

УДК 622.83:620.171.5(0.43.3) (575.2) (04)

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛЕЙ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВАХ ГОРНЫХ ПОРОД

И.Т. Айтматов – акад. НАН КР

The problems of man-made geodynamical occurrences still not disclose in complete measure in many attitudes to field development of mineral wealth in spite of long standing beginning. In last years a cardinal revision of previous scientific opinions planned in researching of geomechanical scientists. Radical changing existed in sphere of forecast problem in potential dangerous zone in rock bump source and in our view according to potential source of rock bump exists in ground at concentration zone of residual stress of rock mass.

Во второй половине XX столетия широкомасштабный процесс освоения земных недр во многих странах мира не только вовлекал в эксплуатацию многочисленные новые месторождения, но и не в меньшей мере активизировал добычу полезных ископаемых на действовавших в то время рудниках и шахтах, где увеличивалось производственные мощности и повышалась производительность. Эта общая тенденция к значительной интенсификации добычи полезных ископаемых обусловила на многих рудниках существенное изменение геомеханических ситуаций: нарастала глубина разработки месторождений, расширялись масштабы одновременной добычи руд на разных горизонтах и участках рудников как при подземной, так и при открытой разработке месторождений. Многие подземные рудники переходили от средних глубин разработки (300–500 м) на нижние горизонты месторождений, расположенные на глубинах 600–800 и более метров. В 70-х годах прошлого столетия актуальность данной проблемы приобретала особое значение также и для многих рудников бывшей советской страны. Усложнение геомеханических проблем при освоении месторождений формировало на многих рудниках страны (СССР) удароопасные динамические формы горного давления, учащались горные удары, возникали техногенные землетрясения.

В этой ситуации в начале 70-х годов по инициативе Госгортехнадзора СССР и Всесоюзного научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ, Ленинград) Госкомитетом СССР по науке и технике по согласованию с горнорудными министерствами СССР были определены и утверждены основные направления научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке методов и средств прогнозирования и предотвращения горных ударов при подземной разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых на 1976–1980 гг. и на период 1981–1985 гг.

Согласно принятому координационному плану к выполнению этих исследований по решению Госгортехнадзора СССР были привлечены 23 научно-исследовательских организации СССР, в том числе и Институт физики и механики горных пород (ИФиМГП) Академии наук Киргизской ССР. При этом перед ИФиМГП была поставлена задача – осуществить соответствующие исследования и дать оценку удароопасности рудников, относящихся к компетенции министерств цветной металлургии и среднего машиностроения на территории Средней Азии, Казахстана и Кавказа. Минсредмаш СССР осуществлял разработку урановых месторождений. Поскольку охватить соответствующими исследованиями все рудники такой

огромной территории для нас было нереально, Институту физики и механики горных пород пришлось отказаться от проведения соответствующих работ на Кавказе и в северных районах Казахстана. Но и принятая нами территория включала около двух десятков потенциально удароопасных рудников и месторождений, расположенных в районах Кыргызстана, Казахстана, Таджикистана и Узбекистана. Для организации и проведения данных исследований в институте был создан Отдел горных ударов. Для выполнения натурных геомеханических исследований на удароопасных рудниках и месторождениях в составе отдела была сформирована специальная лаборатория, которую возглавил видный ученый и опытный производственник, кандидат технических наук К.Д. Вдовин.

С самого начала исследований нами были поставлены две главные научные задачи. Во-первых, в соответствии с геомеханическими представлениями тех времен в первую очередь требовалось оценить степень удароопасности рудников, достигших в регионе самых больших глубин (700–850 м) и, во-вторых, выявить причины возникновения горных ударов и микроударов на малых глубинах (100–200 м), имевших место на руднике Восточный Коунрад

и месторождении Учкошкон, и обосновать методы их предотвращения при освоении нижних горизонтов. В связи с данными задачами соответствующие исследования были проведены как на глубоких рудниках (Куру-Сай, Кан-Сай, Сумсар, Аксуек, Текели), так и на неглубоких (Восточный и Северный Коунрад, Турнаглы, Учкошкон), а также на рудниках средней глубины 250–550 м (Кадамджай, Янгибад).

На основе осуществленных измерений напряжений в горных породах на верхних и нижних горизонтах глубоких рудников во многих случаях установлен периодический, относительно монотонный характер пространственной изменчивости полей естественных напряжений (рис. 1).

Вместе с тем, в отдельных точках массивов были также обнаружены аномально высокие значения сжимающих, а также растягивающих горизонтальных напряжений, которые превышали средние значения горизонтальных напряжений на соответствующих глубинах в 4–4,5 раза (рис. 2–3).

Вертикальная составляющая естественного поля напряжений в основном соответствовала напряжению, рассчитанному по весу налегающих пород. На указанных выше глубоких

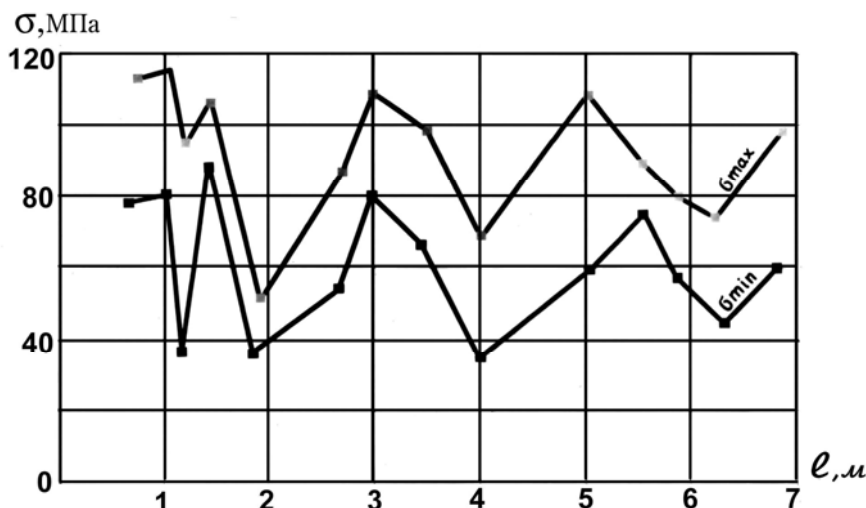


Рис. 1. Характер изменения главных нормальных напряжений вдоль горизонтальной скважины в однородном массиве пироксен-гранатовых скарнов на глубине 70 м (полиметаллическое месторождение Туранглы, Куру-Сай-Туранглинское рудное поле, Кураминский хребет, Таджикистан).

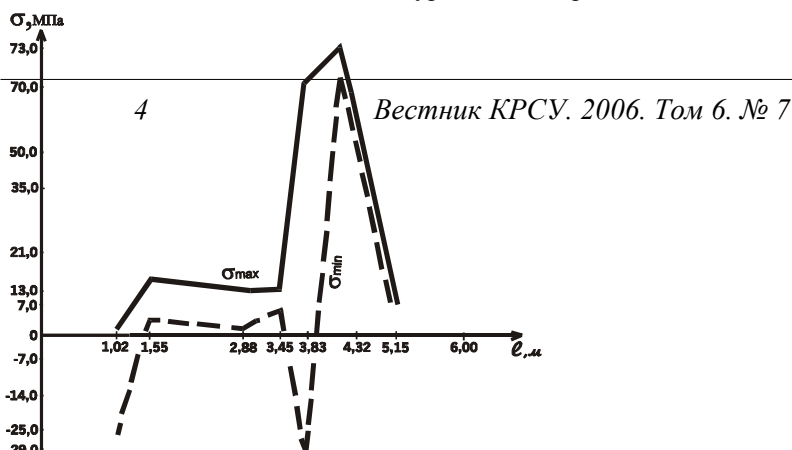


Рис. 2. Скачкообразное пространственное изменение главных нормальных напряжений в пироксен-гранатовых скарнах на глубине 680 м (по результатам измерения напряжений методом разгрузки вне зоны влияния очистных работ) (рудник Куру-Сай, Куру-Сай-Туранглинское рудное поле, Юго-Западный Тянь-Шань, Кураминский хребет, Таджикистан).



Рис. 3. Пространственный характер изменения значений главных нормальных напряжений вдоль горизонтальной скважины в массиве плотных известняков на глубине 250 м (Кадамджай, Кыргызстан).



Рис. 4. Результаты измерения напряжений методом разгрузки по горизонтальной скважине на месторождении Восточный Коунрад на глубине 220 м (Центральный Казахстан) [2].

и средней глубины рудниках Средней Азии собственно горных ударов, отмечались также
наблюдались единичные случаи проявления микроудары, шелушения, “стреляния” и ак-

тивные заколообразования на глубинах 600–800 м. На Кадамджайском руднике в плотных массивах известняков и кварцевых брекчий было отмечено два горных удара. В 1969 г. в штреке №3 на глубине 250 м из борта выработки на протяжении 18 м было выброшено с мощным динамическим эффектом 50 м³ раздробленной породы. При этом в боковой части штрека в связи с горным ударом по тектонической трещине произошла блоковая подвижка на несколько сантиметров.

В Кадамдже в 1972 г. произошел горный удар в боковой части очистной камеры в рудной брекчии на глубине 270 м. С мощным звуковым эффектом было выброшено в камеру около 15 м³ руды. Оба горных удара на Кадамджайском руднике, произошли после взрывных работ, осуществленных на некотором расстоянии в очистных выработках.

В отличие от глубоких рудников Средней Азии на руднике Восточный Коунрад (Казахстан, Прибалхашье), начиная с глубины 50 м от дневной поверхности, наблюдались динамические проявления горного давления, средняя величина вертикальной компоненты общего поля напряжений на горизонте 220 м превосходила гравитационную величину данного напряжения в 1,4 раза, а в отдельных точках в 2,0–2,5 раза. Средняя величина горизонтальной составляющей превосходила вертикальную (гравитационную) во вмещающих породах (гранитах) в 4 раза, а в отдельных точках σ_{\max} превосходила γH в 6–7 раз (рис. 4).

В трудах как советских, так и зарубежных ученых-геомехаников превышение в массивах горных пород значений горизонтальных напряжений над вертикальными с самого начала инструментального выявления данного геомеханического факта объяснялось и до сих пор объясняется как *следствие современных тектонических процессов в массивах пород, протекающих в результате горизонтальных перемещений и взаимодействий литосферных плит*. По этой причине фиксируемые при измерениях высокие горизонтальные напряжения в горных породах в современной геомеханике и тектонофизике называются *тектоническими напряжениями*, а горные удары, возникающие под действием указанных напряжений, – *горно-тектоническими*. Однако результаты наших исследова-

ний напряженного состояния горных пород в тектонически активных горных районах и в тектонически спокойных, стабильных структурах Казахского щита свидетельствуют о том, что высокие горизонтальные напряжения, особенно характерные для массивов неглубоких, верхних горизонтов земной коры ($H = 100\text{--}200$ м) – это не только тектонические напряжения. Для структур стабильных щитов и верхних горизонтов горных районов в преобладающей степени это – напряжения остаточного типа. Именно для полей напряжений остаточного типа характерна существенная пространственная неоднородность и наличие в отдельных местах массивов зон с аномально высокой концентрацией этих напряжений, которые и являются потенциальными очагами горных ударов и техногенных землетрясений. Именно для остаточных напряжений характерна высокая концентрация напряжений в отдельных местах.

Термин *остаточные напряжения* вошел в терминологию механики горных пород из теоретических положений механики деформируемого твердого тела. Согласно основным положениям механики деформируемого твердого тела под воздействием внешних силовых нагрузок в теле возникают напряжения, которые могут формировать различные деформации – упругие, упругопластические, пластические, а также обуславливать разрушение тела. Если под воздействием внешних сил в теле возникают упругие деформации, то после прекращения этого воздействия автоматически прекращаются и упругие деформации, а также не сохраняются возникшие при силовом нагружении напряжения. Но если твердое тело под воздействием внешних сил претерпело упругопластические деформации, то после снятия внешней нагрузки в теле сохраняется часть возникших деформаций, обычно считается, что это пластические деформации. Но в действительности, наряду с этим, в определенных случаях в отдельных зонах и точках тела сохраняются вместе с пластическими и деформации упругости, которые сохраняются и после снятия внешней нагрузки. Комплекс таких напряжений в механике деформируемого твердого тела назван остаточным. Остаточные напряжения в физических телах возникают и сохраняются при разных генетических услови-

ях. В горных породах возникновение остаточных напряжений непосредственно связано с генезисом самих пород и последующими процессами их эволюции. В геологии по своему генезису (происхождению) горные породы подразделяются на три вида: осадочные, магматические и метаморфические. Образование магматических пород связано, как известно, с охлаждением и затвердеванием магмы. Магмы, затвердевшие в глубине, внутри земной коры и претерпевшие кристаллизацию, формируют интрузивные горные породы (граниты, диориты, сиениты и др.). Магмы, излившиеся на поверхность земли в результате последующего охлаждения и обретения твердого состояния, образуют эффузивные породы: диабазы, базальты, андезиты и др. В общем случае процесс превращения магмы в твердые горные породы при изменяющихся во времени и пространстве термодинамических ситуациях обуславливает формирование в твердеющем массиве пространственно неоднородных полей остаточных напряжений. Ярким примером степени неоднородности пространственного распределения полей остаточных напряжений могут служить результаты измерения остаточных напряжений в поперечном сечении столбчатой отдельности базальтовой колонны*, полученные известным австралийским ученым-геомехаником Х. Боком [5] (рис. 5).

В целом исследованный породный блок однороден и практически изотропен. После своего образования данная порода, находясь непосредственно на земной поверхности, не подвергалась воздействию новых физических полей (тектонических, температурных и т.п.), способных внести существенные изменения в ее напряженно-деформированное состояние. Поэтому, если в рассматриваемом блоке есть значительные напряжения, то они, как напряжения остаточного типа, связаны только с генезисом породы и сохранились в данной породе в течение двух десятков миллионов лет. Исследования показали наличие весьма значительных остаточных напряжений в попе-

* Базальт – крепкая горная порода. На стадии затвердевания лавы порода разделяется на столбы, имеющие в поперечном сечении почти правильную многоугольную форму.

речном сечении базальтового столба и незначительные в его осевой части. Главные остаточные напряжения в поперечном сечении данной отдельности, изменяются от 12,6 МПа (растяжение) до 15,5 МПа (сжатие). Одно из измеренных напряжений обладает экстремальным значением равным 30,6 МПа. Подобный уровень напряжений характерен для глубины 600 м в крепких породах (Куру-Сай).

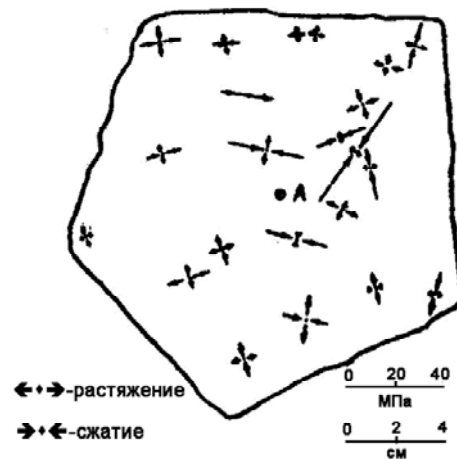


Рис. 5. Распределение остаточных напряжений в поперечном сечении базальтовой колонны (Австралия)

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что остаточные напряжения могут существовать в естественно ограниченных блоках, даже если они были отделены от общего массива в геологически отдаленные времена. Характерной особенностью условий пространственного распределения напряжений в пределах небольшой площадки поперечного сечения базальтового столба со средним диаметром всего 18 см является значительное отличие значений главных напряжений в точках, близко расположенных друг от друга (несколько сантиметров). Также выявлено, что в поперечном сечении данной колонны и растягивающие, и сжимающие напряжения, встречающиеся с одинаковой частотой, взаимно уравниваются.

Условия неоднородности распределения напряжений наблюдаются также и в породах, испытавших в прошлые геологические эпохи упругопластические деформации под действием

тектонических сил. М. Фридман (США) [6] исследовал остаточные напряжения методом частичной разгрузки и методом дифракции рентгеновских лучей. Были получены достаточно совпадающие результаты. Ориентация остаточных напряжений оказалась хорошо согласующейся с элементами структуры массива, из которого были взяты соответствующие породные блоки.

Как видим, характерные особенности существенной пространственной неоднородности полей остаточных напряжений проявляются на самых различных масштабных уровнях: и в масштабах небольших породных блоков, размеры которых измеряются первыми десятками сантиметров, и в масштабах измерительных скважин протяженностью 7–10 м, и в масштабах участков месторождений и рудных полей, а также в масштабах крупных массивов одной и той же породы магматического и метаморфического генезиса. Например, в массиве пород Талнахско-Октябрьского месторождения на Таймыре, на глубине до 500 м исходное поле напряжений близко к гидростатическому, т.е. горизонтальные напряжения σ_x и σ_y по своим значениям близки к вертикальному $\sigma_z = \gamma H$. Но уже на глубинах 850–900 м в массиве пород были зафиксированы большие горизонтальные напряжения, которые по своей величине в 1,5–2,0 раза превосходили вертикальную составляющую, образуемую весом налегающей толщи пород. Именно в этих условиях получили начальное и активное развитие горные удары на шахте № 1 рудника “Октябрьский” [1].

При проведении горных работ на глубине 1000–1150 м было установлено значительное снижение величин естественных горизонтальных напряжений, в то же время существенно возросли значения вертикальных напряжений. В отдельных зонах значения измеренных вертикальных напряжений превосходили гравитационные их величины в 1,2–1,8 раза. На месторождении повышенные величины вертикальных напряжений в исходном поле приурочены в основном к тектоническим нарушениям. Аномалии повышенных значений горизонтальных напряжений отмечаются в отдельных широких тектонических блоках. В то же время в местах, где рудный массив включает в себя частые прослои слабых пород (ксенолитов), значения горизонтальных и вертикальных напряжений исход-

ного поля снижаются, приравниваясь к γH . В масштабах рудного поля аналогичный характер пространственной изменчивости напряженного состояния горных пород и соответствующих динамических явлений в массиве может быть обусловлен главным образом пространственным изменением полей остаточных напряжений.

Нечто подобное по условиям проявления горных ударов на разных глубинах наблюдается и на рудниках других географических и геолого-тектонических регионов, о чем свидетельствуют данные пространственного распределения зон горных ударов по глубине в пределах одного и того же месторождения или рудного поля. Так, например, нередко встречаются случаи, когда интенсивность горных ударов вначале нарастает с глубиной горных работ, а по достижении рудником некоторой глубины количество горных ударов снижается и они могут даже прекратиться (рис. 6, Альпы, Австрия).

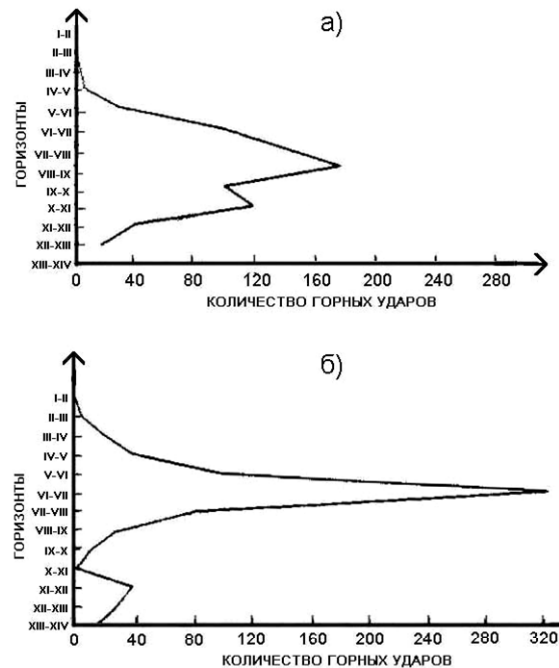


Рис. 6. Распределение горных ударов по глубине ($h \approx 1000$ м): а – рудник Кройт (1900–1956 гг.); б – рудник Бляйберг (1925–1956 гг.)

Как видим, и на указанных рудниках с ростом глубин разработки месторождений только до некоторых горизонтов (до глубины 500–600 м) шло нарастание и активизация горных

ударов, а затем с глубиной численность горных ударов сокращалась и на глубине 1000 м они исчезли. Это свидетельствует о соответствующем пространственно неоднородном и изменчивом напряженном состоянии массивов горных пород.

Также представляется интересной напряженная ситуация в массивах одних и тех же пород магматического происхождения, например, в масштабах крупного гранитного Коунрадского массива Казахского щита. Если для гранитов на руднике Восточный Коунрад характерны высокие напряжения и с глубины 190–200 м начали активно проявляться горные удары, то на соседнем месторождении, Северный Коунрад, расположенном в 3–4 км также в пределах Коунрадского гранитного массива, при горных работах на аналогичных глубинах активные динамические проявления горного давления почти не наблюдались.

Разработанная и внедренная в 1988 г. Институтом физики и механики горных пород Инструкция по определению параметров камерных систем при отработке штокверковых зон Северо-Коунрадского месторождения, одобренная и использованная производственным объединением “Балхашмедь”, получила эффективное внедрение, обеспечив снижение потерь руды в целиках и повысив геомеханическую безопасность отработки месторождения на глубинах 220–290 м и ниже (разработчики инструкции от ИФиМГП – И.Т. Айтматов, К.Ч. Кожгулов, К.Б. Таштаналиев).

На указанном руднике измерения напряжений не осуществлялись, но при разработке методов определения и расчета параметров использованных камерных систем разработки для месторождения Северный Коунрад в качестве исходных условий естественного напряженного состояния массива были использованы данные, полученные в гранитах Восточного Коунрада. Естественно, данные, полученные в местах замера напряжений, относились к участкам, где горных ударов не наблюдалось, т.е. там можно было безопасно работать и проводить соответствующие экспериментальные исследования. Конечно, в тех зонах рудника Восточный Коунрад, где непосредственно имели место горные удары, напряжения были значительно более высокими, чем те, которые

нам удалось измерить. Но именно эти, полученные по замерам, напряжения оказались для Северного Коунрада весьма подходящими при введении их в расчет и определения устойчивых параметров систем разработки на таких же глубинах, как и на Восточном Коунраде. Иначе говоря, два соседних, близко расположенных однородных гранитных участка Коунрадского массива, имеющих одни и те же петрогенетические и тектонические условия происхождения, оказались в определенной степени в различных условиях естественного напряженного состояния, что и характерно для пространственного распределения полей остаточных напряжений.

В те годы с целью инструментального изучения остаточных напряжений в гранитах Восточного Коунрада и выявления роли этих напряжений в развитии динамических форм проявления горного давления перед лабораторией физико-механических свойств горных пород (зав. К.Т. Тажибаев) была поставлена задача: исследовать процессы и характер деформирования и разрушения пород при наличии в них остаточных напряжений. Эти исследования позволили сделать такое крупное научное открытие, как скачкообразное освобождение остаточных напряжений в горных породах [3].

Подтверждением основных причин и пространственных условий формирования в породных массивах неоднородных полей напряжений и их связи с напряжениями остаточного типа могут служить результаты физического моделирования данного явления на образцах из оптически активного материала путем полимеризации и отверждения эпоксидной смолы ЭД-6. Эпоксидная смола ЭД-6 является одним из наиболее широко используемых материалов для изготовления физических моделей, предназначенных для изучения методом фотоупругости напряжений, возникающих под действием соответствующих нагрузок в твердых телах. Процесс полимеризации смолы ЭД-6 протекает при определенных условиях регулирования температурного режима и сроков протекания процедуры отверждения на основе взаимодействия смолы с вводимым в её состав малеиновым или фталевым ангидридом.

В наших работах [1–3, 5] качественно моделировались остаточные напряжения, кото-

рые формируются в физически однородном твёрдом теле на стадии образования материала этого тела в результате соответствующих химических реакций, физико-химических и физических (тепловых) процессов. На рис. 7 представлены результаты исследования остаточных напряжений, сохранившихся в оптически активном материале после полимеризации и представляющем физически однородное тело.

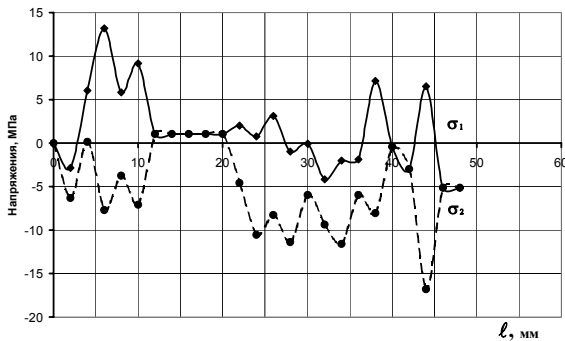


Рис. 7. Эпюры генетических главных нормальных остаточных напряжений σ_1 , σ_2 в оптически активном твердом материале

Пространственное распределение остаточных напряжений имеет периодический характер, несмотря на то, что сам материал модели является физически однородным. Также в поле остаточных напряжений явно наблюдается наличие зон (очагов) с повышенными значениями напряжений.

Наряду с моделями, содержащими «генетические» остаточные напряжения, были также проведены исследования напряженного состояния фотоупругих моделей с искусственно наведенными остаточными напряжениями. Для этого термической обработке подвергались образцы, не имевшие начальных остаточных напряжений. Термообработка заключалась в постепенном нагревании образца до определённой температуры и в последующем резком его охлаждении. На рис. 8 представлены эпюры остаточных нормальных (σ_1 , и σ_2) напряжений и максимального касательного напряжения τ_{\max} по вертикальному сечению.

Как показывают графики, пространственное распределение наведенного остаточного напряжения в физически однородном теле также имеет неоднородный периодический характер с пи-

ковыми точками, где напряжения достигают значений в 2–3 раза выше, чем в соседних зонах.

Данный эксперимент по своей физической сути качественно напоминает процесс формирования остаточных напряжений при образовании метаморфических пород, когда под воздействием температурных и физико-химических процессов на контакте магматических и осадочных пород образуются массивы метаморфических пород.

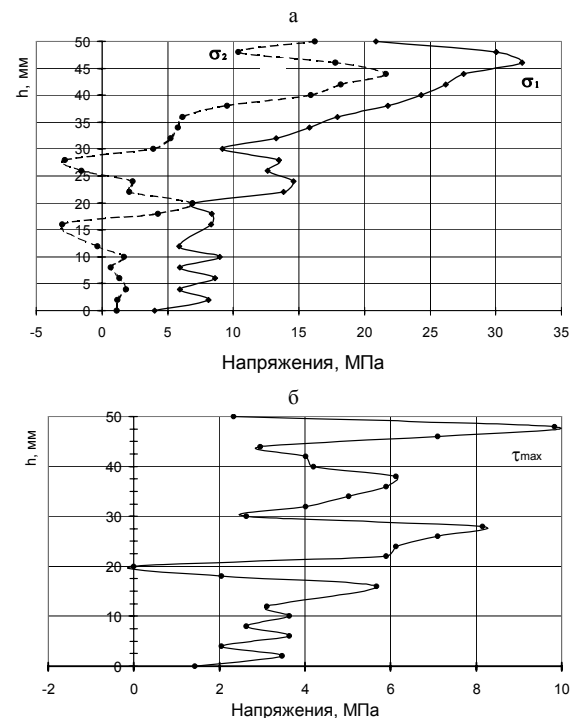


Рис. 8. Эпюры: а – главных нормальных напряжений σ_1 , σ_2 ; б – максимальных касательных напряжений τ_{\max} по вертикальному сечению в образце с наведенными термообработкой остаточными напряжениями

Таким образом, фотоупругие модели качественно подтвердили результаты натурных исследований, свидетельствующие о пространственной неоднородности и периодическом характере распределения остаточных напряжений в реальном массиве пород.

Оптическое моделирование остаточных напряжений четко свидетельствует не только о пространственной неоднородности полей этих напряжений, но и о наличии в общей про-

странственной системе остаточных напряжений в отдельных местах и точках экстремальных значений, которые по своим значениям в несколько раз могут превосходить средний уровень остаточных напряжений в зонах их концентрации, что также имеет место и в натурных условиях горных пород с остаточными напряжениями. Механические испытания образцов фотоупругих моделей с остаточными напряжениями полностью подтверждают результаты испытания образцов горных пород с остаточными напряжениями.

Примером высоконапряженных зон в горных регионах является массив Учкошконского оловорудного месторождения, представляющего собой комплекс внедрившихся гранитных интрузий в осадочные породы карбона. На этом месторождении оценка напряженного состояния массива была осуществлена керновым методом. При колонковом бурении разведочных скважин в высоконапряженных зонах породных массивов керновый материал, как

правило, подвергается разделению на диски различной толщины – от нескольких миллиметров до 5–6 см и более. По толщине дисков, применяя соответствующие методики, определяют значения напряжений. На месторождении Учкошкон керновые диски начали появляться на сравнительно небольших глубинах – 120–200 м, что является свидетельством высокого уровня напряжений в приповерхностных зонах. Здесь в осадочных метаморфизованных толщах до глубины 500–600 м произошло формирование зоны высоких остаточных напряжений, а затем с ростом глубины процесс дискообразования в кернах резко снизился, что свидетельствует о снижении уровня напряжений на этих нижних, глубоких горизонтах (рис. 9).

В разведочной штольне месторождения были произведены измерения напряжений методом разгрузки. В таблице приведены результаты измерения, подтверждающие высокий уровень напряжений в данной зоне, где имели место микроудары и “стреляния” пород.

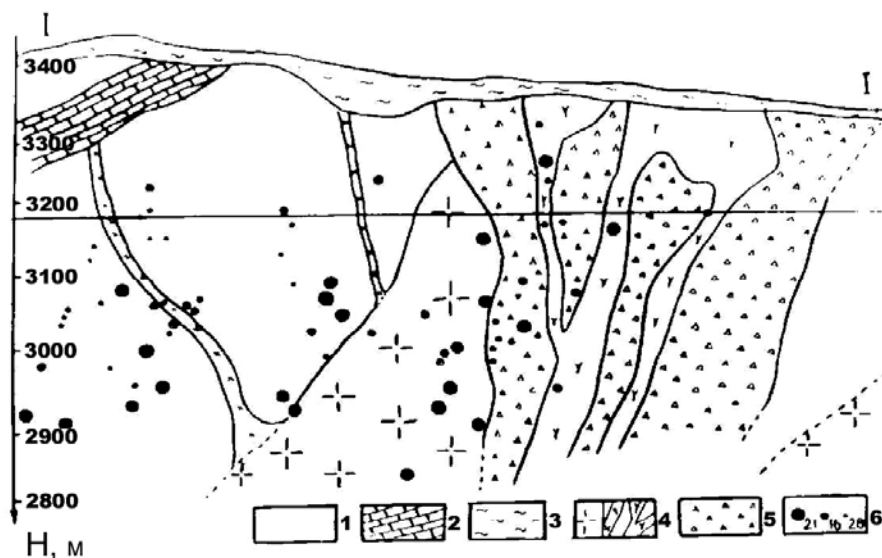


Рис. 9. Обобщенный геологический разрез месторождения Учкошкон (на разрезе представлена вертикальная проекция мест дискообразования в близко расположенных к данному разрезу разведочных скважинах):

1 – роговики; 2 – известняки с прослоями сланцев; 3 – рыхлые отложения;

4 – интрузивные породы (граниты, гранит-порфиры); 5 – брекчированные породы;

6 – интервалы дискообразования керна, вынесенные на плоскость разреза с ближайших профилей:

21 – интервалы с десятками дисков; 16 – до десяти штук дисков; 28 – единичные диски.

Результаты измерения напряжения на месторождении Учкошкон (Кыргызстан) на глубине 150 м, МПа

Номер измерения точек	σ_1	σ_2	σ_3
1	68,8	-8,7	-38,2
2	130,5	16,5	1,5
3	32,8	-5,0	-24,3
4	6,5	-9,7	-15,6

Роль остаточных напряжений в геомеханике массивов горных пород пока остается малоизученной, но в практике использования металлических конструкций широко известны случаи, когда конструкционные структуры самопроизвольно разрушались без внешней нагрузки, что хорошо видно на рис. 10 [4].

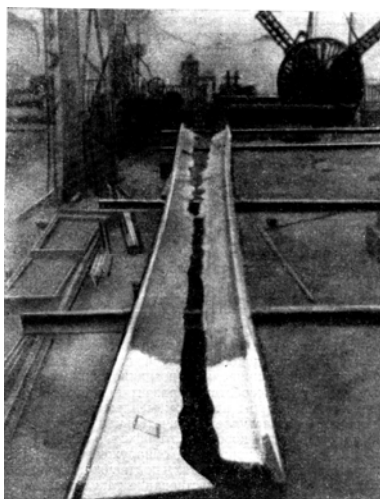


Рис. 10. Стальная двутавровая балка, претерпевшая самопроизвольный разрыв [4]

По существу, геомеханическая эволюция современных скальных и полускальных массивов пород обусловила формирование в них общего поля напряжений, представляющего собой сумму полей напряжений: гравитационного, современного тектонического и остаточного. Следует обратить внимание на то, что в тектонических структурах массивов горных пород многих регионов остаточные напряжения являются главенствующим геомеханическим фактором в формировании современного напряженно-деформированного состояния мас-

сивов пород как в глубинных частях, так и в приповерхностных зонах земной коры. Воздействие тектонических и техногенных сил на массивы пород обуславливает нарушение состояния геомеханического равновесия естественных напряжений, в том числе и зон с высокой концентрацией остаточных напряжений, что приводит к возникновению в недрах земли горных ударов и техногенных землетрясений.

Литература

1. *Айнбиндер И.И.* Развитие интенсивных технологий подземной разработки удароопасных месторождений на больших глубинах: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук / ИПКОН РАН. – М., 1997. – 38 с.
2. *Айтматов И.Т., Вдовин К.Д., Глухов Г.А., Тенизбаев К.К.* Оценка напряженного состояния и удароопасности горных пород Восточно-Коунрадского рудника // Диагностика напряженного состояния и свойств горных пород в массиве. – Новосибирск, 1980. – С. 77–80.
3. *Айтматов И.Т., Тажипбаев К.Т.* Явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах: Диплом на научное открытие (№ 90, № А-109 от 29.04.1998 г.), выданный Международной Ассоциацией авторов научных открытий и Российской Академией естественных наук.
4. *Камтю Ф.* Влияние остаточных напряжений на работу конструкций // Остаточные напряжения в металлах и металлических конструкциях / Под ред. В.Р. Осгуда. – М., 1957. – С. 10–33.
5. *Bock H.* Experimental determination of the residual stress field in basaltic Column // Proc. 4 Congr. Int. Rock. Mech. – 1979. – V.1. – P. 45–49.
6. *Friedman M.* Residual elastic Strain in rock // Tectonophysics. – 1975. – V.15 – № 4. – P. 297–333.