

УДК 622.831.232

Э.В. Каспарьян, Ю.В. Федотова

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ПОРОД ХИБИНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЗАДАЧИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ*

Изложена гипотеза формирования гравитационно-тектонического поля напряженный массива пород Хибинских месторождений за счет постоянного притока энергии из недр Земли по активным разломам. Приведены данные инструментальных измерений перемещений в теле Саамского разлома за период более 15 лет.

Предложено уточнение задач геомеханического районирования массива пород месторождений и обоснование методов снижения удароопасности при проведении горных работ.

Ключевые слова: удароопасность, массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, геомеханических процессы, безопасность ведения горных работ.

Геомеханическое состояние массивов горных пород в общем случае определяется объемом необходимой информации относительно трех компонентов:

- структурных особенностей;
- физико-механических свойств пород, слагающих массив;
- естественного напряженного состояния.

Массив пород Хибинских месторождений апатито-нефелиновых руд изучен весьма детально, так как разработка месторождений производится с 30-х годов прошлого столетия и масштабы добычи руд чрезвычайно велики.

К началу 2000-х годов был выполнен огромный объем исследований и получена детальная информация по всем указанным компонентам. В частности, вопросы генезиса и тектоники массива обобщены в основополагающей работе [1], детальное изучение структурных неоднородностей массивов отдельных месторождений вы-

полнено Ф.М. Онохиным [2], физико-механические свойства на высшем структурном уровне (на уровне образцов) исследованы И.А. Турчаниновым и Р.В. Медведевым [3], особенностям естественного напряженного состояния посвящены обобщающие работы И.А. Турчанинова, Г.А. Маркова, А.А. Козырева [4].

Однако работы по изучению особенностей проявлений геомеханических процессов при разработке месторождений продолжают и в настоящее время, появляются новые данные, дополняющие предыдущие исследования, уточняются ранее сформулированные положения в соответствии с последними перспективными представлениями геомеханики. К ним относятся, в частности, представления о иерархично-блочном строении массивов горных пород [5], которые в настоящее время считаются уже общепринятыми и позволяют на новой основе подходить к решению вопросов деформирования

* Исследования выполнены в рамках гранта по приоритетному направлению деятельности РНФ «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» № 14-17-00751 (научн. рук. проф. А.А. Козырев).

и разрушения пород, устойчивости выработок, обеспечению безопасности ведения горных работ. Причем иерархично-блочные представления в полной мере справедливы для всех компонентов состояния массивов пород включая естественное напряженное состояние, которое тоже иерархично по своей природе.

Особенно большое внимание в последние годы уделяется структурным особенностям Земной коры и массивов пород. Здесь в последние 50 лет получены данные о Глобальной рифтовой системе и общей иерархии разломов, благодаря чему в тектонике получила общее признание теория плит, позволившая коренным образом изменить представления о роли крупных разломов в формировании напряженного состояния Земной коры и массивов пород.

Коренным образом изменились взгляды и на сами разломы, которые в настоящее время считают первичными элементами строения земной коры, обладающими весьма специфическим физическими свойствами и напряженным состоянием [6].

Затронутые вопросы общей тектоники и геодинамики земной коры в полной мере относятся и к массивам пород Хибинских месторождений.

По современным представлениям Хибинский массив, представляет собой многофазную герцинскую интрузию нефелиновых сиенитов, заключенную в жесткие рамы докембрийских пород. Для массива характерно конически-кольцевое строение, обусловленное развитием кольцевых и радиальных разломов (рис. 1), которое прослежено до глубин свыше 12 км [7].

Кольцевые разломы по возрасту являются более древними, чем радиальные. Они прослежены во вмещающих породах вокруг Хибинского массива, а также зафиксированы в пределах рудных полей апатитовых месторож-

дений. Ориентированы вдоль кольцевой структуры массива и имеют направление падения к центру массива под более крутыми углами (40–700), чем падение апатито-нефелиновых залежей.

Радиальные разломы разбивают весь Хибинский массив на блоки, размерами по дуге обычно до 10 км. Разломы фиксируются в рельефе местности радиальными долинами. К их особенностям относятся большая мощность (от 100–150 м до 2,0–3,5 км), крутые углы падения, значительная степень деформации пород, многоэтапность развития. Породы внутри зон имеют глыбовое строение, по системам трещин глыбы испытывают неравномерные движения с относительной амплитудой от нескольких метров до сотен метров. Амплитуды движений нарастают от краевых зон разломов к центру.

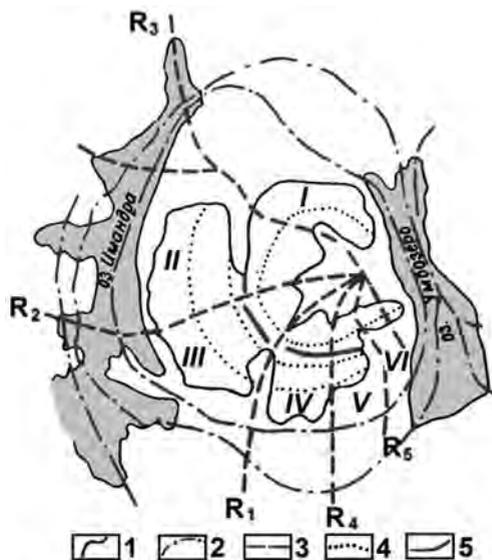


Рис. 1. Схема тектонических разломов Хибинского массива: 1 – границы массивов; 2 – кольцевые разломы; 3 – радиальные разломы; 4 – границы породных комплексов; 5 – рудные тела. I...VI – номера структурных зон, образуемых кольцевыми и радиальными разломами

Вдоль поверхностей радиальных разломов произошло разнонаправленное движение блоков, т.е. одни из них опустились, а другие поднялись или остались на месте.

Внутри выделенных блоков выделяется еще более высокий порядок структурной неоднородности, представленный жилами (дайками), а также мощными окисленными зонами шпреуштейнизации. Зоны шпреуштейнизации имеют крутое падение (60–90°), азимут простирания – 55–70°, расстояние между ними составляет 200–300 м, мощность от 0,5 м до 20 м. Породы в них раздроблены и изменены вторичными процессами до глинистого состояния, обводнены.

Еще более высокий порядок структурной неоднородности (блочности) массива определяется четырьмя крутопадающими системами крупноблоковых трещин, ограничивающих структурные блоки с линейными размерами до двух десятков метров и площадью в плане до 200 м². Кроме систем крупноблоковых трещин в горных выработках фиксируются и мелкоблоковые, которые, в свою очередь, разделяют горный массив на еще более мелкие структурные единицы. По пространственной ориентировке параметры элементов залегания мелкоблоковых трещин такие же, что и у крупноблоковых трещин. Они различаются лишь длиной, шириной трещин и расстоянием между ними.

Таким образом, Хибинский массив сложен блоками с размерами в поперечнике до десятков километров и дополнительно осложнен крупноблоковой и мелкоблоковой трещиноватостью различной интенсивности. Степень раздробленности массива и направление систем трещин предопределены полем палеонапряжений на момент формирования разломов и трещиноватости и обуславливают уровень современных напряжений в массиве.

Инструментальные исследования напряженного состояния массива пород, начатые в рудниках Хибинского массива в 70-х годах прошлого столетия практически сразу же показали наличие интенсивных горизонтальных напряжений, в значительной мере (от 3 до 20 раз) превышающих величины напряжений, которые могут быть обусловлены действием веса налегающих пород [8]. Подобные явления были отмечены и во многих районах мира [9]. Избыточные горизонтальные напряжения получили название тектонических напряжений, и в результате на смену представлений о гравитационной природе напряженного состояния массивов пород пришли представления о более общем виде полей напряжений – гравитационно-тектоническом. В настоящее время гравитационно-тектонические поля напряжений массивов пород являются общепризнанными, при этом действие только гравитационных полей, характерных для многих массивов, являются частными случаями.

Практически сразу же за первыми результатами инструментальных измерений параметров гравитационно-тектонических полей были предложены различные гипотезы происхождения тектонических компонентов полей напряжений общего вида. Из этих гипотез наиболее обоснованной и не противоречащей имеющейся геологической и тектонической информации являлась гипотеза, по которой избыточные напряжения связываются с тектоническими процессами поднятия блоков земной коры и экзогенными процессами денудационного среза поднимающихся блоков [10]. Эта гипотеза вполне логично связывается с основными положениями теории плит, сформулированными несколько позже [11]. Применение этой гипотезы позволило удовлетворительно объяснить специфические особенности

деформирования и разрушения пород в горных выработках и прогнозировать грозные проявления горного давления типа горных ударов и техногенных землетрясений.

Вместе с тем эта гипотеза не дает объяснения некоторым особенностям гравитационно-тектонических полей напряжений массивов пород. В первую очередь это относится к узкой направленности компонентов полей напряжений – одностороннему действию максимальных по величине напряжений и резкому различию компонентов напряжений в горизонтальной плоскости. Вообще на прошедшем этапе исследований гравитационно-тектонических полей исследователи основное внимание уделяли определению величины максимальной компоненты поля напряжений и направлению ее действия по отношению к элементам залегания тел полезных ископаемых.

С этой точки зрения последние данные о роли разломов в общей истории формирования земной коры и массивов пород позволяют подойти к объяснению указанных особенностей, если предположить, что подпитка напряженности массивов пород внутренней тектонической энергией производится постоянно (в течение геологических периодов времени) и происходит, главным образом, по внутренним частям разломов, которые в рассматриваемый период времени являются активными.

Необходимо отметить, что это предположение не является абсолютно новым, к нему, практически, вплотную подходили многие исследователи.

Так Ф.А. Летников в работе [12] пишет: «...зона глубинного разлома... уникальная геологическая структура, в которой во внутриразломном пространстве происходит поглощение и трансформация подводимой извне механической энергии.».

Другой исследователь, Ю.Л. Ребецкий в работе [13] указывает: «...в гравитационном поле особые свойства тела разлома... могут приводить к выдавливанию (пониженная эффективная плотность и повышенная деформируемость) геосреды тела вверх по разрезу.

... в результате такого поднятия породного материала происходит перенос вверх по разрезу остаточных сжимающих горизонтальных напряжений, созданных в процессе уравнивания воздействия от веса колонки пород. Эти остаточные напряжения могут привести к горизонтальному раздвиганию бортов разлома и формированию в нем дополнительных деформаций горизонтального растяжения.»

Далее Ю.Л. Ребецкий отмечает, что указанные явления могут приводить к импульсным знакопеременным вертикальным движениям непосредственно над разломом, которые фиксируются наземными высокоточными геодезическими измерениями [14].

Развивая эти мысли, можно прийти к заключению, что силы поднятия в теле разлома неизбежно должны уравновеситься весом определенного объема пород в теле того же разлома, и тогда наступит состояние равновесия, при котором возникают силы давления на борта разлома. Повидимому, такое состояние может сохраняться в течение длительных (геологических) периодов.

В свою очередь силы давления на борта разлома будут вызывать в структурных блоках, разделяемых разломом, избыточные напряжения, нормальные к плоскости разлома. Таким образом, направление избыточных напряжений будет определяться ориентацией разлома в пространстве. Если падение активного разлома приближается к вертикальному (а таких разломов – большинство), избыточные

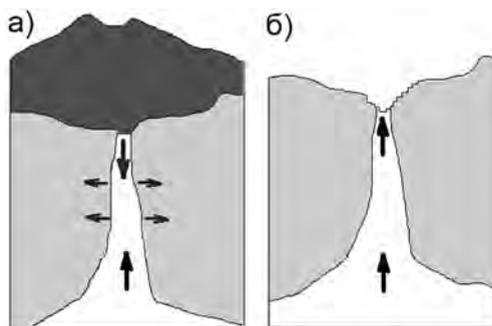


Рис. 2. Схема поднятий тела разлома при уравнивании сил поднятия гравитационными силами (а) и при отсутствии противодействующих гравитационных сил (б)

напряжения будут приблизительно горизонтальны и действовать только в направлении вкрест простирания разлома (рис. 2, а). В направлении простирания разлома избыточные напряжения проявляться не будут.

С точки зрения генезиса массива и времени образования в условиях Хибинских месторождений, по-видимому, наиболее активными разломами являются радиальные, а потому и направление избыточных (тектонических) напряжений здесь преимущественно горизонтальное, в направлении простирания рудных тел.

Подтверждением высказанного предположения об образовании избыточных напряжений в массивах пород являются результаты многочисленных натурных и лабораторных исследований особенностей напряженного состояния вблизи тектонических нарушений, выполненных в последние годы [14, 15; 16, 17].

Из данных, приведенных в этих работах, следует, что в крыльях разломных структур существуют локальные зоны концентрации напряжений, в которых величина напряжения может на порядок превышать напряжения, измеренные за пределами этих зон. Параметры и конфигурация этих

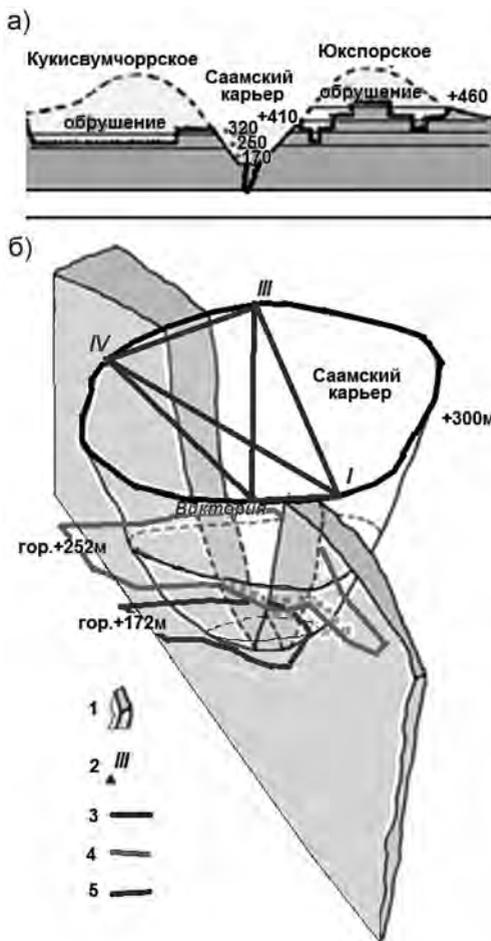


Рис. 3. Общая схема расположения Саамского карьера (а) и нивелирных и светодальномерных полигонов (б) (ОКР, АО «Апатит»): 1 – Саамский разлом; 2 – пункты наземного светодальномерного полигона в Саамском карьере; 3 – пункты подземных нивелирных полигонов непосредственно в районе Саамского разлома; 4 – пункты подземного светодальномерного полигона на гор.+252 м; 5 – линии измерений перемещений. Показаны только пункты, расположенные непосредственно в зоне Саамского разлома

зон определяются морфологией тектонических нарушений, при этом наиболее распространено асимметричное распределение двух различных локальных зон повышенных напряжений [14].

В лежащем крыле зона максимальных напряжений непосредственно примыкает к борту нарушения, а в висячем крыле она удалена от борта на некоторое расстояние, поскольку здесь в большей степени сказывается влияние вертикальной компоненты гравитационного поля.

Если же по каким-либо причинам влияние гравитационных сил на тело разлома исчезает (например, в результате процессов денудации, таяния ледников или ведения горных работ), то материал разлома получает возможность перемещаться вверх, а окружающие структурные блоки разгружаются от избыточных напряжений (рис. 2, б).

Именно такая ситуация возникла на Объединенном Кировском руднике (ОКР) АО «Апатит», когда в результате ведения горных работ в Саамском карьере приповерхностная часть (около 100 м) крупной геологической структуры – Саамского разлома, была снята (рис. 3).

Как следует из рис. 3, Саамский карьер пересечен одноименным вертикальным разломом, который является радиальным по отношению к массиву и простирается вкрест общей структуры месторождения. Он представляет собой неоднородную зону дробления, катаклаза и милонитизации мощностью от 1 до 136 м, внутри которой находятся многочисленные блоки, линзы и грубообломочные фрагменты окисленных (шпреуштейнезированных) вмещающих горных пород. По падению разлом прослежен в карьере и в подземных выработках ОКР более чем на 300 м.

По результатам многолетних наблюдений (более 15 лет) выявлено устойчивое поднятие внутренней зоны разлома по отношению к вмещающему массиву пород при незначительных знакопеременных флуктуациях. На рис. 4 в качестве примера показаны смещения реперов нивелирного полигона на гор. +252 м.

Следует отметить, что вертикальные смещения реперов и соответ-

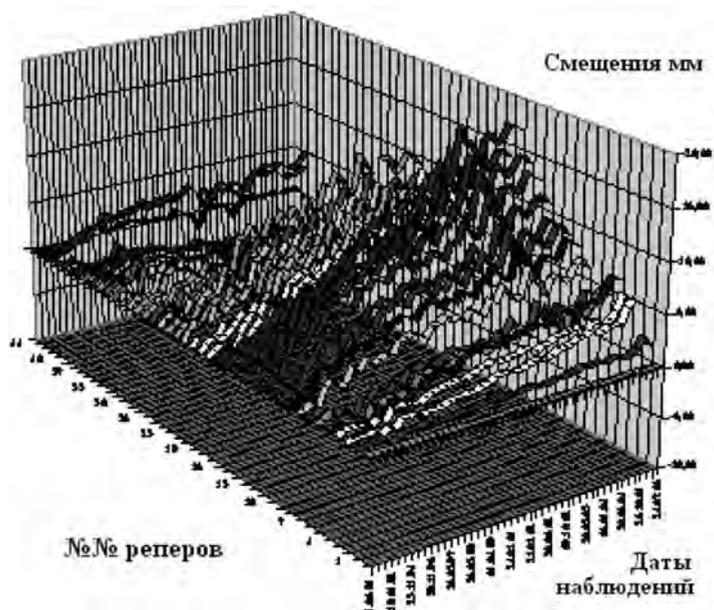


Рис. 4. Графики смещений реперов нивелирного полигона ОКР АО «Апатит» от базисного цикла на гор. +252 м

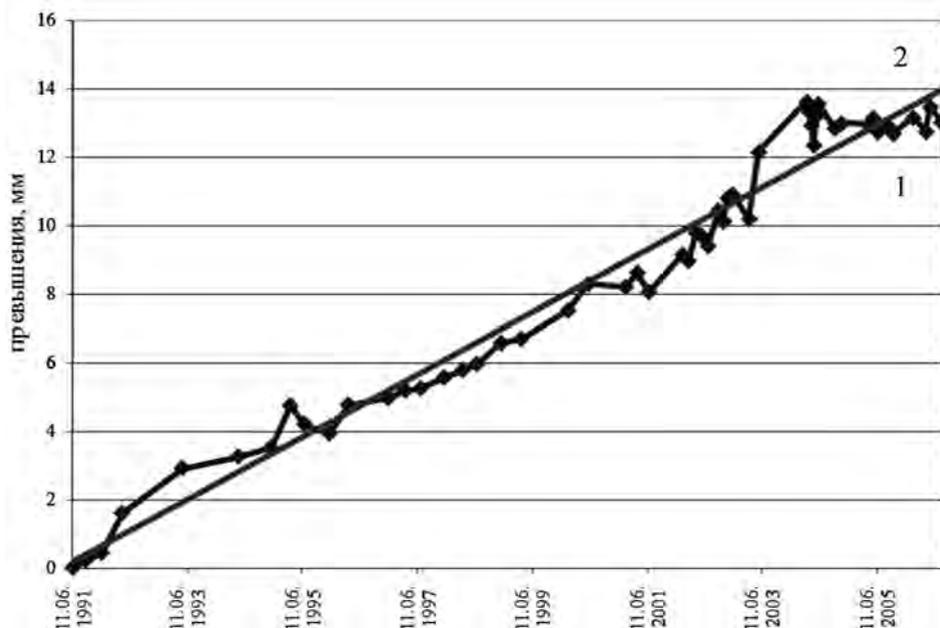


Рис. 5. Изменения превышений наиболее активного репера № 15 (в теле разлома) по отношению к реперу № 7 (в массиве вмещающих пород). Восточная ветвь нивелирного полигона ОКР АО «Апатит»: 1 – значения превышений по результатам нивелирования в отдельных циклах наблюдений; 2 – средняя линия, построенная по принципу наименьших квадратов отклонений

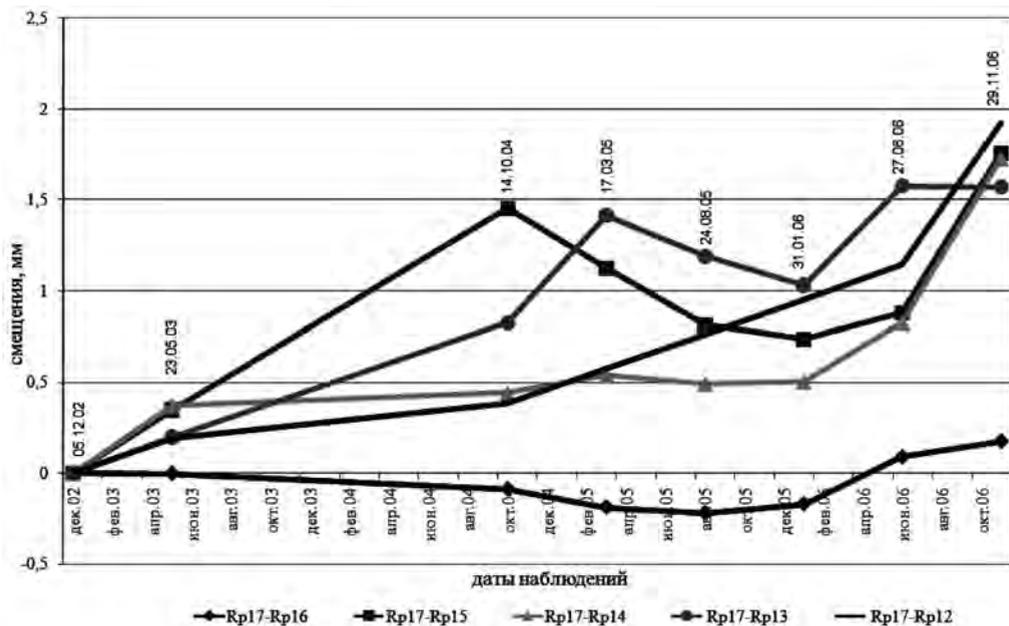


Рис. 6. Горизонтальные смещения реперов от базисного цикла на подземном светодальномерном полигоне гор. +252 м (ОКР АО «Апатит»)

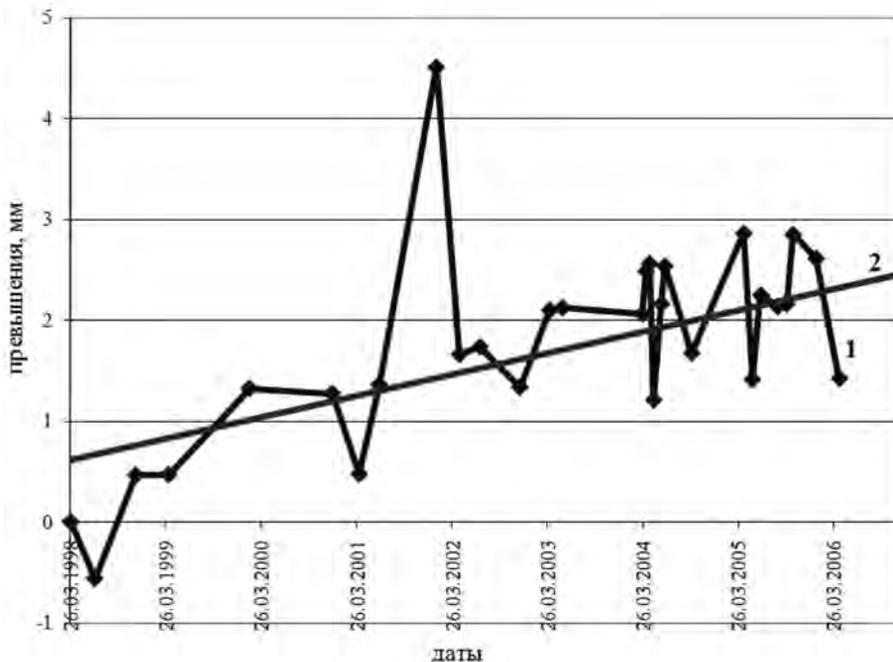


Рис. 7. Изменения превышений между реперами подземного нивелирного полигона в районе Саамского разлома на гор.+172 м ОКР АО «Апатит» за период 1998–2006 гг.: 1 – значения превышений по результатам нивелирования в отдельных циклах наблюдений; 2 – средняя линия, построенная по принципу наименьших квадратов отклонений

ственно скорость поднятий увеличиваются по мере приближения к зоне разлома. При этом максимальные значения дифференцированных смещений отмечены в центральной зоне разлома и зоне массива пород, непосредственно примыкающей к крыльям разлома.

Накопленное за период наблюдений (1991–2006) относительное вертикальное перемещение внутренней части разлома на гор. +252 м составило +8 мм для западного участка профиля (вкрест разлома) и около +14 мм для восточного (рис. 5).

По этим результатам впервые удалось определить кинематические параметры перемещений в зоне Саамского разлома, в частности, скорости смещений (поднятий) материала-заполнения оказались весьма стабильными и равными соответственно для восточной

и западной ветвей полигона 0,04 и 0,06 мм/мес. или 0,48 и 0,72 мм/год.

В то же время светодальномерные измерения не выявили сколь-либо существенных смещений закономерного характера между реперами в горизонтальном направлении (рис. 6).

Поднятия материала-заполнения разлома зафиксированы и на полигоне гор. +172 м (рис. 7).

Здесь скорости поднятий также достаточно стабильны и составляют 0,02 мм/мес. или 0,24 мм/год. Меньшая величина скорости может быть обусловлена большей глубиной расположения полигона и, как следствие, большим влиянием веса пород разлома.

Если высказанное предположение о роли активных разломов в формировании естественного гравитационно-тектонического поля напряжений массивов пород принимать во внимание, то

при осуществлении геодинамического районирования массивов пород месторождений полезных ископаемых, являющегося в настоящее время обязательным [18] необходимо особое внимание уделять решению следующих задач:

1. Детально исследовать структурные неоднородности рассматриваемого месторождения с целью выделения активных региональных разломов.

2. В пределах структурных блоков регионального уровня выполнять инструментальные определения параметров естественного напряженного состояния массива пород с одновременным уточнением показателей физико-механических свойств пород, слагающих исследуемый массив.

3. На основании обобщения полученных данных выполнять геодинамическое районирование исследуемого массива с выделением геомеханических участков месторождения, достаточно однородных с точки зрения структурных неоднородностей, физико-механических свойств пород и естественного напряженного состояния.

Важность этих задач определяется необходимостью выделения прогнозных границ тектонически напряженных и геодинамически опасных зон и уточнения горно-геодинамической модели месторождения.

Высказанное предположение о роли активных разломов в форми-

ровании естественного гравитационно-тектонического поля напряжений массивов пород позволяет также сформулировать новую стратегию и тактику решения проблемы обеспечения безопасности ведения горных работ в условиях высоконапряженных массивов пород и угрозы динамических проявлений горного давления. В частности, перейти от пассивного и малоактивного «приспособления» к условиям высокой напряженности пород (выбор оптимальных сечений и ориентации выработок, обоснование оптимального порядка отработки месторождений, выполнение локальных антиударных мероприятий и пр.) к весьма активным методам снятия высокой напряженности пород на региональном уровне (в пределах обширных участков месторождений – одного или группы очистных блоков или в целом горизонта).

Например, это может быть достигнуто путем превентивного создания искусственных разуплотненных зон (разгрузочных зон) в пределах активных разломов еще до развития горных работ и, таким образом, перевода значительных участков массива в неудароопасное состояние с существенной экономией средств на антиударные мероприятия при обеспечении необходимого уровня безопасности ведения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов Г.И., Бельков И.В., Макиевский С.И. и др. Минеральные месторождения Кольского полуострова. – Л.: Наука, 1981. – 272 с.

2. Онохин Ф.М. Особенности структуры Хибинского массива и апатито-нефелиновых месторождений. – Л.: Наука, 1975. – 106 с.

3. Турчанинов И.А., Воларович М.П., Бондаренко А.Т., Ковалева Г.А., Медведев Р.В., Томашевская И.С., Тюремнов В.А. Атлас физических свойств минералов и по-

род Хибинских месторождений. – Л.: Наука, 1975. – 71 с.

4. Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.И., Козырев А.А. Тектонические напряжения и устойчивость горных выработок. – Л.: Наука, 1978, 256 с.

5. Саловский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука, 1987. – 99 с.

6. Ребецкий Ю.Л. Разлом – особое геофизическое тело в земной коре / Тектоно-

физика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Т.2. – М.: ИФЗ, 2008. – С. 123–131.

7. Арзамасцев А.А., Арзамасцева Л.В., Глазнев В.Н. и др. Глубинное строение и состав нижних горизонтов Хибинского и Ловозерского комплексов, Кольский п-ов: петролого-геофизическая модель // Петрология. 1998. – Т. 6. № 5. – С. 478–496.

8. Турчанинов И.А., Марков Г.А. Влияние новейшей тектоники на напряженное состояние пород в Хибинских апатитовых рудниках // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1966. – № 8. – С. 8–86.

9. Hast N. The state of stresses in the upper part of the Earth's crust: a reply. – Engng. Geol., 1969, 3, № 4.

10. Марков Г.А. О модели формирования избыточных горизонтальных напряжений в горных породах под влиянием восходящих движений земной коры / Природа и методология определения тектонических напряжений в верхней части земной коры. – Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1982. – С. 59–81.

11. Кокс А., Харт Р. Тектоника плит: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 427 с.

12. Летников Ф.А. Синергетика процессов в зонах глубинных разломов / Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лабора-

тории тектонофизики в ИФЗ РАН. Т.2. – М.: ИФЗ, 2008. – С. 63–70.

13. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 262 с.

14. Аксенов А.А., Потехин Р.П., Ломакин В.С., Шабаров А.Н. Методические рекомендации и наказы по повышению безопасности ведения горных работ в удароопасных условиях у тектонических нарушений на шахтах СУБРа. – Североуральск, 1994. – 82 с.

15. Шабаров А.Н. О формировании геодинамических зон, опасных по горно-тектоническим ударам // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 2. – С. 16–27.

16. Ватолин Е.С., Черняков А.Б., Рубан А.Д., Потапов А.М. Методы и средства контроля состояния и свойств горных пород в массиве. – М.: Недра, 1989. – С. 173.

17. Вылегжанин В.Н., Егоров П.В., Мурашев В.И. Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1990. – 295 с.

18. Геодинамическое районирование недр: Методические указания. (М-во угольной пром-ти СССР. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела, Кузбасский политехнический ин-т). – Л., 1990. **ГИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каспарьян Эдуард Варужанович – доктор технических наук,

ведущий научный сотрудник, e-mail: kasp@goi.kolasc.net.ru,

Федотова Юлия Викторовна – кандидат технических наук,

старший научный сотрудник, e-mail: fjulia@mail.ru,

¹ Горный институт Кольского научного центра РАН.

UDC 622.831.232

STRESS-STRAIN STATE IN ROCK MASS OF THE Khibiny DEPOSITS AND TASKS OF GEOMECHANICAL ZONING

Kasparyan E.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher.

Fedotova Yu.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,

¹ Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia.

The paper presents a hypothesis on forming gravity-tectonic stress field in rock mass of the Khibiny deposits due to continuous energy inflow from the Earth's Interior through active faults. The data are given on instrumental measurements of movements in the Saamskii fault body for more than 15 years.

The paper proposes to specify the tasks of geomechanical zoning of the deposits' rock mass and substantiate the methods of reducing rockburst hazard during mining operations.

Key words: bump hazard, rock mass, stress-strain state, geomechanical processes, the safety of mining operations.

ACKNOWLEDGEMENTS

The studies have been supported by the Russian Science Foundation, priority research program «Basic and exploratory research by individual scientific teams», grant no. 14-17-00751 (Research Manager Prof A.A. Kozyrev).

REFERENCES

1. Gorbunov G.I., Bel'kov I.V., Makievskii S.I. *Mineral'nye mestorozhdeniya Kol'skogo poluostrova* (Mineral deposits of the Kola Peninsula), Leningrad, Nauka, 1981, 272 p.
2. Onokhin F.M. *Osobennosti struktury Khibinskogo massiva i apatito-nefelinovykh mestorozhdenii* (Particularities of structure of the Khibiny rock massif and apatite-nepheline deposits), Leningrad, Nauka, 1975, 106 p.
3. Turchaninov I.A., Volarovich M.P., Bondarenko A.T., Kovaleva G.A., Medvedev R.V., Tomashevskaya I.S., Tyuremnov V.A. *Atlas fizicheskikh svoystv mineralov i porod Khibinskikh mestorozhdenii* (Atlas of physical properties of minerals and rocks in the Khibiny deposits), Leningrad, Nauka, 1975, 71 p.
4. Turchaninov I.A., Markov G.A., Ivanov V.I., Kozyrev A.A. *Tektonicheskie napryazheniya i ustoychivost' gornyykh vyrabotok* (Tectonic stresses and stability of mining excavations), Leningrad, Nauka, 1978, 256 p.
5. Sadovskii M.A., Bolkhovitinov L.G., Pisarenko V.F. *Deformirovanie geofizicheskoi sredy i seismicheskii protsess* (Deformation of geophysical medium and seismic process), Moscow, Nauka, 1987, 99 p.
6. Rebetskii Yu.L. *Tektonofizika i aktual'nye voprosy nauk o Zemle. K 40-letiyu sozdaniya M.V. Gzovskim laboratorii tektonofiziki v IFZ RAN. T. 2* (Fault – a special geophysical body in the Earth crust. Proceedings “Tectonics and actual questions of the geosciences” published to 40th anniversary of laboratory of tectonophysics in IPE RAS, vol. 2), Moscow, IFZ, 2008, pp. 123–131.
7. Arzamastsev A.A., Arzamastseva L.V., Glaznev V.N. *Petrologiya*. 1998, vol. 6, no 5, pp. 478–496.
8. Turchaninov I.A., Markov G.A. *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli*. 1966, no 8, pp. 8–86.
9. Hast N. The state of stresses in the upper part of the Earth's crust: a reply. *Engineering Geology*, 1969, no 4, p. 3.
10. Markov G.A. *Priroda i metodologiya opredeleniya tektonicheskikh napryazhenii v verkhnei chasti zemnoi kory* (Concerning a model of formation of excessive horizontal stresses in rocks under influence of rising movements of the Earth's crust. Proceedings “Nature and methodology of identification of rising stresses in the upper part of the Earth's crust”), Apatity, Izd. KF AN SSSR, 1982, pp. 59–81.
11. Koks A., Khart R. *Tektonika plit: Per. s angl* (Plate tectonics: English–Russian translation), Moscow, Mir, 1989, 427 p.
12. Letnikov F.A. *Tektonofizika i aktual'nye voprosy nauk o Zemle. K 40-letiyu sozdaniya M.V. Gzovskim laboratorii tektonofiziki v IFZ RAN. T. 2* (Synergy of processes in the zones of deep faults. Proceedings “Tectonophysics and actual issues of geosciences”. published to 40th anniversary of laboratory of tectonophysics in IPE RAS, vol. 2), Moscow, IFZ, 2008, pp. 63–70.
13. Kuz'min Yu.O., Zhukov V.S. *Sovremennaya geodinamika i variatsii fizicheskikh svoystv gornyykh porod* (Modern geodynamics and variations of physical properties of rocks), Moscow, Izd-vo MGGU, 2004, 262 p.
14. Aksenov A.A., Potekhin R.P., Lomakin V.S., Shabarov A.N. *Metodicheskie rekomendatsii i nakazy po povysheniyu bezopasnosti vedeniya gornyykh rabot v udaroopasnykh usloviyakh u tektonicheskikh narushenii na shakhtakh SUBRa* (Methodical recommendations and instructions to increase mining safety under rockburst hazardous conditions in the zones of tectonic disturbances in the SUBR mines), Severoural'sk, 1994, 82 p.
15. Shabarov A.N. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2001, no 2, pp. 16–27.
16. Vatolin E.S., Chernyakov A.B., Ruban A.D., Potapov A.M. *Metody i sredstva kontrolya sostoyaniya i svoystv gornyykh porod v massive* (Methods and tools to control state and properties of rocks in tectonic massifs), Moscow, Nedra, 1989, pp. 173.
17. Vylegzhanin V.N., Egorov P.V., Murashev V.I. *Strukturnye modeli gornogo massiva v mekhanizme geomekhanicheskikh protsessov* (Structural models of rock massif in geomechanical processes), Novosibirsk, Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1990, 295 p.
18. *Geodinamicheskoe raionirovanie nedr: Metodicheskie ukazaniya* (Methodical guidelines. Geodynamic zoning of Earth's subsoil), Leningrad, 1990.

