Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьс
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
1987, т. 112

УДК 551.24:254.222

МИНЕРАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ - ИНДИКАТОРЫ ПОЛЕЙ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ В ПЕГМАТИТАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ

В.Н.МОРАХОВСКИЙ, В.О.ГРИГОРЬЕВ

Любые минералы, из которых состоят горные породы, несут информацию о тектонических условиях кристаллизационной и эпигенической стадий их развития. В первом случае эти условия выражены в основном фактором P термодинамической обстановки, в которой формировался магматический, метаморфический, гидротермальный или гипергенный минеральный агрегат. Влияние P подтверждается нередко самим фактом присутствия того или иного минерала, его формой, составом, внутренним строением и взаимоотношениями с другими минералами. Эпигеническая стадия характеризуется в основном различными деформациями минерального агрегата, проявляющимися в изменении формы и размера минеральных зерен, их растрескивании, перекристаллизации, замещении и других изменениях, приводящих, в зависимости от их интенсивности, к образованию пород, обладающих иными свойствами. Тектонический режим этой стадии имеет кинематическое выражение, поскольку невозможно установить значение упругой составляющей палеонапряжений [5]. Принципиальная роль минералов как индикаторов палеотектонической обстановки для различного типа минерагенеза показана в таблице.

Различные виды деформаций как отдельных минералов, так и их агрегатов дают безусловную информацию о характере и времени действия тектонических напряжений. Повышенные пористость и трещиноватость, приобретенные минеральными телами, создают благоприятные условия для импульсов нового минерагенеза, причем особое значение в данном случае имеют наложенные метасоматические формы, ассоциирующие с регрессивной стадией метаморфизма. Отличительной чертой регрессивного метаморфизма является локализация тектогенеза внутри зон определенной формы и размеров, обычно изолированных и разобщенных интервалами недеформированных пород. Деформации регрессивной стадии, кроме того, характеризуются преимущественно хрупкой реализацией напряжений в форме микротрещин на ранних этапах и макротрещин диаклазового типа на более поздних, до параклазов на заключительном этапе. Процессы тектогенеза и минерагенеза регрессивной стадии взаимосвязаны и взаимообусловлены, поэтому достаточно сложно анализировать их, абстрагируя один от другого. Очевидно существование двух форм минерагенеза после развития деформаций: I) полное восстановление сплошности минералов путем реставрации кристаллических решеток - в этом случае палеодеформации недиагностируемы; 2) восстановление сплошности захваченных трещиноватостью

Параметр	Процесс			
	магматический	метаморфический		гидротермальный
		прогрессивный	регрессивный	
Тип тел	Тела выполнения	Тела, унаследованные от осадочных и магматических тел. Зоны контактового метаморфизма. Специфические тела (будины, мигматиты и др.)	Тела перекристаллизации и замещения (ранняя стадия) и зоны грануляции (поздняя стадия)	Тела выполнения, в краевых частях – тела замещения
Тип минеральной среды	Сплошные минеральные массы	Сплошные минеральные массы	Отдельные минералы, их группы, сплошные массы	Сплошные массы, в краевых частях – отдельные группы, единичные минералы
Индикация тектогенеза	Минеральные парагенезисы. Состав и внутреннее строение минералов. Текстуры течения и отжимания	Размерность и взаимоотношение складчатостей, текстурные характеристики. Кристаллизационная деформация. Парагенезисы	Морфология и ориентировка тел метасоматоза, перекристаллизации и милонитизации. Внутренняя структура. Позиция групп и единичных бластокристаллов	Внутренняя структура жил. Ориентировка и состав отдельных минералов, формирующих жилы
Тип тектонического воздействия. Вид деформации	Давление и характер его изменения внутри магматического очага	Давление литостатическое и литодинамическое		Давление в гидротермальной системе и характер его изменения. Хрупкая и пластическая деформации выделившихся минералов
		Деформация пластическая, частично хрупкая	Хрупкая деформация диаклазовая (преимущественно ранняя стадия) и параклазовая (преимущественно поздняя стадия)	

объемов путем развития по ней метасоматических минералов или собирательной перекристаллизации существовавших. Во втором случае фиксация деформаций и, следовательно, диагностика с помощью определенных методов вызвавших их напряжений становятся задачей вполне осуществимой. Заключительные фазы регрессивного тектогенеза, выраженные зонами параклазовых нарушений и имеющие четкие кинематические характеристики, могли изучаться традиционными способами структурного анализа разрывной тектоники.

Тектоническая обстановка формирования минерального агрегата определялась путем структурного и микроструктурного анализа многими исследователями [2, 4, I4, I5, I9-2I]. В результате получены данные, позволяющие, с одной стороны, качественно оценить общий характер действовавших в период минерагенеза тектонических сил, с другой – установить направление и относительную величину обусловленных этими силами напряжений [4]. Путем анализ

пространственного положения кристаллографических элементов минералов, возникших в регрессивную стадию, изучались деформационные условия этой стадии [I, 6, I6], что дало возможность расчленить общий тектонический цикл эпох метаморфического развития некоторых регионов на отдельные фазы и определить для каждой из них тектонофизическую обстановку.

Решение проблемы определения палеотектонических условий формирования диаклазовой трещиноватости по наложенному на нее минерагенезу потребовало выбора объектов, которые отличались бы, с одной стороны, механической однородностью, с другой – незатушеванностью последовательно сменявших друг друга деформационных фаз. Такими объектами явились тела мусковитовых и керамических пегматитов, развитых в гранитоидных массивах Северо-Байкальского региона [I3]. Применявшаяся методика базировалась на фактах приуроченности кристаллов, имеющих перекристаллизационно-метасоматический генезис (полевые шпаты, слюды, турмалин и др.), к системам трещин, пронзавших как гранитоидные породы, так и сами пегматиты. Возникновение и развитие трещин происходило по законам хрупкой деформации твердого тела в условиях сложно напряженного состояния [7-I0], с преимущественной реализацией микротрещин на ранних стадиях и макротрещин отрыва – на поздних (принципиального отличия в механизме образования всех видов рассматриваемой трещиноватости не отмечается). Более поздняя трещиноватость характеризуется более протяженными поверхностями, развитие метакристаллов по которым и привело к цепочечному их расположению в эрозионном или искусственном срезе [II, I2]. Цепочечные структуры представляют собой частный, хотя и наиболее яркий пример выражения трещинной тектоники.

Самые ранние микротрещины отрыва образуются в объемах, имеющих определенную форму и пространственную ориентировку, в условиях критической

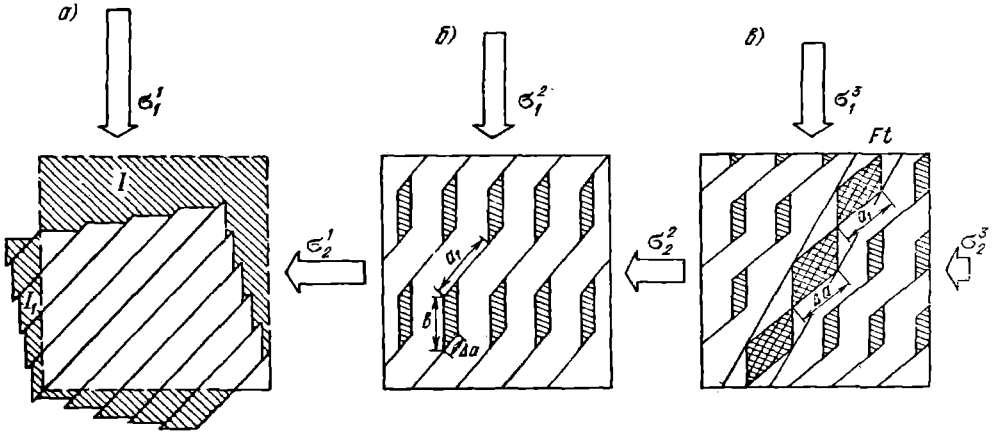


Рис.1. Схема развития деформаций в условиях всестороннего неравновесного сжатия: а – пластические деформации, прогрессивная стадия метаморфизма; б, в – преимущественно хрупкие деформации, регрессивная стадия метаморфизма

$S_I \quad S_{I_1}; \Delta S \approx 0$; ΔS – приращение объема деформируемой среды за счет открытия микротрещин отрыва (по А.Н.Ставрогину [18]), $\Delta S \quad b\Delta a n \quad n$ – число микроэлементов $b\Delta a$; сброс Ft возникает при условии $\Delta a \quad a_1$

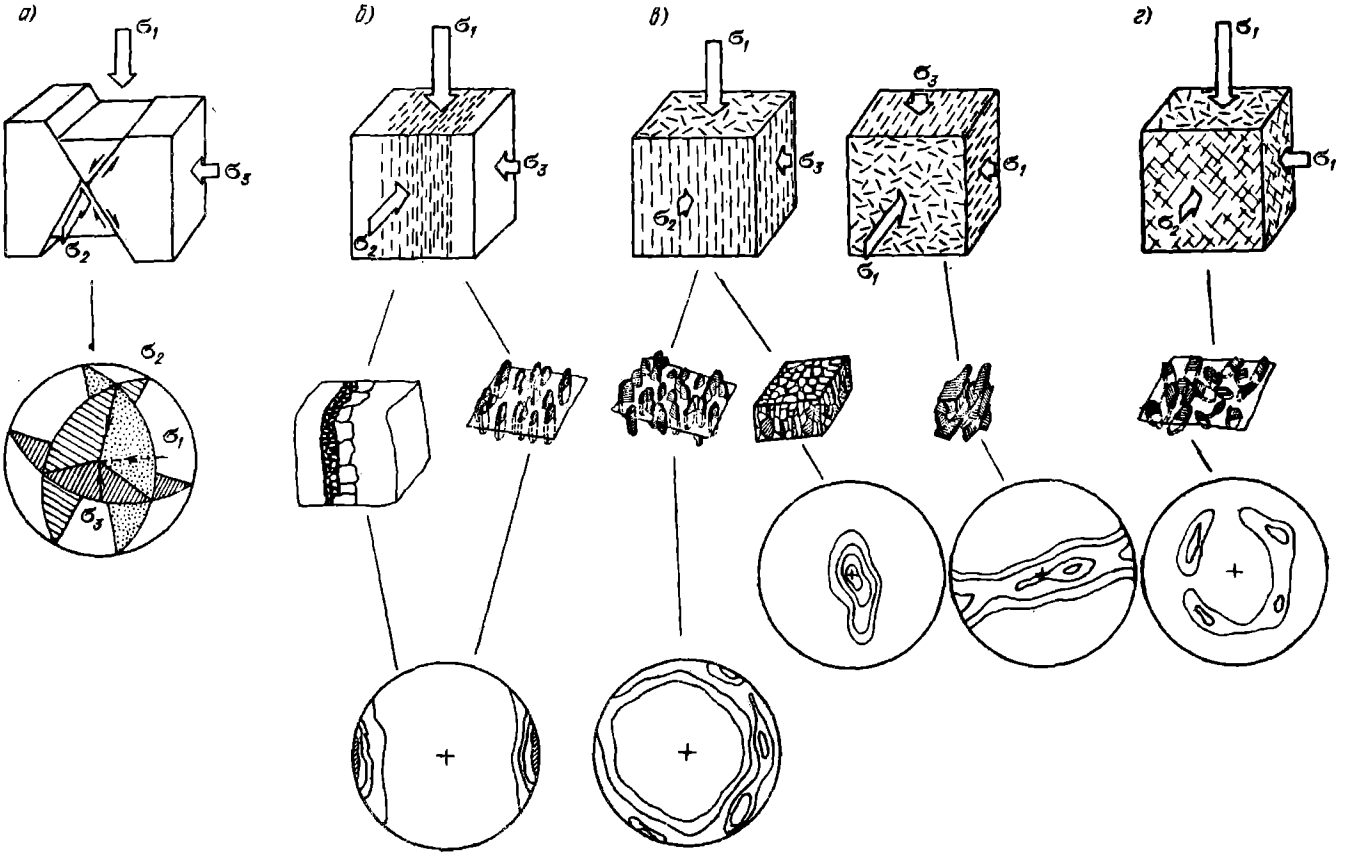


Рис.2. Фиксация трещинных деформаций: а – параклазового типа; б–г – диаклазового типа с субпараллельным (б), поясным (в) и конусным (г) расположением палеотрещин

неравновесной напряженности [17, 18]. По-видимому, в это время микрополости (Δab в плоскости чертежа рис.1) служат очагами для начала кристаллизации зародышей минералов, врастающих затем во вмещающую породу с сохранением соответствующей ориентировки пояского при $\sigma_2 \approx \sigma_3$ или полюсного при $\sigma_3 \ll \sigma_2$ характера уплощений (на рис.1 вектор $\bar{\sigma}_3$ перпендикулярен плоскости чертежа). При дальнейшем развитии микротрещин процесс хрупкой деформации приводит к образованию нескольких вариантов систем трещиноватости (рис.2). В средней и нижней частях рис.2 показаны приемы определения трещин с помощью диаграмм ориентировки соответствующих минеральных форм. Возникновение системы субпараллельных трещин фиксируется соответствующей ориентировкой зон перекристаллизации и метасоматических минералов, формирующихся в свободной, однородной среде либо наложенных на уже существующую структурную деталь; эта ориентировка характеризуется полярным типом сферограмм (рис.2,б). При поясном развитии трещин, предоставляющем наиболее распространенный тип ориентировки минералов-метасом, возможен рост минералов или переотложение минерального вещества по

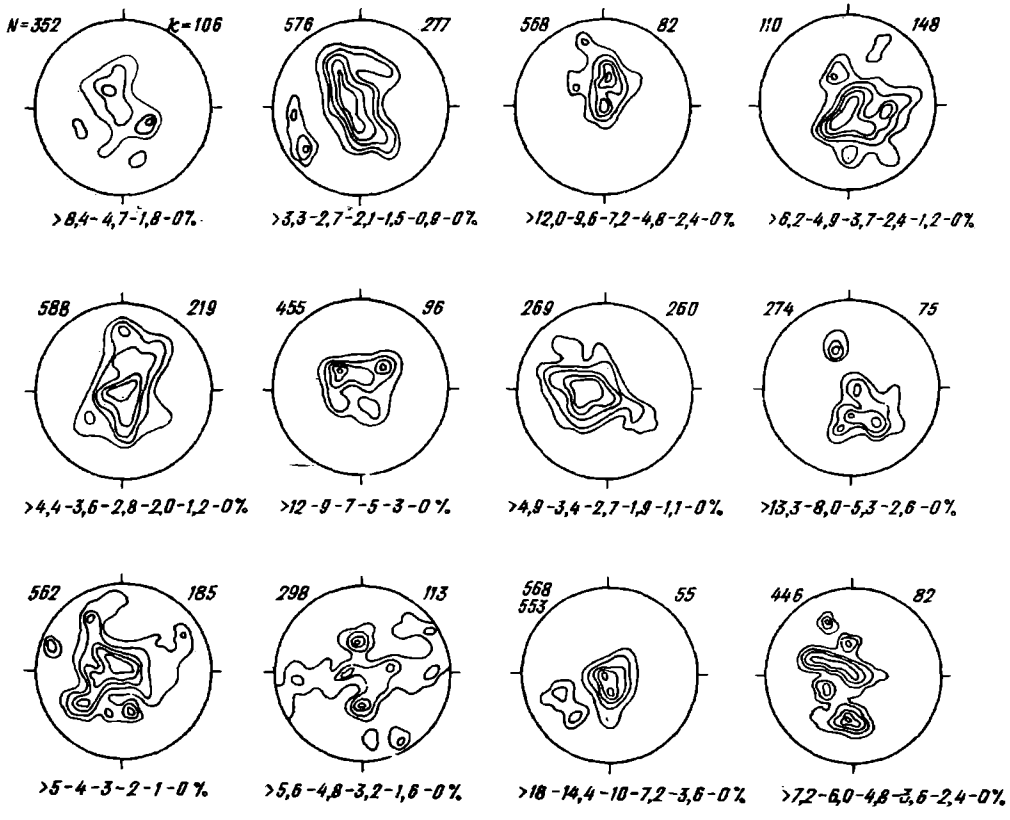


Рис.3. Диаграммы ориентировок осей удлиненных ихтиоглиптов и сегрегаций кварца в полевых шпатах по жилам
N - номер жилы; k - число образцов

пересечением этих трещин с образованием структурных форм стержневого характера, параллельных между собой и параллельных вектору наибольшего главного напряжения (рис.2,в). Такая ориентировка может наблюдаться у стержневидных ихтиоглиптов кварца (рис.3), лейстовидных кристаллов биотита (рис.4), призматических кристаллов шерла, берилла и пр. Результаты статистической обработки подтверждают существование устойчивого максимума ориентировки осей данных форм, несмотря на то, что замеры производились на жилах с разными геологическими особенностями, которые были пространственно разобщенными и находились в центральной и юго-западной частях региона. Так, в частности, фиксируется вектор вертикального положения напряжения, обусловленного действием силы тяжести. Изолинии, окружающие максимумы на разных диаграммах, имеют преимущественную ориентировку, отражающую общий структурный план пегматитовых тел, который характеризуется азимутами: 0°; СВ 20-25°; СВ 70°; СЗ 300°; СЗ 345° [9]. Наконец, случай конусной ориентировки структурных элементов (см. рис.2,г) обусловлен развитием конусных систем трещин сдвигового типа, сопряженных с трещинами отрыва, симметричными относительно вектора $\overline{\sigma}_1$.

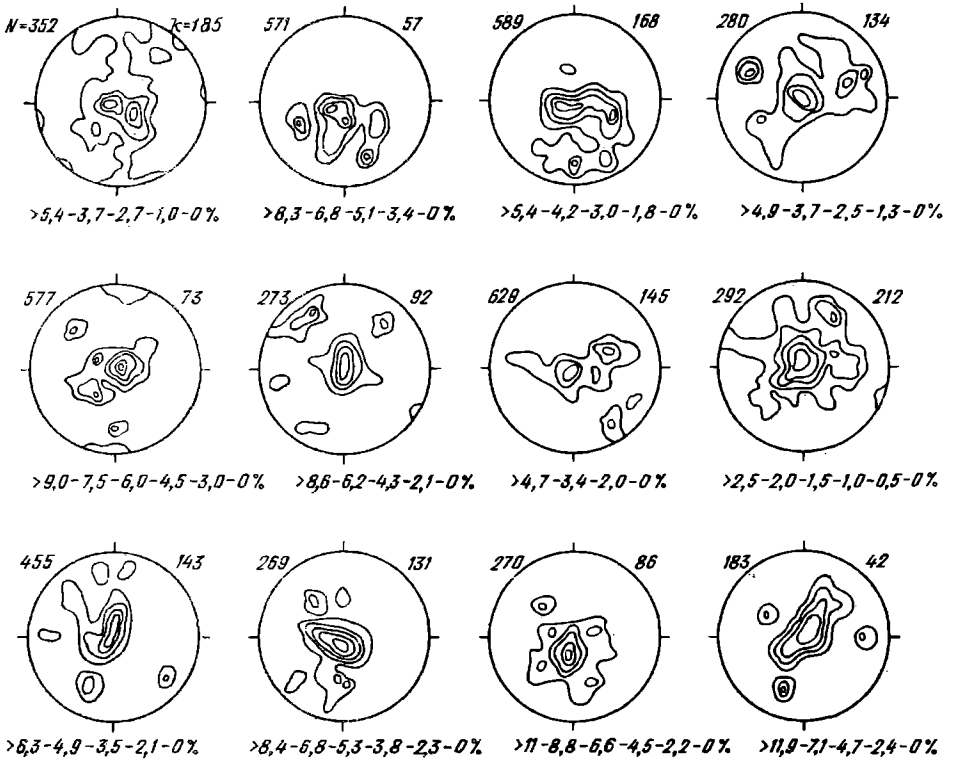


Рис.4. Диаграммы ориентировок осей крупнолейстового биотита по жилам Северо-Байкальского и Карело-Кольского регионов
Усл.обозначения см. рис.3

Анализ пространственной позиции кристаллографических элементов минералов метаморфических пород, вмещающих пегматитовые тела, по данным полевых наблюдений и микроструктурного анализа в 18 ориентированных шлифах показал, что основная масса минералов ориентируется в соответствии с правилами, сформулированными А.Н.Казаковым [3] и Ю.М.Соколовым [16]. Так, в частности, подтверждена четкая зависимость позиций осей дистена, кварца, биотита от общего структурного плана Мамского синклинория и деталей локальных пликативных форм.

Однако вблизи некоторых жил часть минералов ориентируется в соответствии со структурным планом пегматитовых тел, который существенно отличается от главных структурных характеристик регионального масштаба. Так, например, ориентировка осей кварца в гнейсах экзоконтакта жилы 117 Согдиондонского месторождения СВ 30^0, что, не совпадая с соответствующими текстурными элементами вмещающих пород, полностью согласуется с ориентировкой большинства жил данной части региона. Подобные факты отмечаются и на площади Колотовского месторождения, находящегося на расстоянии более 100 км от упомянутой жилы. Это свидетельствует о том, что некоторые минералы метаморфических толщ росли во время регрессивной стадии, в обстановке тектогенеза изменившихся, по сравнению с предыдущей прогрессивной стадией, условий.

Таким образом, большинство минералов перекристаллизационного или метасоматического происхождения в рассмотренных примерах причинно связаны со значением и направлением имевших место в период минерагенеза напряжений. Пространственная позиция и ориентировка минеральных индивидов и их групп определяются позицией микро- и макротрещин диаклазового типа, с плоскостями, заданными векторной направленностью главных напряжений. Методологическое значение работы состоит в возможности определения особенностей тектогенеза наложенной эндогенной минерализации, ассоциирующей с трещинной деформацией пород. Для этого надо проанализировать статистически обработанный материал структурных элементов этой минерализации. Пегматитовые тела представляют собой наиболее информативный объект, иллюстрирующий возможности использования данного метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великославинский Д.А., Казаков А.Н., Соколов Ю.М. Мамский комплекс Северо-Байкальского нагорья. Тр.ЛАГЕД АН СССР, 1963, вып. 17. 225 с.

2. Елисеев Н.А. Структурная петрология. Л., Изд-во ЛГУ, 1953. 309 с.

3. Казаков А.Н. Структура мамской серии. – В кн.: Мамский комплекс Северо-Байкальского нагорья. Тр.ЛАГЕД АН СССР, 1963, вып. 17, с.45-73.

4. Казаков А.Н. Методическое руководство по динамическому анализу микроструктурных ориентировок карбонатов. Л., Наука, 1967. 109 с.

5. Крейтер В.М. Поиски и разведка полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1940. 790 с.

6. Миллер Ю.В. Тектонометаморфические циклы. Л., Наука, 1982. 159 с.

7. Мораховский В.Н. О возможности определения полей критических палеонапряжений по положению кристаллов-метасом. - В кн.: Внутренняя геодинамика. Л., изд. ИГД, 1972, вып. 3, с. 96-97.

8. Мораховский В.Н. Определение полей критических палеонапряжений по положению кристаллов-метасом в пегматитах. В кн.: Механика литосферы. М., изд. НТО „Горное", 1974, с. 164-166.

9. Мораховский В.Н. Тектонофизические условия формирования мусковитоносных пегматитовых тел. - В кн.: Геология, поиски и разведка нерудных полезных ископаемых. Л., изд. ЛГИ, 1978, вып. 4, с. 81-91.

10. Мораховский В.Н. О значении эффекта А.Н.Ставрогина для изучения условий зарождения и начальных стадий роста минералов в твердой среде. - В кн.: Геология, поиски и разведка нерудных полезных ископаемых. Л., изд. ЛГИ, 1982, вып. 6, с. 46-50.

11. Никитин В.Д. К теории генезиса пегматитов. - Зап. ЛГИ, 1955, т. 30, вып. 2, с. 44-117.

12. Никитин В.Д. Пегматитовые месторождения. - В кн.: Генезис эндогенных месторождений. М., Недра, 1968, с. 84-151.

13. Основы металлогении метаморфических поясов докембрия. Л., Наука, 1984. 339 с.

14. Полканов А.А. Геологические исследования в районах магматических и метаморфических пород. М.-Л., Научтехиздат, 1934. 40 с.

15. Пэк А.В. Трещинная тектоника и структурный анализ. М., Изд-во АН СССР, 1939. 152 с.

16. Соколов Ю.М. Вторичная линейность в породах Чуйского геоантиклинория (Северо-Байкальское нагорье). - В кн.: Деформации и структуры докембрийских толщ. Л., Наука, 1967, с. 115-121.

Ставрогин А.Н. Исследование предельных состояний и деформации горных пород. - Физика Земли, 1969, № 12, с. 3-17.

18. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. М., Недра, 1985. 271 с.

19. Rамberg H. The origin of metamorphic and metasomatic rocks. Univ. Chicago Press, 1952. 317 p.

20. Sander B. Gefugekünde der Gesteine. Wien, 1930. 352 p.

21. Turner F.J., Weiss L.E. Structural analysis of metamorphic tectonites. N.Y., 1963. 545 p.