

Член-корреспондент АН СССР И. В. ЛУЧИЦКИЙ, П. М. БОНДАРЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ НАД ИНТРУЗИВНЫМ КУПОЛОМ

В настоящее время хорошо известно, что внедрение магмы в верхние горизонты земной коры сопровождается механическим ее воздействием на вмещающие породы. Давление на кровлю магматической камеры весьма значительно и вызывает изгибы земной поверхности, установленные непосредственными измерениями, например на вулкане Килауэа⁽⁶⁾. Таким образом, из сферы гипотез^(3, 4, 7, 9) проблема образования полей напряжения в земной коре над интрузивными куполами под влиянием внутреннего давления магмы сейчас переходит в область строго аналитического и экспериментального изучения.

Качественная оценка распределения траекторий напряжения над интрузивным куполом была дана первоначально на основании изучения концентрических структур Шотландии, отличительной особенностью которых было участие в их строении магматических образований — вертикальных и наклонных кольцевых даек и конических пластов⁽²⁾. Позднее были предприняты расчеты соответствующего поля напряжения, отвечающего установленному путем картирования пространственному размещению этих тел⁽¹⁾. Эти расчеты, хотя и подвергались неоднократно критике, в частности на Международном симпозиуме по проблеме «Механизм интрузий магмы» (Ливерпуль, 1969 г.), тем не менее не были проверены экспериментально, что, казалось бы, совершенно необходимо, если иметь в виду возможности современных методов исследования полей напряжения, основанных на применении оптически активных материалов. Имеется, впрочем, пока единственная, по-видимому, работа⁽⁵⁾, в которой метод фотоупругости привлечен к исследованию поля напряжения над магматическим куполом для обоснования представлений о том, что траектории напряжений в подобных полях изогнуты спирально.

Экспериментальное изучение соответствующего поля напряжений и его вариаций в зависимости от влияния гравитационных сил и предварительно напряженного состояния среды было проведено нами в связи с тем, что вся система построений, обычно применяемая в таких случаях, опирается на аналогии в размещении системы рассчитанных или экспериментально изученных⁽³⁾ траекторий нормальных и касательных напряжений с реально наблюдаемой сеткой даек и других магматических тел, наблюдаемых в конкретной обстановке (см. также⁽¹⁰⁾).

Опыты проводились в пластинах толщиной 50 мм, изготовленных из оптически активной желатиново-глицериновой массы с концентрацией желатины 15%. Пластины размещались в боксе с прозрачными стенками, где располагался резиновый баллон, заполненный водой или воздухом. Расширение баллона сопровождалось деформацией вмещающей среды, вследствие чего в ней возникало поле напряжений, легко доступное наблюдению в скрещенных поляризаторах, так как оно выражалось системой изохроматических колец, число которых увеличивалось с возрастанием давления в баллоне. Гравитационное поле имитировалось нагрузкой на верхнюю поверхность пластины, что создавало предварительно напряженное состояние среды. Такое же состояние возбуждалось при моделировании процесса внедрения купола в область, подвергающуюся деформации

под влиянием усилий, действующих со стороны смежного горного сооружения по схеме Оде (¹⁰).

В итоге проведенных экспериментов были выяснены следующие характерные черты возникающих полей напряжения. Во-первых, траектории нормальных и касательных напряжений над моделью купола, расширяющегося под влиянием внутреннего давления P_i , превышающего внешнюю нагрузку P_s , располагаются в соответствии с расчетами Андерсона (¹), однако «выполаживание» траекторий нормальных напряжений в модели наблюдается не только вдали от очага расширения, где механическое воз-

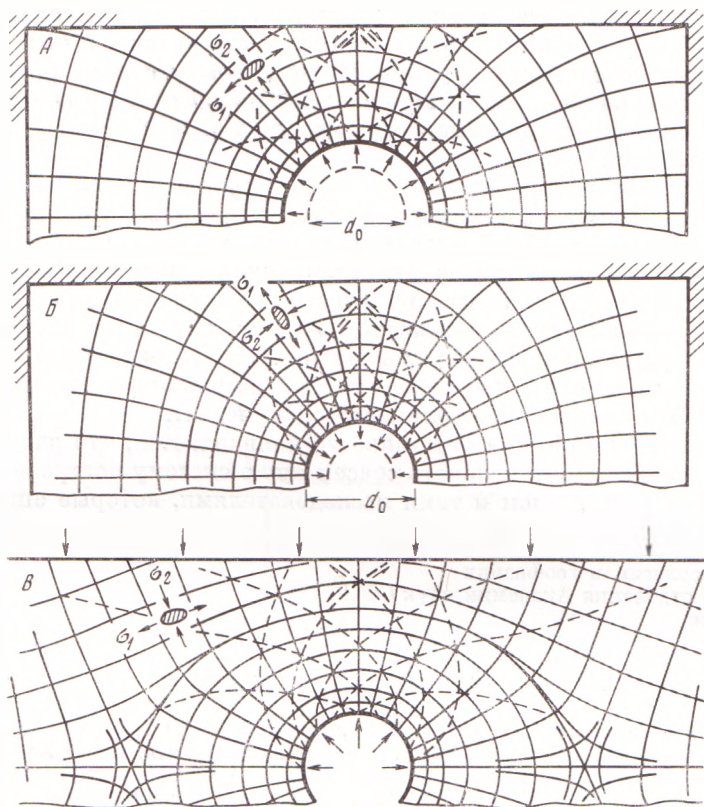


Рис. 1. Поле напряжений над камерой, оказывающей давление на фотоупругий материал в полуограниченном пространстве: А, Б — без внешней нагрузки, В — с внешней нагрузкой. Стрелками показано увеличение или уменьшение размеров камеры относительно ее первоначального диаметра d_0 . Сплошными линиями показаны траектории нормальных напряжений, пунктирными — траектории касательных напряжений

действие его на среду существенно ослаблено, но и повсеместно над этим очагом (рис. 1 А).

Во-вторых, уменьшение очага расширения путем отсасывания воздуха или жидкости до размеров, меньших первоначального, при котором модель была оптически изотопной, приводило к смене ориентировки сжимающих и растягивающих усилий в поле траекторий нормальных напряжений. Это вполне соответствует реальной смене соотношения P_i и P_s . Спад внутреннего давления до уровня, более низкого, чем внешнее давление, приводит в таких условиях к закрытию системы конических трещин и созданию потенциально благоприятной обстановки для расслоения вдоль сферических поверхностей (рис. 1 б).

В-третьих, в условиях внешнего давления, имитирующего влияние гравитационного или регионального поля напряжений, изохромы образуют вокруг очага расширения систему эллиптических поверхностей с главной осью, параллельной внешнему давлению. Траектории нормальных напряжений изгибаются таким образом (рис. 1*B*), что их можно легко сопоставить с расчетными, вычисленными Оде⁽¹⁰⁾ для случая Испанского Пика в Колорадо на основании предпосылок, предложенных ранее Андерсоном⁽¹⁾.

При значительном снижении внутреннего давления камера начинает деформироваться, вследствие чего возникает поле напряжений, аналогичное наблюдаемому над кровлей горных выработок, туннелей и других подземных сооружений. В этих условиях могут реализоваться сколы, выработанные на поверхности круто наклоненными от центра разломами, по которым отчленяемые ими блоки как бы «задавливаются» в камеру, неспособную выдерживать давление с их стороны вследствие дефицита внутреннего давления.

Подводя итог обзору результатов проведенных экспериментов, следует подчеркнуть, что они позволяют достаточно определенно подтвердить правильность построений Андерсона для системы конических пластов и кольцевых даек, хотя и вносят в эти построения существенные уточнения. Вместе с тем, опыты показывают, что в поле региональных напряжений, вызванных возникающим в земной коре тем или иным распределением усилий вокруг внедряющегося магматического купола, происходят принципиальные изменения в расположении нормальных и касательных напряжений. Эти изменения хорошо видны на рис. 1*B*.

По результатам опытов отчетливо устанавливается, что для вертикальных даек необходимо привлекать совсем иную систему построений, чем это предлагается Андерсоном и теми исследователями, которые опираются на его концепцию.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
17 XII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. M. Anderson, Proc. Roy. Soc. Edinburgh, v. 56, Part 2 (1936). ² E. M. Bailey et al., Mem. Geol. Surv. Scotland, Edinburgh, 1924. ³ L. Buch, Ueber Erhebungskratere und Vulkane. Poggendorfs. Ann., B. 37, 169 (1836). ⁴ R. Daly, Igneous Rocks and the Depths of the Earth., N. Y.—London, 1933. ⁵ E. Durrance, Proc. Geol. Assoc. London, v. 78, Part 2, 289 (1967). ⁶ E. Eaton, K. Murata, Science, v. 132, 925 (1960). ⁷ G. Gilbert, Report on the Geology of the Henry Mountains, Washington, 1877. ⁸ Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Петрография, Л.—М.—Новосибирск, 1933. ⁹ Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Изв. СПб. политехнич. инст. отд. техн., естеств. и матем., в. 20 (1913). ¹⁰ H. Ode, Bull. Geol. Soc. Am., v. 68, № 5 (1957).