деформационных предвестников.

Горно-геологические условия Объединенного Кировского рудника. Рудник находится в Кольский регионе и обрабатывает Кукисвумчорское и Юкспорское апатит-нефелиновые месторождения Хибинского

массива. Кольский регион не входит в число наиболее сейсмоактивных областей. Здесь выявляются лишь зоны слабой сейсмичности с проявлением мелкофокусных тектонических землетрясений, вызванных, в основном, дифференцированным изостатическим поднятием блоков кристаллического фундамента в послеледниковое время и действием горизонтальных избыточных напряжений [5]. Однако фоновая природная сейсмичность тектонического генезиса осложняется весьма интенсивным техногенным воздействием, связанным с проведением взрывных и горных работ на крупных месторождениях Мурманской области. В этой ситуации происходит нарастание и перераспределение концентраций напряжений и сейсмичности как внутри геологических блоков, так и на их границах – крупных разломах третьего ранга. Эти процессы имеют циклический характер и могут продолжаться длительный промежуток времени, приводя в итоге к катастрофи-

ческим последствиям в виде техногенных землетрясений и горно-тектонических ударов. Ежегодно в регионе регистрируется около двух тысяч техногенно-индуцированных сейсмических событий, а примерно раз в 10 лет отмечаются события с магнитудой 3-4 [1, 5].

Разрывная тектоника рассматриваемого района представлена закономерно ориентированными радиальными и концентрическими разломами (рис.1), а также несколькими системами трещиноватости. Наиболее крупными тектоническими элементами геомеханического пространства Кукисвумчорского месторождения являются Саамский (№ 2 на рис.1) и Ворткеуайвский (№ 1) радиальные разломы северо-восточного простирания.

Саамский разлом в первом приближении совпадает с границей эксплуатируемых месторождений и делит рудник на блоки максимального ранга – Кукисвумчорский и Юкспорский (см. рис.1).

Проведенный нами в 1990-2000 гг. мониторинг дифференцированных вертикальных движений в районе Саамского разлома выявил сложный характер блоковых и межблоковых перемещений [3, 4].

Наиболее известным сейсмодинамическим событием на руднике является крупное техногенное землетрясение от 16.04.1989 г. с магнитудой около 4 и с реализацией разрыва по типу взбросо-надвиг, т.е. с равновеликими вертикальной и горизонтальной составляющими перемещения. Таким образом, геомеханические условия эксплуатации глу-

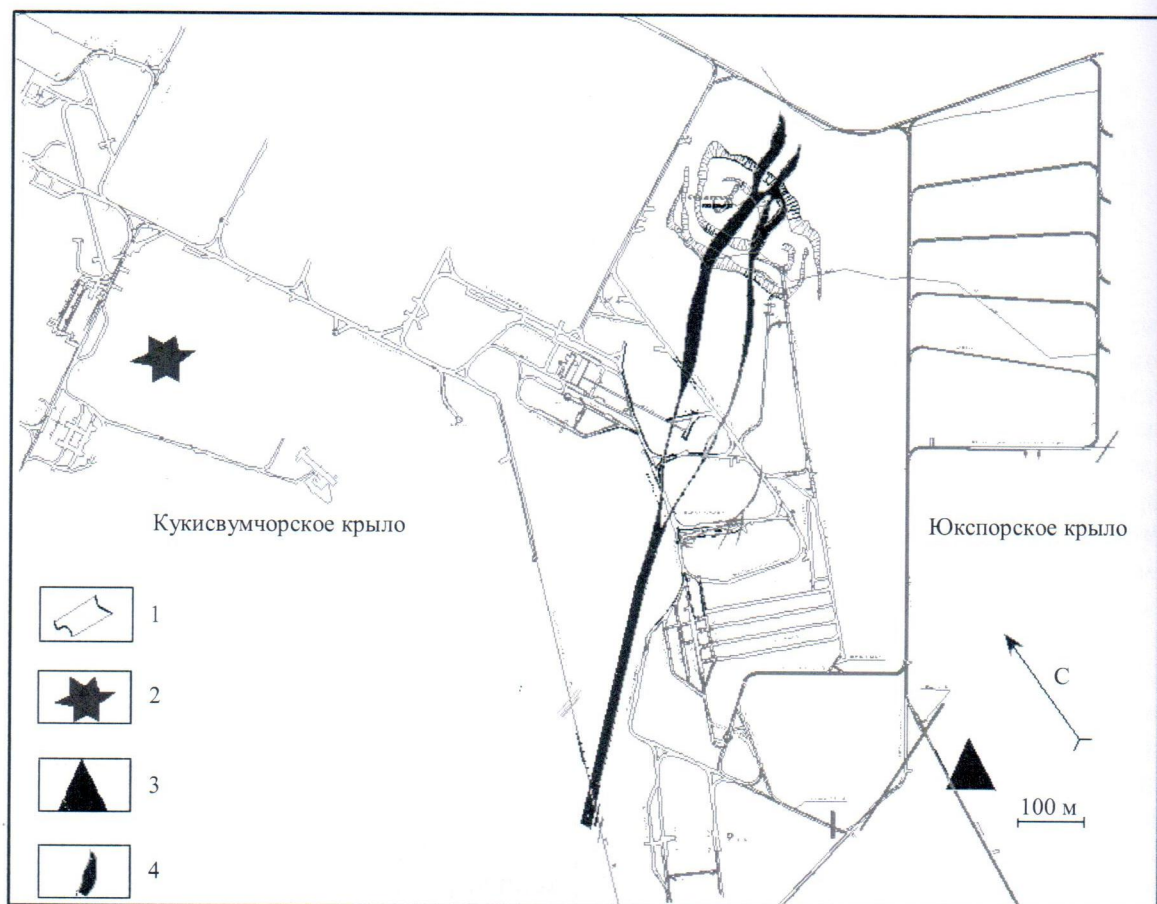


Рис.2. Реконструкция местоположения гипоцентра события от 21.10.2010 г. и геомеханического полигона по отношению к основным элементам инфраструктуры Кировского рудника (гор. +172 м) и строения Кукисвумчорского и Юкспорского месторождений.

1 – подземные выработки; 2 – техногенное землетрясение 21.10.2010 г.; 3 – геофизический полигон гор. –24 м; 4 – Саамский разлом

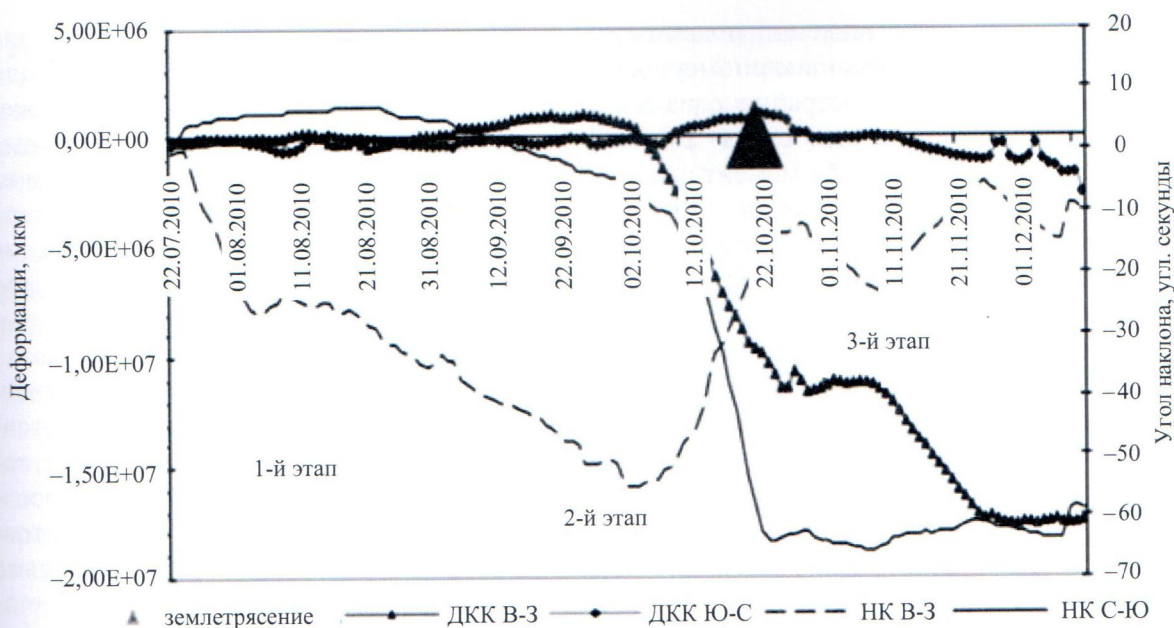


Рис.3. График усредненных за день данных деформационно-наклономерного комплекса в период подготовки и реализации техногенного землетрясения 21.10.2010 г.

1-й этап – период стабильности (22.07.2010 – 06.10.2010); 2-й этап – подготовка землетрясения (06.10.2010 – 21.10.2010); 3-й этап – афтершоковый период (с 21.10.2010)

боких горизонтов Кировского рудника можно охарактеризовать как сложные.

Последнее мощное техногенное событие с магнитудой около 3,5 произошло 21.10.2010 г. в 12 ч 10 мин по московскому времени. Гипоцентр события находился в Кукисвумчорском крыле Объединенного Кировского рудника примерно на горизонте +16 м (360 м от поверхности) на некотором удалении от горных выработок (рис.2). Выделившаяся энергия составила порядка $7 \cdot 10^9$ Дж. В результате этого события в ряде подземных выработок рудника произошло раскрытие трещин, отслоения бетонной и набрызг-бетонной крепи, обрушение породы. Каких-либо значимых последствий землетрясения на поверхности не выявлено.

Размер очага сейсмического события может быть оценен по формуле [2]

$$\lg L = 0,33 \lg E - 0,4,$$

где L – длина разрыва в очаге, м, E – энергия сейсмического события, Дж.

Для события с энергетическим классом 9 оценка дает длину проросшего разрыва порядка 700 м. Если учесть, что размер зоны подготовки в несколько раз превосходит

длину разрыва [6], можно говорить о том, что размер зоны подготовки землетрясения составляет несколько километров, т.е. зона включает в себя всю промышленную зону рудника и значительную часть продуктивной толщи Хибинского массива.

Геомеханический полигон. На гор. –24 м Юкспорского крыла Объединенного Кировского рудника ОАО «Апатит» оборудован геомеханический полигон, представляющий собой многоканальный наклономерно-деформометрический комплекс на основе приборов, разработанных в Институте физики Земли РАН. Комплекс включает в себя кварцевые деформометры и наклонометры с разрешающей способностью по наклонам 0,005 угловой секунды и по деформациям 0,005 мкм. На стенке забоя выработки смонтированы два деформометра ДКК-3, ориентированные по сторонам света – восток-запад (далее ДКК В-3) и юг-север (ДКК Ю-С), а два наклонометра, установленные в штативах на постаменте, ориентированы в направлении запад-восток (НК В-3) и север-юг (НК С-Ю). Комплекс находится в эксплуатации с июля 2010 г.

Описание результатов регистрации деформаций и наклонов. На рис.3 в гра-

фическом виде представлены показания приборов деформационно-наклономерного комплекса за период регистрации с начала эксплуатации полигона до конца 2010 г. Этот период включает в себя момент реализации техногенного землетрясения.

Данные позволяют даже визуально выделить несколько характерных временных интервалов:

1-й этап. Интервал от начала регистрации до 06.10.2010 г. Отличительной особенностью этого интервала является непрерывное медленное изменение наклона в плоскости север-юг (НК З-В) при относительно малых изменениях в показаниях остальных приборов. К концу интервала приращение угла наклона достигло весьма значительной величины – порядка 1 угловой минуты.

2-й этап. Интервал с 06.10.2010 г. по 21.10.2010 г. Интервал характеризуется резкой скоростью изменения показаний всех приборов, за исключением деформометра ДКК Ю-С, причем наклон в плоскости север-юг сменил знак приращения, а деформометр в направлении восток-запад показывал рост отрицательных деформаций (сжатие). Этап завершился реализацией техногенного землетрясения.

3-й этап. Интервал с 21.10.2010 г. по 31.10.2010 г. После реализации землетрясения прослеживается уменьшение скоростей наклонов при продолжающемся росте деформаций сжатия в направлении восток-запад.

С целью более наглядного отображения результатов регистрации мы восстановили по показаниям наклономеров векторы скоростей изменения наклонов. Усредненные по этапам результаты расчетов приведены на рис.4. Можно отметить, что на 2-м этапе скорость наклона практически на порядок превышала аналогичный показатель на других этапах, а также резко изменилось направление наклона между 1-м и 2-м этапами.

Вышеприведенные результаты отчетливо отражают различные стадии подготовки очага землетрясения и позволяют, во-первых, выявить особенности формирования напряженно-деформированного состояния массива пород в течение относительно длительного периода подготовительной стадии и, во-вторых, четко определить начало заключительной стадии подготовки – недельного интервала, предшествующего землетрясению.

Обсуждение результатов. На первом этапе подготовки сейсмодинамического события основные деформации, регистрируемые по результирующему вектору относительного наклона, были сориентированы по азимуту 210° , т.е. примерно перпендикулярно к общей структуре месторождения. К началу 2-го этапа характер деформирования резко изменился. Скорость и направление деформации и, соответственно, результирующего вектора наклона изменились и стали примерно параллельны общему простиранию месторождения с относительным по-

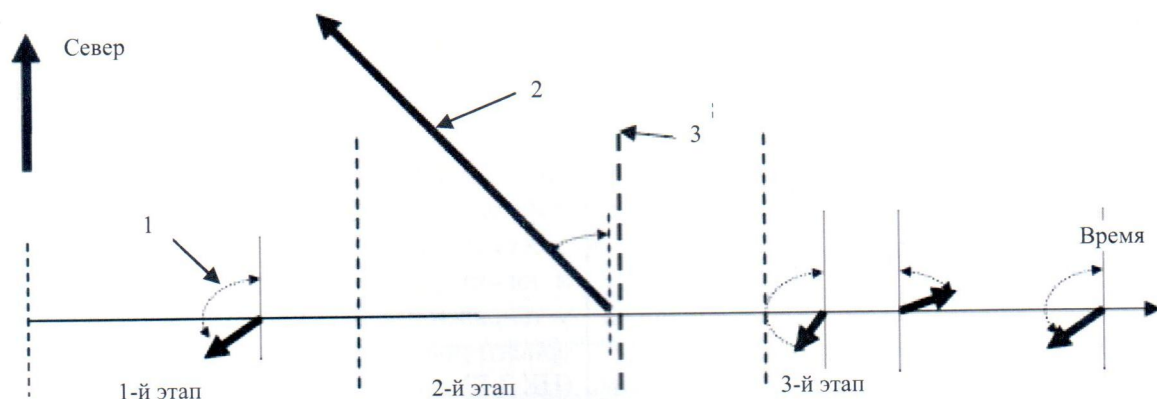


Рис.4. Изменение вектора скорости наклона участка массива горных пород в разные стадии подготовки и реализации землетрясения по данным наклономеров

грузением по азимуту 300° (см. рис.4). Такое поведение, вероятно, обусловлено неравномерностью отработки участков месторождений и разной степенью перераспределения полей напряжений.

На 3-м этапе, после реализации землетрясения, выявляется знакопеременный характер деформаций в направлении «вдоль рудного тела».

Энергетика сейсmodинамического события от 21.10.2010 г. ($7 \cdot 10^9$ Дж) и расчетные размеры разрывного нарушения (сотни метров – километр) определяют весьма значительные масштабы геомеханического пространства, вовлеченного в процессы подготовки землетрясения. Линейный размер этого участка массива пород составлял не менее нескольких километров по каждой оси измерения. Об этом также свидетельствует уверенная регистрация форшоковых и афтершоковых деформаций на полигоне, удаленном от гипоцентра на расстояние более 1 км.

Выводы

1. Результаты наблюдений деформаций и наклонов дают объективную картину изменения напряженно-деформированного состояния массива пород, хорошо согласующуюся с общими данными о его блочной структуре.

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

3. Есть основания предполагать, что организация сети деформационно-наклономерных станций в сочетании с другими методами контроля в пределах геоструктурных блоков, формирующих шахтное поле рудника, может обеспечить возможность про-

гнозирования опасных геодинамических явлений при эксплуатации горно-рудных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асминг В.Э. Уточнение и проверка скоростной модели распространения сейсмических волн на Кольском полуострове и севере Скандинавии / В.Э.Асминг, С.В.Баранов, И.А.Кузьмин // Север 2003: проблемы и решения / Под ред. В.Т.Калинникова. Апатиты: КНЦ РАН, 2004. С.109-118.

2. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 262 с.

3. Саамский разлом (Хибины) – аномальный характер современных деформаций / А.А.Козырев, Э.В.Каспарьян, Д.В.Жиров, Ю.Г.Смагина // Вестник МГТУ. 2009. Т.12. № 4. С.702-707.

4. Сейсмичность при горных работах / Под ред. Н.Н.Мельникова. Апатиты: КНЦ РАН. 2002. 325 с.

5. Шаров Н.В. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы: Кн.1. Землетрясения / Н.В.Шаров, А.А.Маловичко, Ю.К.Щукин. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 381 с.

6. Dobrovolsky I.R. Estimation of the size of earthquake preparation zones / I.R.Dobrovolsky, S.I.Zubkov, V.I.Myachkin // Pageoph. 1979. N 117. P.1025-1044.

REFERENCES

1. Asming V.E., Baranov S.V., Kuz'min I.A. The Specification and Control over Seismic Wave Distribution Velocity Model in the Kola Peninsula and the North of Scandinavia // Proceedings Sever 2003: challenges and solutions / Edited by V.T.Kalinnikov. Apatity: KSC RAS, 2004. P.109-118.

2. Kasakhara K. The Earthquakes Mechanics. Moscow: Mir, 1985. 262 p.

3. Kozыrev A.A., Kasparyan E.V., Zhіrov D.V., Smagіna Yu.G. Saamsky Fault (Khibiny) – the abnormal character of the current deformations // MSTU Vestnik, 2009. Vol.12. N 4. P.702-707.

4. Seismicity in Mining Operations / Edited by N.N.Melnikov. Apatity: KSC RAS Publishing. 2002. 325 p.

5. Sharov N.V., Malovichko A.A., Schukin Yu.K. The Earthquakes and Microseismicity in the Tasks of Modern Geodynamics of the East European Platform: Book 1. The Earthquakes. Petrozavodsk: Karelian SC RAS, 2007. 381 p.

6. Dobrovolsky I.R., Zubkov S.I., Myachkin V.I. Estimation of the size of earthquake preparation zones // Pageoph. 1979. N 117. P.1025-1044.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ УНИВЕРСИТЕТ «ГОРНЫЙ»

Том 199
Издаются
с 1907 г.

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ, ГЕОТЕХНОЛОГИИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Редакционный совет:

В.С.ЛИТВИНЕНКО, д-р техн. наук, профессор
(председатель)
Р.И.ВЯХИРЕВ, д-р экон. наук
А.Н.ДМИТРИЕВСКИЙ, д-р геол.-минерал. наук,
профессор, академик РАН
Н.П.ЛАВЕРОВ, д-р геол.-минерал. наук,
профессор, академик РАН
Н.В.ПАШКЕВИЧ, д-р экон. наук, профессор
Д.В.РУНДКВИСТ, д-р геол.-минерал. наук,
профессор, академик РАН
Х.М.СОВМЕН, канд. экон. наук
В.Е.СОМОВ, д-р экон. наук
К.Н.ТРУБЕЦКОЙ, д-р техн. наук,
профессор, академик РАН

Адрес редакции: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

Главный редактор В.С.ЛИТВИНЕНКО,
д-р техн. наук, профессор

Редколлегия тома:

В.Л.ТРУШКО, д-р техн. наук, профессор
(председатель)
А.Г.ПРОТОСЕНЯ, д-р техн. наук, профессор
В.П.ЗУБОВ, д-р техн. наук, профессор
В.Н.ГУСЕВ, д-р техн. наук, профессор
А.Н.ШАБАРОВ, д-р техн. наук, профессор
М.Г.МУСТАФИН, д-р техн. наук, профессор

Редакция:

Л.С.Лебедев (начальник РИЦ),
Е.С.Дрибинская, Л.А.Левина, И.В.Неверова,
Н.И.Сочивко

Тел. (812) 328-8430; факс (812) 327-7359
E-mail: rectorat@spmi.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2012