УДК 551.2/.3 + 622.83 (470.21)

Саамский разлом (Хибины) – аномальный характер современных деформаций

А.А. Козырев[1], Э.В. Каспарьян[1], Д.В. Жиров[2], Ю.Г. Смагина[1]
[1] *Горный институт КНЦ РАН*
[2] *Геологический институт КНЦ РАН*

Аннотация. По результатам многолетней серии наблюдений в природно-техногенной системе "Хибины" выявлен аномальный характер современных дифференцированных движений в районе Саамского разлома. Показано устойчивое воздымание внутренней зоны разлома по отношению к вмещающему массиву пород при незначительных знакопеременных флуктуациях. Такой характер деформаций массива пород в районе Саамского разлома, скорее всего, вызван воздействием высоких субгоризонтальных напряжений и одновременным влиянием техногенных факторов, в частности, неравномерности отработки участков месторождений на Кировском и Юкспорском флангах рудника.

Abstract. During long-term series of instrumental observations in the natural and man-caused system "Khibiny" an abnormal character of the modern differentiated movements around the Saamsky fault has been discovered. The internal zone of the fault is stably uplifting in relation to the containing massif of rocks in conditions of the insignificant variable-polarity fluctuations. Such character of massif deformations in the Saamsky fault area is probably caused by influence of the high subhorizontal pressure and simultaneous influence of the man-caused factors. In particular it was caused by the non-uniformity of deep mining in different parts of the deposit Kukisvumchorr (Kirovsk and Yukspor mines).

Ключевые слова: разлом, напряженно-деформированное состояние, дифференцированные движения, массив пород, рудник, месторождение, карьер
Key words: fault, mode of deformation, differential movements, rock massif, deposit, mine, open-pit

1. Введение

Хибинский массив является крупнейшим щелочным массивом центрального типа в мире и одновременно с этим уникальным по запасам и качеству сырья, сырьевым источником фосфора, титана, высокоглиноземистых минералов и редких элементов. Более 75 лет эксплуатируются многочисленные апатит-нефелиновые месторождения мирового класса (по запасам 0.1-1 млрд т P_2O_5) (*Каменев*, 1989; *Пожиленко и др.*, 2002).

В результате проведения горных работ с момента начала разработок перемещено более 1.5 млрд м^3 горных пород, а сами рудники как подземные, так и карьеры, настолько сблизились между собой, что образуют практически непрерывное геомеханическое пространство на протяжении более 20 км (рис. 1).

Вся горная инфраструктура, а также обогатительные фабрики, энергетические и транспортные объекты находятся в сложном функциональном и экологическом взаимодействии между собой и окружающей природой, образуя единую крупную природно-техническую систему "Хибины". По мере развития горного производства наблюдается постоянное усиление техногенных воздействий на окружающую среду, что проявляется, прежде всего, в дифференцированных подвижках отдельных структурных блоков, повышении уровня напряженности некоторых из них, формировании на дневной поверхности больших зон обрушения, трещин отрыва, повышении общего уровня сейсмичности, реализации крупных горных и горно-тектонических ударов, возникновении техногенных землетрясений. При этом наиболее мощные динамические явления приурочены, как правило, к зонам наибольшей активности горных работ.

На наиболее проблемных участках природно-технической системы организован мониторинг современных дифференцированных движений структурных блоков с целью контроля их геомеханического состояния и прогноза динамических проявлений горного давления. На одном из таких участков – на Саамском карьере месторождения Кукисвумчорр по результатам многолетней серии наблюдений выявлен аномальный характер современных дифференцированных движений по крупной тектонической структуре – Саамскому разлому.

Саамский карьер пересечен одноименным вертикальным разломом, который является радиальным по отношению к массиву и простирается вкрест структуры месторождения. Он представляет собой неоднородную зону дробления, катаклаза и милонитизации мощностью в пределах карьера от нескольких до 136 м, внутри которой находятся многочисленные блоки, линзы и грубообломочные куски

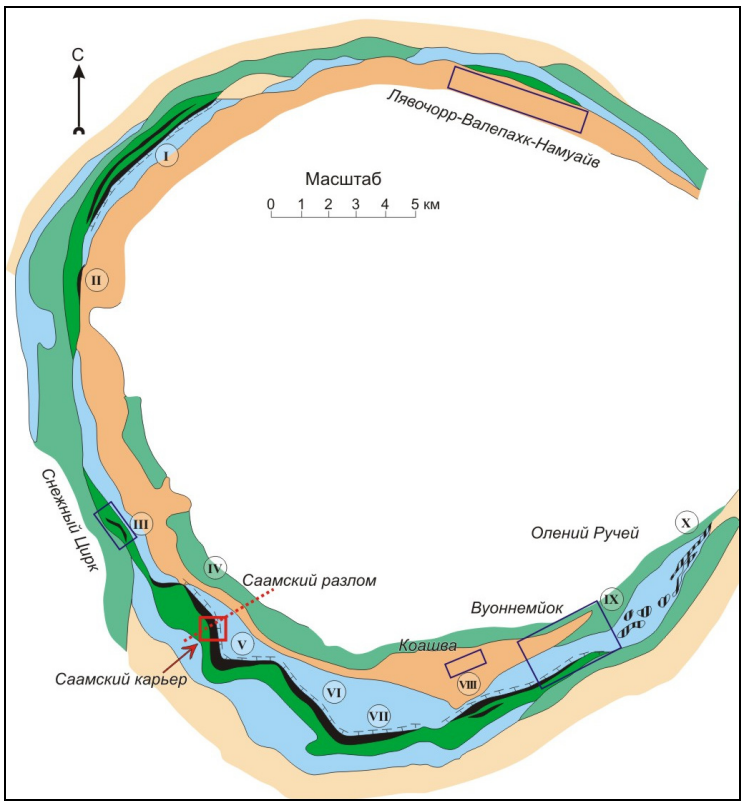

Рис. 1. Схема расположения апатито-нефелиновых месторождений

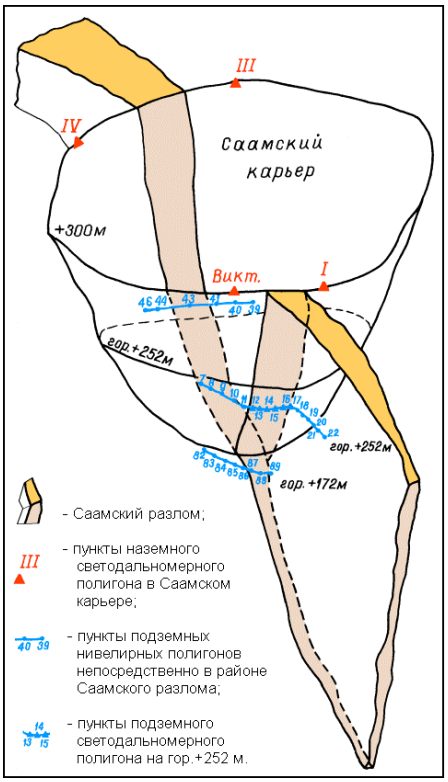

Рис. 2. Общая схема расположения нивелирных и светодальномерных полигонов в районе Саамского разлома (Кировский рудник, ОАО "Апатит")

окисленных (шпреуштейнезированных) вмещающих горных пород. По падению разлом прослежен в карьере и в подземных выработках Кировского рудника более чем на 200 м. Пликативных структур, а также явных проявлений реологии внутри зоны разлома не отмечено.

2. Методика и результаты наблюдений

В 1990 г. Горным институтом КНЦ РАН и ОАО "Апатит" в подземных выработках Кировского рудника на горизонте +252 м был заложен первый нивелирный полигон из 47 пунктов (к настоящему времени доступны 38 реперов), и с 1991 г. начаты регулярные нивелирные наблюдения. С 1998 г. начаты измерения на нивелирном полигоне гор.+172 м, состоящем из 39 пунктов. К концу 2006 года выполнено 54 цикла на гор.+252 м и 34 цикла измерений на гор.+172 м. Частота проведения наблюдений составляла от 14 до 393 дней.

Поскольку нивелирные наблюдения обеспечивают измерение перемещений только в вертикальном направлении, для получения более полной картины изменения состояния контролируемого массива пород, начиная с 1995 г., нивелирные полигоны были дополнены светодальномерным полигоном в Саамском карьере (7 циклов наблюдений по 3-5 пунктам до 2003 г.).

Кроме того, в 2003 г. на гор.+252 м непосредственно в районе Саамского разлома был заложен подземный светодальномерный полигон из 6 пунктов (15 циклов наблюдений). Выбор места заложения полигона определен по результатам нивелирных наблюдений на участке самого активного деформирования массива пород. Общая схема измерительных полигонов представлена на рис. 2.

Определение вертикальных смещений реперов выполнялось методом высокоточных повторных нивелирований, практически соответствующих наблюдениям на государственных сетях II класса. Отличия заключались в более жестких требованиях к расхождениям превышений в прямом и обратном направлениях и невозможности выполнения требования о прохождении визирного луча не ближе 1 м от поверхности выработки. Предельная величина невязки при наблюдениях принималась равной $\pm 3 \cdot \sqrt{L}$ мм (L – расстояние в км).

Обработка наблюдений нивелирных измерений заключалась в вычислении превышений реперов, которые затем обрабатывались с помощью электронных таблиц. Это позволяло выполнять весь комплекс камеральной обработки на компьютере и представлять результаты в виде ведомостей относительных отметок

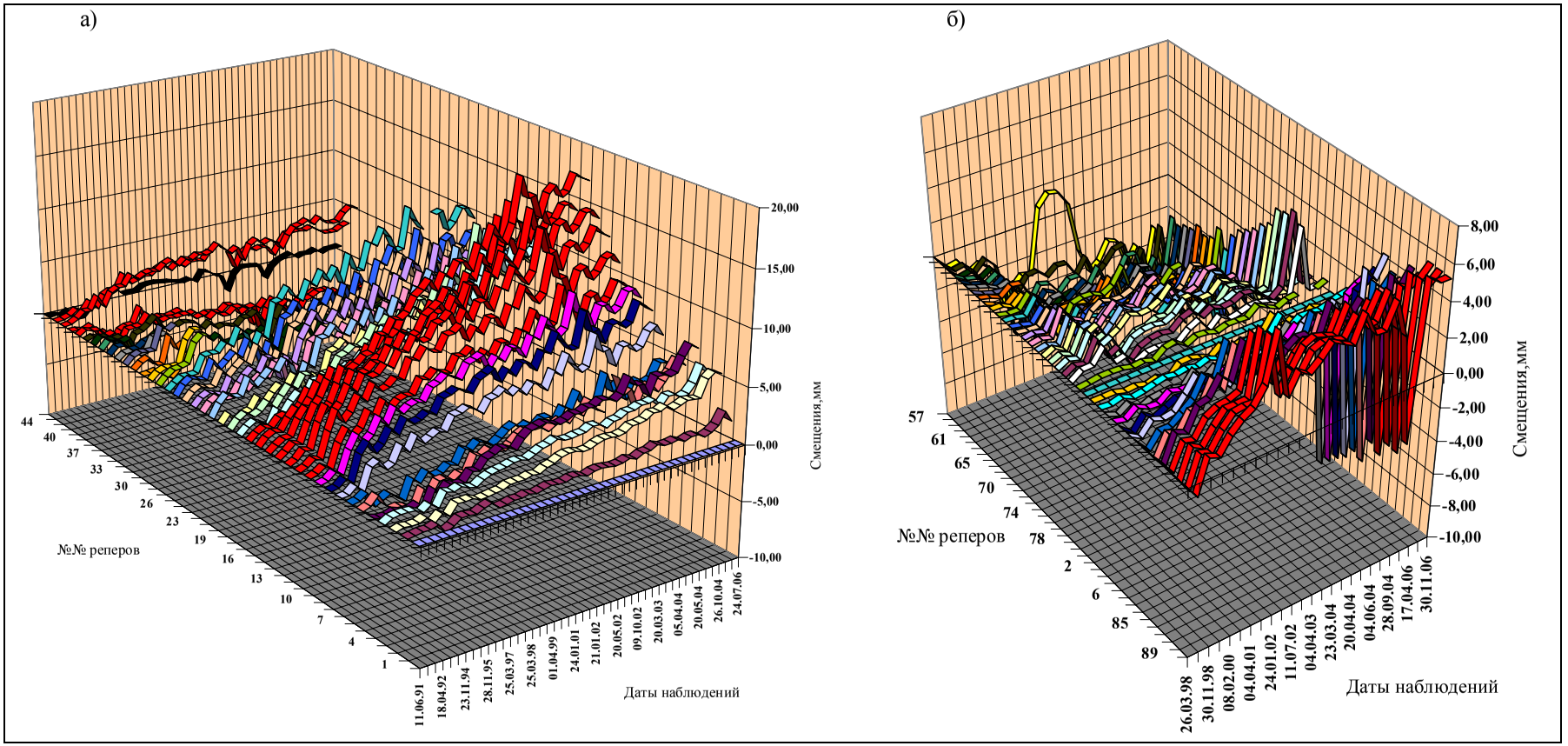

Рис. 3. Графики смещений реперов нивелирных полигонов Кировского рудника от базисного цикла:
а) гор.+252 м; б) гор.+172 м (красным цветом выделены реперы)

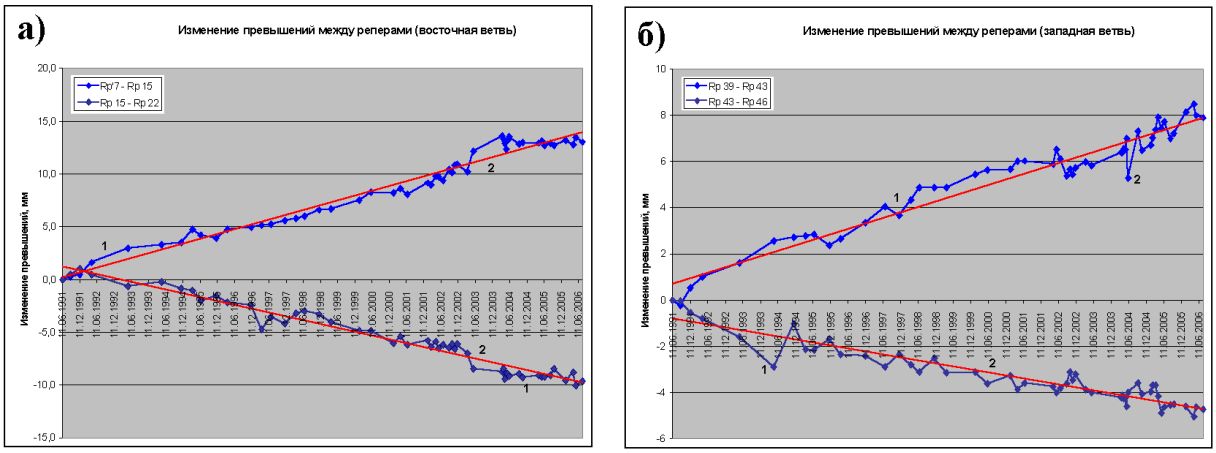

Рис. 4. Изменения превышений между реперами подземного нивелирного полигона в районе Саамского разлома на гор.+252 м Кировского рудника ОАО "Апатит" за период 1991-2006 гг.

и графиков относительных смещений реперов или их производных, например, скоростей смещений реперов по всему полигону в целом или для любого отдельно взятого репера на любой момент времени.

На светодальномерных полигонах расстояния между пунктами измерялись с помощью лазерного светодальномера "Мекометр-5000" (ME-5000) производства швейцарской фирмы "Керн", который специально предназначен для высокоточных геодезических линейных измерений в диапазоне от 20 м до 8000 м. Процесс измерения расстояний и регистрации получаемых данных полностью автоматизирован.

На основании многолетнего опыта выполнения подобных измерений в условиях различных горнорудных предприятий и сооружений (*Козырев и др.*, 2001) разработана методика высокоточных измерений длин линий, а также разработана компьютерная программа по обработке и хранению данных измерений. При этом в качестве основной методики наблюдений принято измерение каждой линии тремя приемами, состоящими из четырех отсчетов. По каждому приему осуществлялся контроль результатов измерений: если отсчеты между наибольшим и наименьшим значениями отличаются менее чем на 1 мм/км, то измерения считаются качественными. При этом на местах установки прибора и отражателя на момент проведения наблюдений фиксируются метеорологические параметры: температура, влажность воздуха и давление, которые учитываются при камеральной обработке в виде поправок в измеренное расстояние.

На дисплее прибора высвечивается измеренное расстояние в метрах с точностью до четвертого знака после запятой, относящееся к нормальной атмосфере (15ºС, 760 мм рт.ст.). Обработка результатов наблюдений заключается в вычислении поправок на реальные атмосферные условия, которые вычисляются по формуле Оуэнса, рекомендованной в инструкции к инструменту. Формула справедлива в диапазоне температур от -23ºС до +47ºС и при давлении от 0 ГПа до 4050 ГПа (3000 мм рт.ст.). Для определения поправок разработан специальный алгоритм вычисления.

В 2006 году была выполнена тарировка светодальномера на образцовом базисе ЦНИИ геодезии и картографии (г. Москва) и выведена абсолютная величина среднеквадратической погрешности наблюдений, которая находится в пределах $(+0{,}38 \text{ мм} + 0{,}68 \cdot 10^{-6} D)$, где D – измеряемое расстояние в км.

По результатам многолетних наблюдений выявлено устойчивое воздымание внутренней зоны разлома по отношению к вмещающему массиву пород при незначительных знакопеременных флуктуациях. Следует отметить, что вертикальные смещения реперов (рис. 3,4) и соответственно скорость поднятия увеличиваются по мере приближения к зоне разлома. Максимальные значения дифференцированных смещений отмечены в центральной зоне разлома и зоне массива пород, непосредственно примыкающей к крыльям разлома (*Сейсмичность…*, 2002). Показательно, что дифференциация относительных смещений наблюдается не только в поперечных сечениях, но также и продольно, вдоль разлома (рис. 5).

На фоне общей тенденции поднятий реперов в контролируемой области массива пород наблюдаются знакопеременные флуктуации смещений и их скоростей в анализируемом временном ряду, которые намного превышают погрешности измерений, что соответствует общим представлениям о закономерностях деформирования массивов скальных пород. Накопленное за период наблюдений (1991-2006 гг.) относительное вертикальное перемещение внутренней части разлома составило +8 мм для западного профиля (вкрест разлома) и более +14 мм для восточного. По этим результатам впервые удалось определить кинематические параметры Саамского разлома, в частности, скорости смещений (поднятий) материала-заполнения, которые 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.

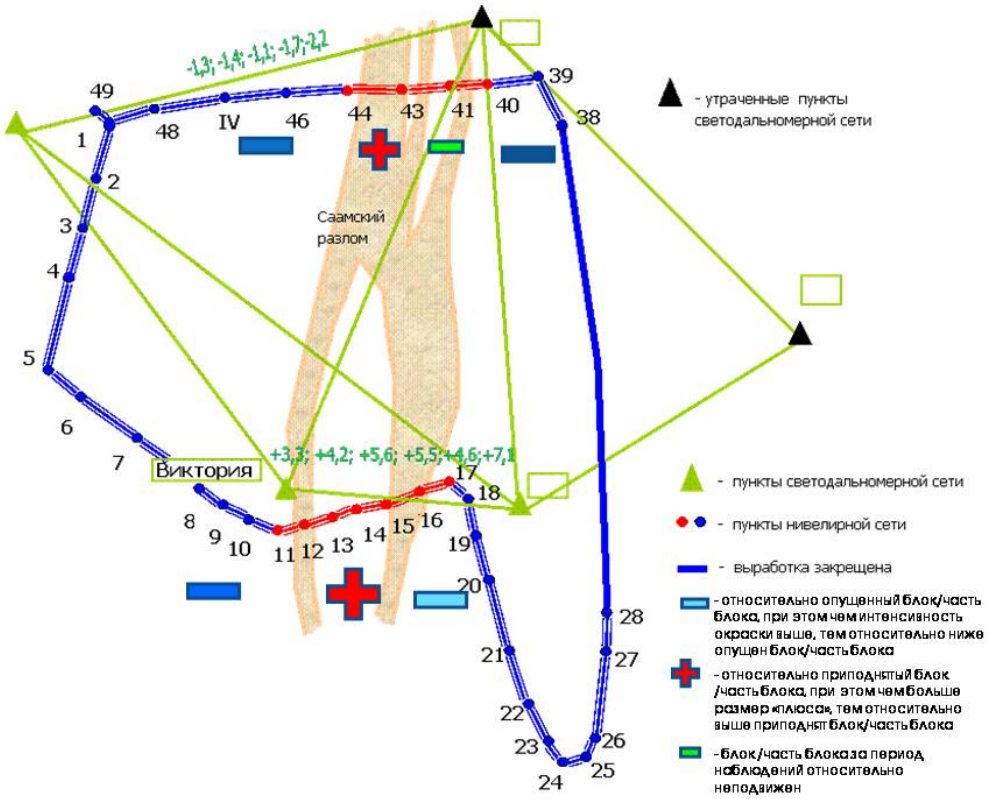

Рис. 5. Характер дифференциации относительных смещений в пределах сети наблюдений на гор.+252 м Кировского рудника ОАО "Апатит"

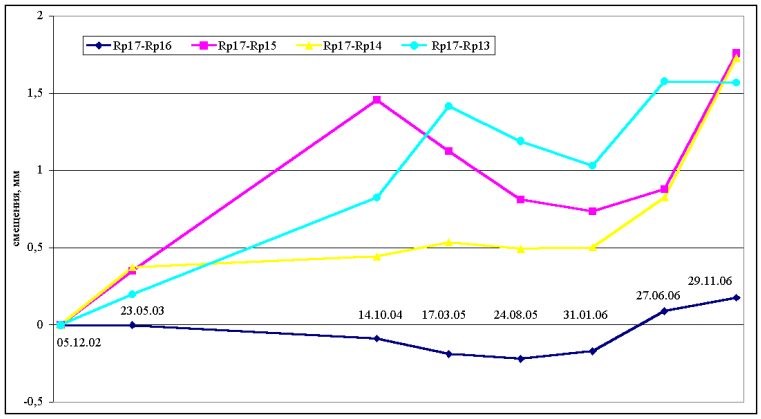

Рис. 6. Горизонтальные смещения реперов от базисного цикла на подземном светодальномерном полигоне гор.+252 м

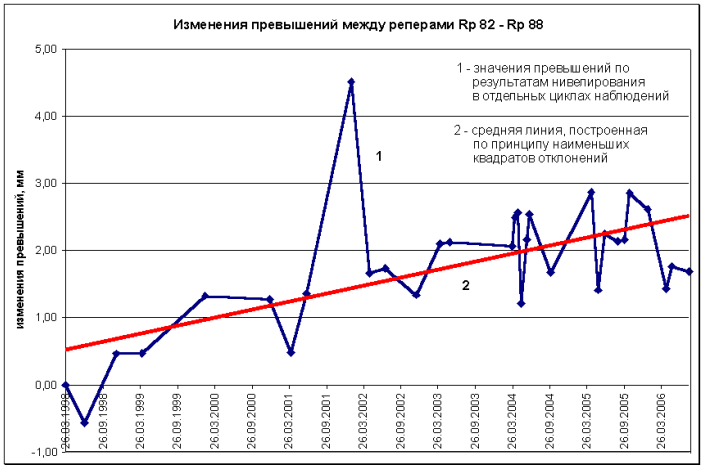

Рис. 7. Изменения превышений между реперами подземного нивелирного полигона в районе Саамского разлома на гор.+172 м Кировского рудника ОАО "Апатит" за период 1998-2006 гг.

При этом необходимо особо подчеркнуть, что эти скорости являются относительными и характеризуют поднятия материала-заполнения разлома относительно вмещающих пород.

В то же время светодальномерные измерения не выявили сколь-либо существенных смещений закономерного характера между реперами в горизонтальном направлении (рис. 6). Также не обнаружено заметных вертикальных смещений краев (крыльев) разлома друг относительно друга.

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 меньшим влиянием горных работ на данном горизонте в непосредственной близости от разлома.

По-видимому, такой парадоксальный механизм не может быть объяснен ни только действием значительных горизонтальных тектонических напряжений, ни только техногенными воздействиями.

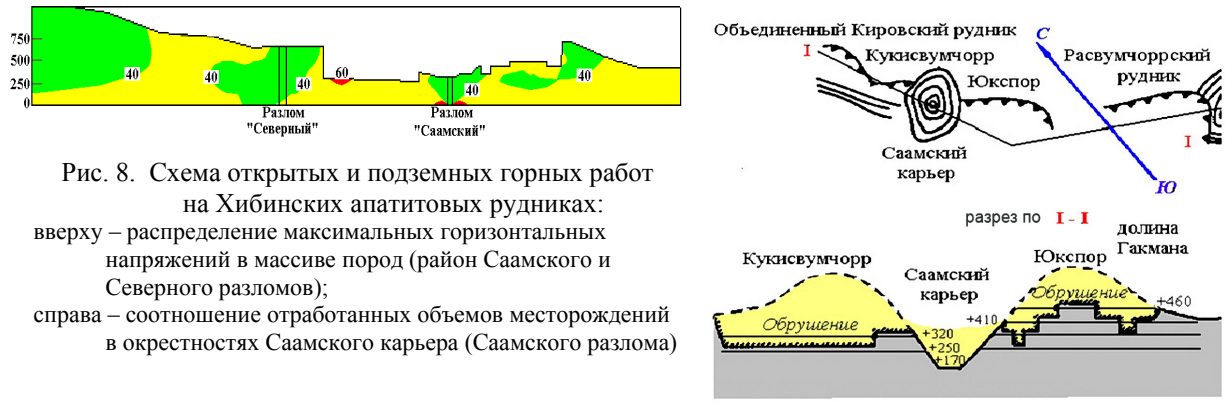

Рис. 8. Схема открытых и подземных горных работ на Хибинских апатитовых рудниках:
вверху – распределение максимальных горизонтальных напряжений в массиве пород (район Саамского и Северного разломов);
справа – соотношение отработанных объемов месторождений в окрестностях Саамского карьера (Саамского разлома)

3. Заключение

Исходя из совокупности имеющихся геологических, тектонических и геомеханических признаков, в качестве рабочей гипотезы принята модель выдавливания разрушенных пород за счет поступательных взбросо-надвиговых движений в направлении, продольном по отношению к плоскости разлома, с последующим перераспределением напряжений в зоне разлома и окружающем массиве пород, которое, в свою очередь, может вызывать неравномерное и неоднородное перемещение (в т.ч. по вертикальной составляющей) грубообломочных линзовидно-клиновидных кусков и блоков пород центральной части разлома. Такой сложный характер деформаций массива пород в районе Саамского разлома, скорее всего, вызван воздействием высоких субгоризонтальных напряжений и одновременным влиянием техногенных факторов, в частности, неравномерностью отработки участков месторождений на Кировском и Юкспорском флангах рудника (рис. 8).

Изучение этого явления продолжается. Для его интерпретации в настоящее время привлекаются методы реконструкции тектонических движений на основе анализа последовательности и кинематики измеренных деформаций массивов пород Саамского и других карьеров Хибин, а также натурных измерений напряженно-деформированного состояния. Аномальный характер деформаций, выявленный по результатам многолетних инструментальных наблюдений, свидетельствует о настоятельной необходимости мониторинга опасных динамических явлений и современных дифференцированных движений массивов пород в природно-техногенных системах, характеризующихся большой активностью горной промышленности и сложной тектоникой.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 07-05-13579-офи_ц.

Литература

Каменев Е.А. Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений хибинского типа (методическое руководство). *Л., Недра*, 190 с., 1989.

Козырев А.А., Каспарьян Э.В., Мальцев В.А., Рыбин В.В., Каспарьян Е.Э., Каткова Л.С. Опыт применения высокоточных геодезических наблюдений для контроля деформационных процессов в массиве горных пород при крупномасштабных техногенных воздействиях. *Зап. С.-Петербург. гос. горн. института*, № 146, с.9-18, 2001.

Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В. Геология рудных районов Мурманской области. *Под ред. Митрофанова Ф.П., Бичука Н.И. Апатиты, КНЦ РАН*, 359 с., 2002.

Сейсмичность при горных работах. *Под ред. Мельникова Н.Н. Апатиты, КНЦ РАН*, 325 с., 2002.