

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ
ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОГО ОБРАЗЦА
С ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ**

Казакбаева Г.О.

ИГиОН НАН КР

Напряженному состоянию горного массива, как одному из основных факторов горного давления, уделяется особое внимание. Все горные массивы разбиты трещинами; часто в отдельных участках они полностью раздроблены и местами перемолоты. Это доказывает, что эти массивы, в течение истории Земли, находились в напряженном состоянии, которое нередко достигало предела прочности слагающих их пород. Напряжения, разрушившие горный массив, не могли возникнуть лишь только под влиянием веса горных масс. Для того, чтобы еще не растрескавшееся горизонтально залегающее гранитное тело с прочностью, равной примерно $10\ 000\ \text{т/м}^2$, под действием нагрузки собственного веса растрескалось у своего лежащего бока, необходима толщина примерно 7000-10 000 м. Однако известны массы горных пород сравнительно небольшой мощности, разбитые трещинами вплоть до самой поверхности, вблизи которой напряжения, вызванные собственным весом пород, совсем незначительны. Напряжения, обусловленные собственным весом, главная ось направления которых вертикальна, не могут являться причиной образования трещин, залегающих под углом менее $45\text{-}50^\circ$. Тем не менее, более пологие трещины, достаточно часто встречаются. Таким образом, большое число разруше-

ний происходит в результате тектонических процессов, которые обуславливают появление чрезмерных нагрузок в горном массиве. Поэтому всегда следует учитывать наличие остаточных напряжений, так как в теле, находящемся под напряжением, почти доходящим до предела прочности, всегда остается напряжение даже при продолжительной разгрузке и при полном прекращении действия сил. Напряжения также не исчезают полностью при процессах ползучести и перекристаллизации, которые также происходят под влиянием имеющихся напряжений.

Ползучесть и релаксация - проявление свойства тела изменять свое напряженно-деформированное состояние во времени. Эти проявления обнаруживаются в определенных частных случаях режима: ползучесть - в случае постоянства напряжений, релаксация - в случае постоянства деформаций. В перераспределении напряжений наиболее ясно проявляется скрытые напряжения в земной коре. Горные удары, разрывы пород и оползни - самые известные проявления перераспределения напряжений. Независимо от того, какие формы возникают при указанных перераспределениях напряжений - разрывы или движения по имеющимся путям, порода во всех случаях претерпевает деформацию и подвергается большему или меньшему разрыхлению. Особенно опасно раздробление при изменении характера деформирования, когда тело, находящееся под сжимающей нагрузкой, внезапно испытывает сдвиговую или даже растягивающую нагрузку, тогда происходит внезапное разрушение тела [1].

В связи с этим, исследование характера перераспределения напряжений при длительных нагружениях модельных твердых образцах является актуальной задачей. Поэтому, в данной статье приводятся результаты экспериментального исследования характера перераспределения напряжений в твердом оптически активном модельном

образце (с внутренними остаточными напряжениями) при длительном действии на него внешней вертикальной сжимающей нагрузки.

Описание модели и постановка задачи. Изучение перераспределений напряжений велось на плоском твердом модельном образце. Прочность модельного образца на сжатие $\sigma_{сж} = 90$ МПа и он изготовлен из оптически активного материала на основе эпоксидной смолы. Существенным достоинством таких оптически активных материалов является возможность непосредственного экспериментального получения величин напряжений (а не деформаций) и исследования как процессов нагружения и разгрузки, так и остаточных напряженных состояний */2/*. В модельном образце, методом термообработки созданы поля остаточных напряжений. По основным сечениям (направлениям) образца определены величины остаточных напряжений и установлен их характер распределения. Для определения величин напряжений использован хорошо известный поляризационно-оптический метод */3/*. Результаты этих исследований опубликованы в работах */4, 5/*. Дальнейшая наша задача заключалась исследовании характера перераспределения суммарных напряжений в данном образце (образец с полями остаточных напряжений + напряжения от внешней нагрузки) при действии длительного вертикального нагружения.

Анализ результатов эксперимента.

Для наглядности ниже приведены опубликованные ранее нами эпюры распределения остаточных напряжений по основным сечениям ненагруженного образца (рис.1-2) */4-5/*.

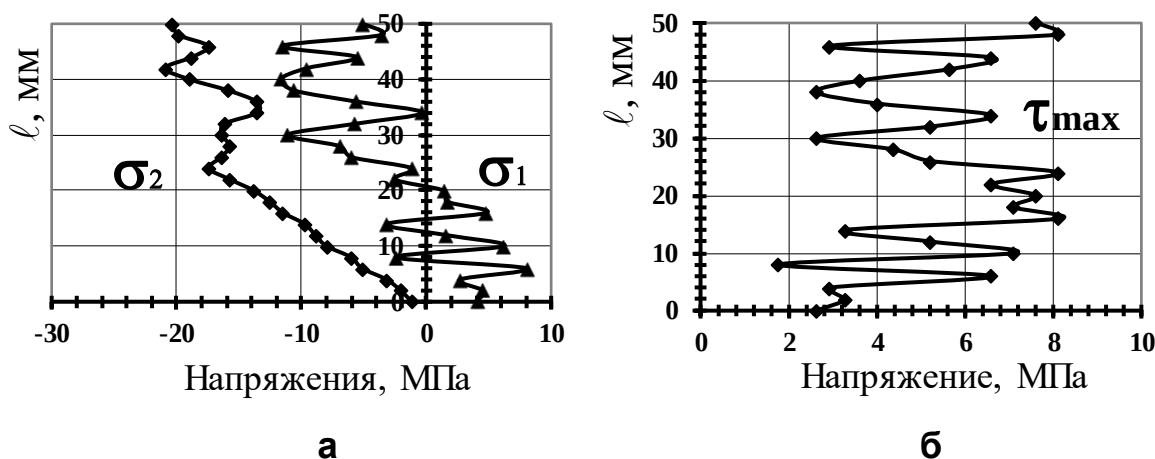


Рис. 1. Эпюры распределения остаточных напряжений по вертикальному сечению образца а) σ_1 и σ_2 ; б) τ_{max} .

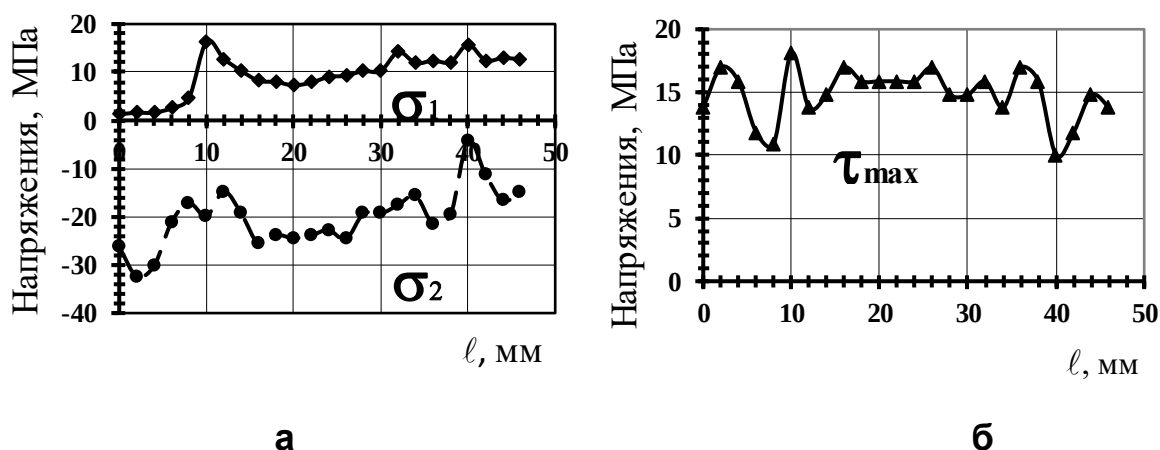


Рис. 2. Эпюры распределения остаточных напряжений по горизонтальному сечению образца а) σ_1 и σ_2 ; б) τ_{max} .

Из рисунков видно, что и по вертикальному, и по горизонтальному сечению образца с остаточными полями напряжений, главные нормальные напряжения имеют и растягивающие, и сжимающие значения. Сжимающие напряжения по сравнению с растягивающими напряжениями принимают более высокие значения. Как видно из выше приведенных эпюр, характер распределения и главных нормальных, и максимальных касательных остаточных напряжений в образце имеет неоднородный вид (рис. 1-2).

Далее образец с полями остаточных напряжений (рис. 1-2), подвергался длительной незначительной вертикальной нагрузке для исследования характера перераспределения суммарных напряжений. В нагруженном образце первые четыре измерения суммарных напряже-

ний производились в неделю один раз. Пятое измерение произведено через три месяца после предпоследнего измерения напряжений в образце, так как больших изменений до этого в перераспределении напряжений не наблюдалось. Ниже приведены результаты экспериментальных исследований в виде эпюр главных нормальных и максимальных касательных напряжений. Для сравнения полученных эпюр напряжений, построены сводные графики по основным сечениям образца (рис. 3-4).

Из эпюр суммарных главных нормальных и максимальных касательных напряжений по вертикальному сечению образца видно, что при постоянной длительной вертикальной нагрузке, по сравнению с остаточными полями напряжений, наблюдается значительный рост величин растягивающих напряжений и увеличение их зон действия. Рост величин сжимающих напряжений по данному сечению имеет место только вблизи торцевой части образца (рис.3). Эпюры напряжений по горизонтальному сечению образца показали, что величины и зоны действия, сжимающих и растягивающих напряжений значительно снизились (рис.4). Также по результатам трех измерений видно, что в боковой части образца растягивающие напряжения σ_1 перешли в небольшие сжимающие напряжения.

Результаты экспериментальных исследований показали, что в твердом оптически активном образце с остаточными полями напряжений, находящейся под действием постоянной длительной нагрузки, происходили значительные перераспределения суммарных напряжений. По вертикальному сечению образца, в отдельных зонах наблюдалось рост суммарных напряжений, а по горизонтальному сечению их снижение. Также нужно отметить, что, по вертикальному сечению образца, растягивающие и сжимающие суммарные напряжения за исследуемый период (4 месяца) создали неблагоприятные зоны, которые могут привести к возникновению трещин.

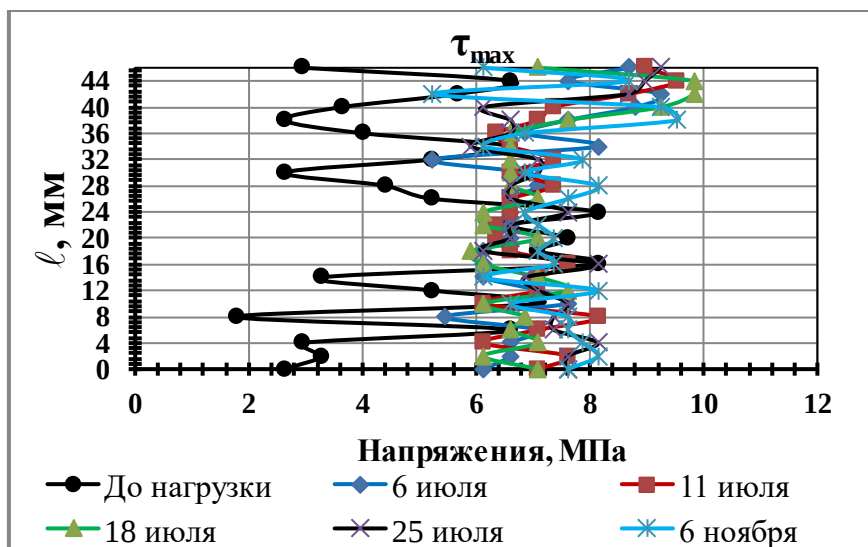
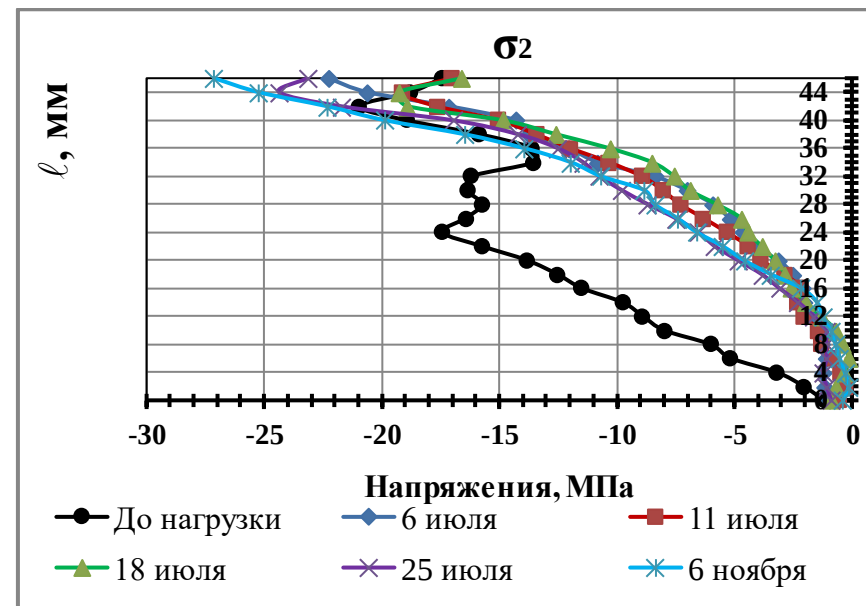
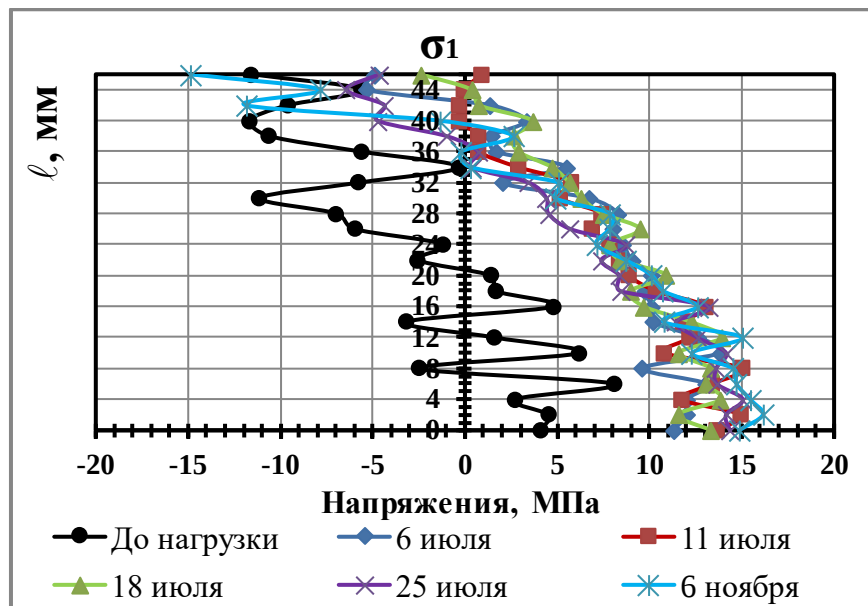


Рис. 3. Эпюры остаточных и суммарных напряжений σ_1 , σ_2 , τ_{max} по вертикальному сечению оптически активного образца.

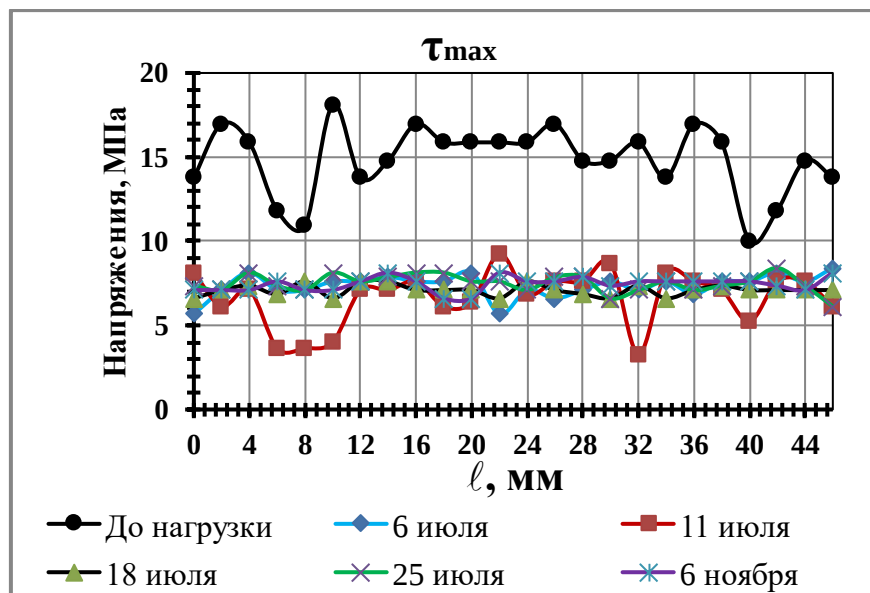
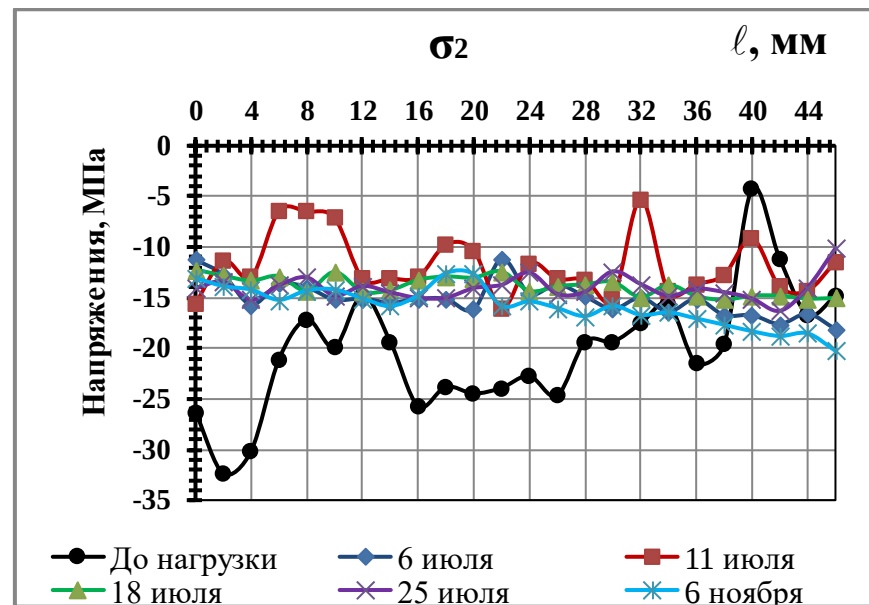
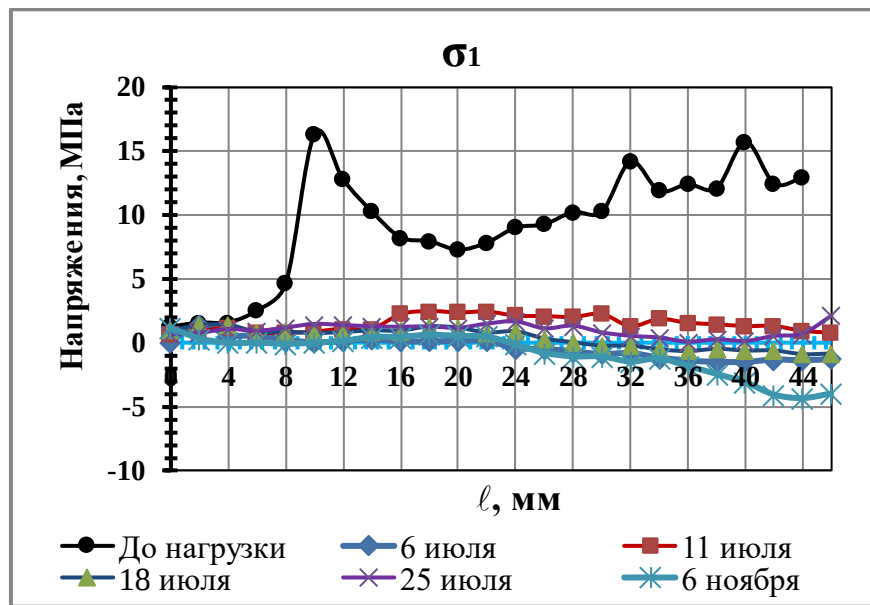


Рис. 4. Эпюры остаточных и суммарных напряжений σ_1 , σ_2 , τ_{max} по горизонтальному сечению оптически активного образца.

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет заключить, что:

1. Длительное нагружение образца (с полями остаточных напряжений), привели к росту величин суммарных напряжений по его вертикальному сечению, а по горизонтальному - к снижению;
2. В процессе перераспределения напряжений в отдельных точках и зонах по вертикальному сечению образца, формируются высокие напряжения, которые могут привести к появлению трещин и даже разрушению материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Мюллер. Инженерная геология (Механика скальных массивов) Изд. «Мир», Москва, 1971. С. 254.
2. И.И. Бугаков. Ползучесть полимерных материалов. //Изд. Наука, Москва. -1973. –С.286].
3. Р.И. Хаимова-Малькова. Методика исследования напряжений поляризационно-оптическим методом. Изд.»Наука», Москва. 1970. С.114.
4. И.Т. Айтматов, Казакбаева Г.О. Моделирование взаимодействия остаточных напряжений с напряжениями от внешних сил в твердых оптически-активных образцах. Труды Всероссийской конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», посвященной 80-летию ак. М.В. Курлени (с участием иностранных ученых) (3-2 октября 2011 г.). В II т. Т. I. — Новосибирск: Ин-т горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2011. С. 55-60с.
5. Г.О. Казакбаева. Взаимодействие остаточных напряжений с полями напряжений от внешних вертикальных и горизонтальных нагрузок. В сб. /Современные проблемы механики сплошных сред, выпуск 16. - Бишкек, 2012г. С. 233-238.