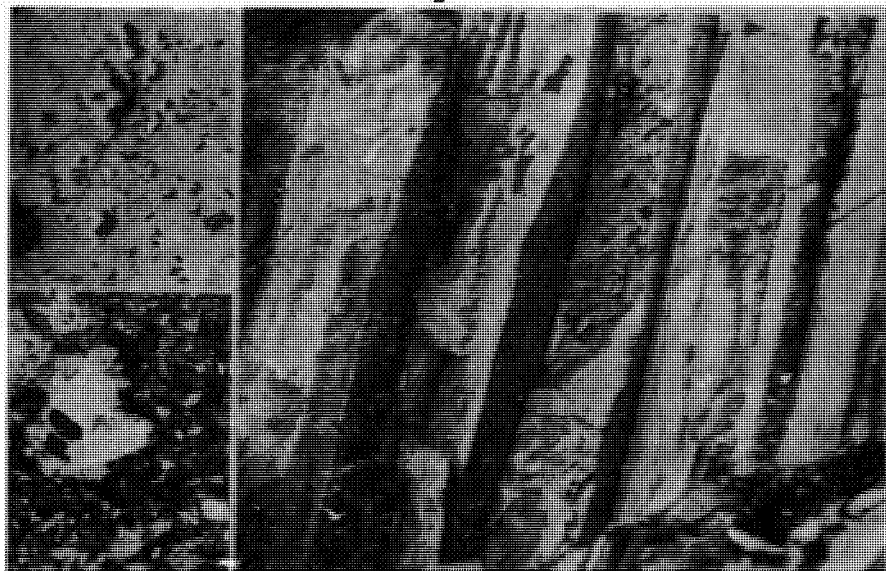


Г.А.Голодковская
М.Матула
Л.В.Шаумян



ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И ИЗУЧЕНИЕ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

**Г.А.Голодковская
М.Матула
Л.В.Шаумян**

**ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ
ТИПИЗАЦИЯ
И ИЗУЧЕНИЕ
СКАЛЬНЫХ
МАССИВОВ**

**Издательство
Московского
университета
1987**

Голодковская Г. А., Матула М., Шаумян Л. В. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов — М.: Изд-во МГУ, 1986 — 272 с

Книга посвящена важной проблеме инженерной геологии — оценке скальных массивов, выполненной в рамках научного сотрудничества между Московским и Братиславским университетами. Массив горных пород рассматривается как сложная геологическая система, в которой все элементы взаимосвязаны и взаимобусловлены. Обращается внимание на наиболее существенные характеристики массива: вещественный состав (горные породы), размеры, формы, взаимное расположение и связи основных элементов системы.

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Г. С. Золотарев**,
кандидат геолого-минералогических наук
И. А. Парабучев

**Галина Андреевна Голодковская, Милон Матула,
Лорина Вагграмовна Шаумян**

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ И ИЗУЧЕНИЕ
СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ**

Зав редакцией *И. И. Щехура*. Редактор *Л. М. Батыгина*. Художник *А. А. Кущенко*.
Художественный редактор *Е. М. Дёмина*. Технический редактор *Л. Р. Черемискина*.

Н/К

Сдано в набор 24.10.86. Подписано в печать 05.03.87. Л-63083. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офс. № 1.
Гарнитура литературная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 16,76. Тираж 500 экз. Заказ 432.
Цена 1 р. 30 к. Заказное.

Ордена «Знак Почета» издательство Московского университета
103009, Москва, ул. Герцена, 5/7.
Типография ордена «Знак Почета» изд-ва МГУ. 119899, Москва, Ленинские горы

077(02)—87 — заказное

© Издательство Московского университета, 1987 г

ВВЕДЕНИЕ

Требования строительства и горного дела к изучению скальных горных пород непрерывно растут. Становится все более очевидным, что для принятия оптимальных проектных решений, производства инженерных работ, эксплуатации сооружений необходимо знать не только (и даже не столько) физико-механические свойства горной породы как естественной ассоциации минеральных частиц, обладающей структурными связями различной природы, но и инженерно-геологические параметры, характеризующие массив горных пород, т. е. геологическое тело, имеющее определенную внутреннюю структуру. В современной инженерно-геологической литературе приводится достаточно много определенных понятий «массив горных пород», «скальный массив», «массив скальных пород», «горный массив». Не вдаваясь в их критический анализ, отметим, что все авторы под массивом понимают геологическое образование (сложное, составное тело), при инженерно-геологическом изучении которого необходимо учитывать его дискретность, обусловленную различными нарушениями сплошности: трещиноватостью, слоистостью, сланцеватостью, кавернозностью. Именно эти поверхности ослабления определяют неоднородность и анизотропность физико-механических и фильтрационных свойств скальных массивов, их деформируемость, устойчивость и напряженное состояние в значительно большей степени, чем соответствующие параметры слагающих массив горных пород. Более того, особенности внутренней структуры массива могут сообщить последнему новые свойства.

Изучение скальных массивов важно прежде всего при инженерно-геологической оценке оснований сооружений, устойчивости бортов, не менее важно и региональное изучение массивов горных пород при картировании, для сравнительной оценки вариантов гидротехнических створов, линейных сооружений различного назначения, выбора строительных площадок, для правильного понимания инженерно-геологических особенностей конкретных массивов как составной части крупных региональных единиц.

Для интерпретации, экстраполяции, описания и оценки необходимо классифицировать массивы, обоснованно выделять в них квазиоднородные единицы, в границах которых справедливы данные об инженерно-геологических свойствах, полученные путем сложных и дорогих отдельных определений. Нужно стремиться к созданию такой таксономической классификации массивов горных пород, построенной по единому принципу, в которой элементы

низшего порядка являются составной частью (структурным элементом) единиц высшего порядка. Единицы высшего порядка при этом должны рассматриваться как доминирующие, контролирующие характер своих составных элементов.

Именно такой системный подход и приемы системного анализа использованы в предлагаемой книге при типизации скальных массивов и их характеристике. Они рассматривают массив горных пород как сложную систему, имеющую собственную внутреннюю организацию (внутреннюю структуру), в которой все составляющие ее элементы взаимно связаны и взаимно обусловлены. При этом в первую очередь обращается внимание на наиболее существенные характеристики массива: а) вещество, слагающее основные элементы системы (в данном случае это литологическая информация, выраженная через наименование геологических формаций, геолого-генетических комплексов пород и т. д.), и б) структуру системы, которую создают размеры, форма, взаимное расположение, соотношения и связи основных элементов системы (в данном случае это размеры геологических тел разных порядков, их форма, плотность в строении массива, условия залегания, система дисконтинуальностей и др.).

Инженерно-геологическая типизация скальных массивов и подход к ее составлению, принятые в предлагаемой работе содержат ряд дискуссионных положений, часть из которых обусловлена необходимостью определенного компромисса, неизбежного при создании подобных работ учеными разных школ. Несомненно она будет с интересом встречена специалистами в области инженерной геологии скальных пород как в нашей стране, так и в ЧССР.

Обоснование системного подхода к изучению скальных массивов и типологическая классификация последних составляют первый раздел текстовой части книги. Во втором разделе приводится описание наиболее информативных методов изучения инженерно-геологических характеристик скальных горных пород и слагаемых ими массивов. Особое внимание при этом обращается на рациональное комплексирование различных методов, необходимость широкого использования качественных и полуколичественных характеристик.

Самостоятельное значение имеет вторая часть книги — Атлас массивов скальных пород. Подобный атлас в мировой инженерно-геологической литературе публикуется впервые. Основное его назначение — сравнительная характеристика различных типов горных пород и слагаемых ими массивов. Создание атласа потребовало выполнения значительной работы по подбору информативных характеристик массивов и горных пород, их систематизированному описанию, стандартизации методов испытаний, разработки кодов для формализованного описания параметров.

Приведенная в атласе характеристика массивов комплексна, систематична, наглядна и является хорошей базой для типизации. При достаточном количестве подобных паспортов последние

можно использовать как эталоны для классифицирования изучаемых в поле массивов и предварительной характеристики их инженерно-геологических параметров. Естественно, что для этой цели потребуются еще большая работа по увеличению количества эталонных типов пород, их коррелированию и т. д., но первый и весьма важный шаг в этом направлении сделан.

Предлагаемая читателю работа — совместный труд кафедры грунтоведения и инженерной геологии Московского университета и кафедры инженерной геологии Братиславского университета. В работе принимали участие сотрудники указанных кафедр — А. Хиянкова, Р. Хольцер, Н. А. Румянцева (составление атласа, разработка структуры паспортов, сбор материала, унификация методик полевого описания и лабораторных определений, контрольных опытов для проверки сходимости данным, полученных в лабораториях обоих университетов).

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Горные породы в земной коре — сложный геологический объект. Даже при самом всестороннем изучении трудно определить все его свойства. Многие дисциплины, исследующие горные породы (стратиграфия, петрология, геохимия, геофизика, механика грунтов, горное дело и др.), имеют общий объект, но отличаются предметом, целями изучения и некоторыми методами и средствами получения знаний.

Предметом изучения горных пород в инженерной геологии являются все их характеристики, обуславливающие поведение геологической среды во взаимодействии с инженерно-хозяйственными мероприятиями и различными инженерными сооружениями: состав, структура и текстура горных пород как материала, слагающего породные массивы; неоднородность, анизотропия и пространственная изменчивость свойств горных пород и их массивов на разных уровнях рассмотрения; форма геологических тел, образуемых горными породами в различных геолого-структурных условиях; физическое состояние горных пород массива, прежде всего их выветрелость, дисконтинуальность, обводненность и напряженное состояние.

Цель инженерно-геологического изучения — получение информации, на основе которой можно планировать и проектировать оптимальное использование геологической среды для возведения инженерных сооружений, прогнозировать их воздействие на геологическую среду и предлагать защитные мероприятия против неблагоприятных последствий их взаимодействия. Сотрудничество инженеров-геологов и строителей при проектировании и осуществлении защитных мероприятий — необходимое условие получения эффективных результатов.

Инженерная геология тесным образом связана с рядом геологических и других естественных и физико-математических наук, данные которых являются входными данными в ее информационную систему. С другой стороны, инженерно-геологическую информацию можно рассматривать как вывод в другие дисциплины, относящиеся главным образом к прикладным техническим наукам. В последнее время информация инженерной геологии все шире используется в общегеологических построениях. Кроме собственных, инженерная геология применяет (как одна из самых современных наук, находящихся на стыке многих отраслей) много методов и технических средств, разработанных в других дисциплинах.

Всюду, где в современной науке при комплексном изучении самых различных природных и социальных явлений встречаются трудности, с успехом применяется системный подход. Он возник как целостный подход к объектам познания и точнее всего сформулирован и использован в марксистской диалектике. В нашем веке он развивался и конкретизировался в понятиях систем, их организации, работоспособности и т. д.

При системном изучении анализируемый объект рассматривается как определенное множество элементов (субсистем), взаимная связь и взаимодействие которых обуславливают свойства и общий характер этого множества. Элементы системы рассматриваются как целостные неделимые единицы, внутренние свойства элементов, создающих систему, а главным образом сеть их взаимных отношений и связей создают структуру системы. Структура является относительно постоянным, инвариантным компонентом (аспектом) системы и ее свойств (в первую очередь расположением элементов и их связей), характеризующим внутренние качества системы, ее внешние качества как целого по отношению к окружающей среде проявляются в ее поведении, т. е. в способе реагирования системы на внешние непреднамеренные и преднамеренные импульсы. Структура и поведение системы тесно взаимосвязаны, по мере необходимости внутреннюю структуру системы можно изучать, абстрагируясь от ее внешнего поведения.

При системном анализе специальные науки подходят к реальным сложным объектам всегда с определенной точки зрения, которая вытекает из цели изучения. При этом выделяются из реального явления только некоторые его стороны. Другими словами, реальный объект превращается при определенном способе упрощения в специализированную модельную систему. В зависимости от задачи, которая решается при изучении геологической среды, один и тот же реальный объект (образец горной породы при лабораторных исследованиях, массив горных пород в основании любого сооружения или крупная геолого-структурная единица при региональном изучении) можно превратить в любое количество модельных систем, специализированность которых в каждом конкретном случае является выражением определенной направленности исследования. Важно отметить, что при подобном упрощении нельзя упускать такие элементы (отношения и функции), которые являются существенными, т. е. системообразующими, для данной модели и ее реального прототипа.

Теория систем в настоящее время достаточно хорошо разработана наукой, методологические принципы и методические приемы которой имеют большое значение для развития специальных наук. Системный подход, реализуемый в системном анализе, можно рационально использовать и в изучении геологической среды. При изучении систем в каждом конкретном случае необходимо выделить анализируемую систему в согласии с целью исследования, определить ее основные элементы, части или подсистемы, установить существенные, системообразующие отношения и связи

между элементами, которые характеризуют ее структуру и определяют их взаимодействие, оказывающее влияние на работоспособность системы; рассмотреть возможности применения системных моделей; разработать и показать пути формализации их количественного описания.

ВЫДЕЛЕНИЕ СИСТЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЦЕЛЕЙ ИЗУЧЕНИЯ

Если рассматривать инженерно-геологические условия территории как систему (Бондарик, 1971; Матула, 1978 и др. применяют в этом смысле термин «инженерно-геологическая система»), то в ней можно по горизонтали выделить следующие составляющие ее компоненты: горные породы, подземные воды, рельеф поверхности, геодинамические явления (как проявление взаимодействия между перечисленными составляющими, отражающими динамику системы). По вертикали можно выделить системы на разных таксономических уровнях. Таким образом, системы инженерно-геологических условий получают иерархическое строение, в котором, например, в понятиях инженерно-геологического районирования будут различаться: регион как система I порядка, инженерно-геологическая область — система II порядка, район — система III порядка и инженерно-геологический участок — система IV порядка.

В типологической классификации массивов горных пород, предложенной в настоящей работе, представлена только одна составляющая инженерно-геологической системы. Горные породы и образуемые ими тела рассматриваются как обособленные, относительно независимые системы, имеющие иерархическое строение. Подземные воды, рельеф и геодинамические явления (например, оползни, карст и др.) при этом рассматриваются как системы внешней среды, с которыми горные породы находятся в закономерном взаимодействии. Системами внешней среды можно пренебречь только условно в определенных случаях системного анализа (например, при описании элементов и структуры горных пород, но не при характеристике динамики и поведения их в природных условиях).

При системном изучении горной породы на каждом таксономическом уровне следует определить, из каких основных частей или элементов она состоит (например, образец горной породы — из минералов, слой трещиноватых известняков — из элементарных блоков или обломков, литологический комплекс — из петрографических типов, формация — из литологических комплексов), какой системой взаимных отношений и связей эти элементы обуславливают существование данного целого, а также каковы отношения элементов к целому (субсистеме) и отношения целого к окружающей среде (к внешней среде). В процессе такого изучения важно так же установить, какие изменения претерпевает целое в результате определенных изменений в элементах или в их отно-

шениях, какие последствия вызовут изменения определенных элементов или всей системы данной таксономической единицы в окружающей среде и наоборот.

При определении этих вопросов и при выделении и определении анализируемой системы решающую роль играют назначение и цель исследования. Например, мы говорим об общем системном анализе породных массивов, об общих системах (системных моделях), когда анализ носит характер описания существенных, системообразующих свойств с использованием типологических критериев и основан на эмпирическом наблюдении (параметрическое описание), на определении взаимных зависимостей между теми показателями, которые являются материальной основой единства целого или его однородного строения, или на определении функциональных зависимостей между параметрами, элементами и структурой целого. При этом не рассматривается взаимодействие анализируемого горного тела с инженерным сооружением или другими видами внешнего воздействия. При таком общем анализе наша цель — более глубокое исследование состава и свойств объекта, его структуры и иерархического строения, а также функциональных предпосылок его развития и поведения в природных условиях. Подобный подход — основа построения общих инженерно-геологических классификаций, типизации, районирования и т. д., а также оценки общего поведения геологических тел, без учета взаимодействия их с определенными инженерными сооружениями или реакции на другое вмешательство человека.

При анализе породных массивов как системы с точки зрения ее поведения при взаимодействии с определенным, конкретным техническим вмешательством, инженерной конструкцией, или определенным типом строительства требуется иной специальный подход для выбора и оценки системных параметров, их структуры и поведения, которые для каждого отдельного случая являются существенными и системообразующими. Так, при оценке устойчивости дисконтинуального массива горных пород в откосе глубокой дорожной выемки будут приниматься во внимание не только такие общие параметры, как литологический состав, степень расчлененности или блочности массива, разуплотнение, характер выполнения трещин, но и в первую очередь — отношение ориентировки дисконтинуальностей к поверхности откоса и к изменяющемуся полю внутренних напряжений в массиве. Такие параметры в дальнейшем становятся доминирующими при построении модельных систем с целью их специального анализа, или, другими словами, при изучении специальных (или прикладных) систем.

Назначение и цель системного анализа — решающие и для выбора модельной системы, если речь идет о ее состоянии и отношении к фактору времени. Геологическая среда, как все геологические объекты, — динамическая система, и ни одну прикладную задачу, связанную с ее изменением, преобразованием или взаимодействием с другими системами, нельзя решить без учета временного фактора. Существует, однако, целый ряд задач, когда можно

более эффективно анализировать некоторые стороны инженерно-геологической системы в виде статических систем, состояние которых, в отличие от систем динамических, существенным образом не зависит от времени и характеризует, таким образом, определенное в данный момент состояние развивающейся динамической системы, абстрагированной от фактора времени. Подходящим для них является использование названия квазистатические системы (как это сделал, например, Бондарик, 1971). Квазистатические системы представляют в какой-то степени научную абстракцию, которая помогает нам лучше оценить на каждый данный момент состояние постоянно изменяющегося реального объекта.

Одна из главных целей инженерной геологии — прогноз поведения системы при взаимодействии с внешней средой (включая вмешательство человека). При подобном анализе, кроме многих других параметров, на первый план выступает временная экстраполяция поведения системы, которую в данном случае следует называть прогнозной. Так как при специальном изучении геологических объектов трудно понять их современный характер и прогнозировать их дальнейшее развитие без выяснения закономерностей историко-геологического развития, при системном анализе часто приходится отдавать предпочтение аспектам исследования, требующим построения ретроспективных систем (Косыгин, 1974).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МАССИВАХ ПОРОД

За элемент (элементарную часть) каждой изучаемой системы принимают такую ее часть, которую целесообразно выделять на данном уровне изучения структуры и функции системы. На заданном уровне изучения нас прежде всего интересует не внутренний характер элемента, его состав и строение, а главным образом то, что делает, чему служит, какие системообразующие функции выполняет этот элемент в структуре изучаемого целого.

Разделение сложных объектов (в нашем случае массивов горных пород) на структурно-системные элементы всегда выполняется по наиболее информативным для решения поставленного вопроса критериям или характеристикам, имеющим небольшое рассеяние и при этом хорошо выражающим естественную сущность реальных систем и позволяющим разделить их на сравнимом уровне. Вопрос о том, что и когда считать системными элементами, зависит не только от цели и назначения исследования, но и от иерархического уровня, на котором анализируется система. Уровень рассмотрения определяет степень детальности модельного исследования (изучения редуцированной системы).

Иерархичность, иерархическое строение относится к основным свойствам системы. После изучения структуры определенного сложного объекта как системы можно перейти к более глубокому анализу его элементов (субсистем), выступающих на новом уровне в роли систем более низкого порядка (таксономического

уровня). Таким же способом системный анализ может продолжаться и на других, более низких уровнях. При изучении геологических тел нельзя не принимать во внимание наличие нескольких уровней и иерархичности, которые могут иметь, например, следующий таксономический порядок: минерал — элементарный блок горной породы — слой — комплекс слоев — формация горных пород.

В каждой системе можно выделить большое количество элементов разного характера. В настоящей работе исследуются только те элементы, которые в зависимости от цели и детальности изучения конкретно-определенной системы имеют существенное и незаменимое значение. У этих элементов определяются их системообразующие функции, причем особое внимание уделяется выделению и изучению системных элементов, имеющих решающее (положительное или главным образом отрицательное) функциональное значение. Такими элементами, например, могут быть зоны нарушения в геологических структурах более высоких порядков, слабые прослои в слоистых литологических комплексах или трещины в массивах скальных горных пород.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМНЫХ СТРУКТУР В МАССИВАХ ГОРНЫХ ПОРОД

Структура массива горных пород может быть определена как пространственно-упорядоченное множество элементов, как совокупность их взаимных отношений и связей между их свойствами. Структуру массива можно описать, например, с помощью структурных матриц. С упорядоченностью элементов и их взаимоотношениями тесным образом связаны как функциональные свойства элементов, так и работоспособность всей системы.

Наша основная задача — определение главным образом соотношений и связей, создающих в горных телах целостность различным образом выделенных систем.

Из бесконечного множества существующих в природе системных отношений при анализе геологических объектов в данном случае больше всего интересуют следующие типы структурных соотношений между элементами: а) пространственные, или геометрические (строение массивов, форма, размер, взаимное расположение элементов), главным образом у квазистатистических систем; б) временные (изменения и развитие соотношений между элементами структуры в зависимости от времени), главным образом в геодинамических системах; в) постепенные, последовательные (причинная закономерность постепенных изменений и общего развития в геологической истории).

По отношению выделенных систем к внешней среде различаются:

а) системы открытые, в которых происходит постоянный обмен материи и энергии с окружающей средой. Эти системы находятся в постоянном взаимодействии с окружающей средой, которая

обуславливает поведение системы. Такими являются большинство геологических природных систем;

б) системы закрытые (относительно закрытые), в которых происходит взаимный обмен энергии с окружающей средой. Система находится в оностатической независимости от окружающей среды, и даже имеет четкие границы, а также определенный тип импульсов и реакций, которые характеризуют работу системы. С таким типом систем главным образом сталкиваются при анализе модельных систем геологической среды;

в) системы изолированные (абсолютно закрытые), которые не обмениваются с окружающей средой ни материей, ни энергией и не взаимодействуют как с внешней средой, так и между собой (таковыми могут выступать только некоторые абстрактные модельные системы).

Связи между элементами являются выражением зависимостей, определяющих взаимодействие элементов и системы как целого. Из большого количества типов разных связей можно использовать при системном изучении геологических объектов главным образом следующие:

а) связи взаимодействия элементов, например физические, физико-химические и другие (атомно-молекулярные связи сцепления, гравитационные связи, химическое взаимодействие и т. д.);

б) связи структурные, обуславливающие, например, разные типы структурно-кристаллизационных решеток;

в) связи генетические, обуславливающие парагенетически закономерное сообщество элементов в структурах разных иерархических уровней геологических объектов (минералов, слоев, комплексов и т. д.);

г) связи преобразования, обуславливающие преобразование структур, например, под влиянием действия внутренних напряжений, тектонических давлений, температуры и т. д.;

д) связи функциональные, которые обеспечивают внутреннее существование, работоспособность и внешнее воздействие систем, количественные изменения их состояния, движение и т. д. (например, склоновые движения);

е) связи развития, обеспечивающие качественные изменения уровней организации объекта (например, выветривание, метаморфизм и др.);

ж) связи саморегулирующие в более сложных геологических объектах.

При анализе геологических тел как квазистатических систем можно выделить главные признаки, наиболее выразительные и самым общим образом характеризующие их структуру: форма и размер элементов, их пространственные соотношения (размещение в целом), взаимные системообразующие связи между элементами (сохраняющие целостность объекта). Учтя иерархическое строение таких систем, можно их структуры на различных уровнях характеризовать следующим образом.

Минерал Структурными элементами являются ионы, группы ионов, молекулы Их пространственные соотношения определены кристаллическими решетками минералов Взаимные связи имеют характер атомно-молекулярного взаимодействия (ионные, ковалентные, металлические, вандерваальсовские связи)

Горная порода (как материал в образце, обломке или блоке) Элементами структуры являются кристаллы, их агрегаты, обломки зерен минералов, коллоидные минералы и их агрегаты, зерна обломков горных пород, их основная масса (цемент) К элементам структуры надо относить также поры, микротрещины и др Форма кристаллов и зерен и их размеры описаны в минералогии и в петрографии под названием структуры горных пород Пространственные отношения между элементами характеризуются понятием текстуры горных пород Важный параметр — тип и степень неоднородности и асимметрии строения Связи у скальных и полускальных горных пород — атомные и молекулярные, у связанных молекулярные и у несвязанных — гравитационные Они обеспечивают самую важную функцию структуры целостное (или дискретное) поведение объекта

Литологически однородное трещиноватое геологическое тело (например слой, поток, пачка, жила, дайка) Элементы образованы блоками или обломками целостной породы, ограниченными трещинами, и сами трещины (или пустоты) при этом также рассматриваются как важный элемент структуры Пространственные геометрические соотношения элементов характеризуются формой и размером элементарных блоков и обломков, сетью элементов дисконтинуальности (трещин), а также взаимным размещением этих элементов в пространстве (тип блочности) Доминирующими являются связи взаимодействия элементов в дисконтинуальном геологическом теле, они преимущественно гравитационные, частично могут быть молекулярными (главным образом благодаря заполнителю), большое значение имеет тип контактов между элементарными блоками (например, зацепление блоков)

Литологически неоднородный и тектонически дислоцированный комплекс горных пород (комплекс слоев, пирокластических контактово-метаморфизованных пород и др) Элементы такой структуры — отдельные литологически квазиоднородные слои, пачки или другие тела, мелкие ритмы и циклы, а также локальные проявления дислокации, как дизъюнктивные, так и пликативные, каверны и др Важные характеристики пространственно-геометрических соотношений формы этих элементарных тел, их мощность, протяженность, условия залегания, тип и размеры складок, локальные тектонические нарушения и др Важны также соотношения неоднородности и анизотропии, периодичности и ритмичности во взаимном расположении элементарных тел Доминирующее значение для оценки структуры имеют гравитационные связи взаимодействия элементарных тел, связи генетические (обуславливающие закономерную группировку и форми-

рование их системообразующих свойств), а также связи преобразования (определяют способ преобразования структуры комплекса под влиянием изменений давлений, температуры, воды и др.)

Подобным образом можно характеризовать и системы геологических тел более высоких порядков (формации, осадочный чехол, земная кора).

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМНЫХ МОДЕЛЕЙ

Моделирование как один из методов научного исследования — воспроизведение характеристик определенного объекта на другом объекте (например, на физической или математической модели), специально созданном для его изучения на основе принципов подобия определенных свойств, функций или поведения. Степень подобия или тождества должна быть точно определена (по критериям теории подобия).

При использовании модельного анализа для геологических и инженерно-геологических систем необходимо в первую очередь сформулировать цель изучения и проблему, которая будет решаться. На основе этого создается модель, упрощенная и специализированная для данной цели; при этом выбираются те показатели или группы показателей, которые лучше всего отражают существенные свойства и функции системы с точки зрения изучаемой проблемы. Иногда выгодно использовать также косвенные показатели, которые хорошо коррелируют с прямыми (например, геофизические с физико-механическими или фильтрационными или физические с механическими и др.).

Можно составить несколько параллельных моделей, направленных на решение одной и той же проблемы изучаемого объекта. В ходе решения частные результаты могут быть коррелированы, генерализованы, уточнены. Большое внимание при этом следует уделять проверке адекватности модели изучаемому оригиналу.

Набор типов моделей и способов их использования при изучении геологических объектов очень широк. Учитывая направленность настоящей работы, мы упомянем здесь только натурное и физическое моделирование, а также абстрактные логические модели (Розовский, 1975). Все они тесно связаны с типизацией и с составлением Атласа массивов горных пород. С первым типом моделирования связан метод инженерно-геологических аналогий, позволяющий сравнивать свойства или поведение реальных инженерно-геологических систем (в данном случае реальных массивов горных пород) с аналоговыми объектами, детально изученными и описанными. Связующим звеном между объектами-аналогами является применение системных логических моделей, например структурных схем массивов разного порядка, а так же индексных (графических, кодовых и др.) моделей системных структур.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

Формализация является упорядочением, фиксированием и выражением существенных сторон соотношений и функций элементов в системе на основе точно определенных правил. Она служит для обобщения свойств и поведения формально подобных систем независимо от их содержания; это позволяет распространять формализованные характеристики (и сведения) на все объекты с подобной или одинаковой формальной структурой. Формализация при этом всегда связана с определенным упрощением картины реальных объектов, и между их содержанием и формализованным выражением всегда существует не полное тождество. Элементы формализованной системы или целые системы можно выразить простой, но точно установленной группировкой символов (кодов), что позволяет производить логические и другие операции с использованием вычислительной техники.

Формализацию необходимо использовать в целом ряде действий и операций научного анализа, например, при сборе, группировке, обработке данных с помощью ЭВМ. Особое значение формализация приобретает при количественном анализе реальных природных систем и их упрощенных моделей, в которых формализованные параметры и показатели выражаются количественными (численными) значениями. Количественный анализ выполняется обычно на целенаправленно построенной модельной системе по определенному алгоритму. Изменяя разные параметры или их значения, можно изучать свойства системы в разных условиях и определять оптимальные варианты поведения системы.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Горные породы — предмет изучения многих научных дисциплин. В отличие от геологических наук (литология, стратиграфия, тектоника, геохимия и геофизика) предметом инженерно-геологического изучения пород являются характеристики их физико-механических свойств, изменения последних при взаимодействии с водой, устойчивость к экзогенным факторам, поведение во взаимодействии с сооружением. Они определяют деформации в основаниях сооружений, устойчивость склонов, фильтрационную проницаемость и другие инженерно-геологические характеристики, с которыми инженеры-геологи повседневно сталкиваются при проектировании в геологическую среду.

Инженерно-геологические характеристики должны не только верно и точно описывать разнообразные свойства горных пород, но и давать их количественную оценку для использования в прог-

нозной оценке поведения пород при основных инженерных расчетах (оседание, несущая способность, устойчивость сооружения и безопасность при строительстве и эксплуатации и др.).

Все инженерно-геологические свойства горных пород формируются в тесной связи с их генезисом, постгенетическими изменениями и геологической историей. Поэтому геолого-генетический подход — основной принцип оценки горных пород в инженерно-геологических классификациях. Из большого количества геологических факторов при этом выбираются те, которые существенным образом влияют на рассматриваемые инженерно-геологические характеристики (главным образом на физико-механические свойства). Такими факторами являются: минеральный состав пород, их структурно-текстурные особенности, а также характер и прочность структурных связей между отдельными структурными элементами породы. Такие характеристики, как возраст или региональная принадлежность горной породы, не следует относить к основным критериям при построении общих инженерно-геологических классификаций, поскольку эти факторы реализуются в соответствующем изменении состава, структуры и текстуры.

Чисто геологические характеристики недостаточно информативны для специалистов в области механики горных пород. Было создано достаточно много классификаций по показателям физико-механических свойств пород, определенных лабораторными или полевыми методами и не учитывающих геолого-генетические особенности горных пород. Практика показала многие недостатки такого подхода, и в последнее время при составлении классификаций первостепенное значение придается петрогенетической обусловленности свойств горных пород.

Имеются трудности в связи со способом определения инженерно-геологических свойств (прочностных, деформационных, фильтрационных) и параметров устойчивости (морозоустойчивость, водостойкость, сопротивляемость выветриванию и др.) скальных грунтов. Так называемые классические лабораторные определения деформируемости и прочности на сжатие и растяжение на образцах правильной формы под прессом трудоемки и дороги (в еще большей степени это относится к более сложным полевым методам). Поэтому разработка рационального комплекса методов — один из важнейших вопросов современной механики горных пород и инженерной геологии. Разработано много методов, с помощью которых можно быстро, дешево и в массовых масштабах определять индексные (косвенные) характеристики. Многие из них показали физически хорошо обоснованные тесные корреляционные зависимости с основными (прямыми) расчетными характеристиками, такими, как прочность на сжатие, растяжение и сдвиг, модуль деформации и упругости и проницаемость. Благодаря этому мы можем обоснованно характеризовать однородные области этими расчетными параметрами на основании массового определения и статистической обработки индексных параметров. Такой подход является прогрессивным в области полевого и лабо-

раторного изучения горных пород, и его необходимо всесторонне развивать.

До сих пор недостаточно оценено значение систематической инженерно-геологической паспортизации и составления инженерно-геологических атласов горных пород. Паспорта и атласы могут в пределах изученных территорий представлять очень хорошее дополнение к региональным стандартам. Они тесно связаны со стандартизацией и унификацией определений хорошо подобранного обоснованного набора характеристик основных свойств пород, а так же с типизацией (типологической классификацией) горных пород и массивов.

Одна из основных практических целей типологической классификации горных пород в инженерной геологии — выделение в массиве однородных областей, в границах которых основные характеристики исследуемых свойств одинаковы. Такой подход является основой составления различных моделей (карт и разрезов, матриц и т. д.), определения рациональных схем опробования, лабораторных и полевых испытаний, а также пространственной интерпретации полученных данных. На основе правильно охарактеризованных инженерно-геологических моделей реальных горных массивов можно достоверно оценивать поведение отдельных его частей при взаимодействии с сооружением и достоверно применять методы инженерно-геологических аналогий. Только на такой основе можно проектировать и рассчитывать инженерные нагрузки, решать другие задачи, связанные с рациональным использованием и охраной геологической среды, включая проектирование технико-мелиоративных мероприятий.

Выделение однородных классов пород и их характеристика проводятся на основании выбранных отдельных признаков или комплекса признаков, которые всегда зависят от цели, для которой изучаются горные породы. В современном грунтоведении различаются многоцелевые или общие классификации горных пород на основе таких фундаментальных показателей, как минеральный состав, структура и текстура и характер структурных связей, функцией которых являются прочностные, деформационные и другие свойства горных пород и одноцелевые, специальные, классификации, которые содержат более специфическую и детальную информацию для решения разных специальных и частных задач.

ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

В течение сложных процессов геотектонического и палеогеографического развития горные породы попадают в новые ситуации, в которых они должны приспосабливаться к новым термодинамическим и химическим условиям среды. Чем сильнее изменения условий, тем радикальнее проявляется кристаллографическая, минералого-петрологическая и геолого-структурная перестройка пород, обусловленная часто значительным привнесом

вещества. Процессы образования и дальнейшего изменения осадочных, магматических и метаморфических пород называют процессами петрогенезиса. Петрогенезис при этом понимается в широком смысле как закономерный процесс образования и постгенетического преобразования пород.

Вопросы образования и преобразования свойств пород в течение их историко-геологического развития в разных условиях земной коры разработаны в литературе по геологии, литологии, петрологии и т. д. В отличие от остальных отраслей геологии, как уже отмечалось, внимание инженеров-геологов при изучении процессов образования и дальнейшего развития горных пород обращается на преобразование тех свойств, которые используются в расчетах при решении задач инженерной геологии и механики горных пород. Главнейшие из них: формирование прочности пород, устойчивости к влиянию экзогенных факторов, а также характер неоднородности и анизотропии. На большое значение геологической истории формирования пород обращают внимание не только инженеры-геологи, но и строители. Они понимают, что физические свойства горных пород являются функцией способа их образования и последующих геологических процессов, сумма которых привела к формированию определенного литологического типа, к определенной комбинации геологических структур и к определенному напряженному состоянию массива. В. Дирман (Dearman, 1974) подчеркивает, что понимание геологической истории формирования массивов горных пород при инженерно-геологической классификации и характеристике их свойств предоставляет большие возможности и является недооцененным, относительно дешевым средством оценки свойств пород в региональных масштабах и в условиях естественного залегания.

Важнейшие физико-механические свойства горных пород определяются прочностью структурных связей между элементарными частицами породы, в кристаллических решетках минералов и отдельных кристаллов, зерен и обломков пород. При изучении истории формирования горных пород и их инженерно-геологических свойств необходимо исследовать: состав первоначального материала; породообразующие факторы; условия, в которых действовали породообразующие факторы; процессы, которые были вызваны определенной комбинацией факторов; изменения свойств пород, которые были результатом этих процессов (Приклонский, 1956).

Исходя из одного из основных тезисов системной теории о решающем значении связей между элементами в структуре системы, интегрирующих их в определенный качественный индивидуализированный целостный объект, структурным связям и их формированию следует уделять самое большое внимание и при инженерно-геологическом изучении массивов горных пород.

Из известных типов структурных связей для скальных пород характерны кристаллизационные (чаще всего ковалентная и ионная), а для полускальных (например, аргиллитов, мергелей и др.) — ионно-электростатические. Высокая энергия химических

кристаллизационных связей в магматических, метаморфических, осадочных сцементированных и хемогенных породах сравнима с высокими энергиями структурных связей элементов в кристаллических решетках минералов и обуславливает высокую прочность (50—500 МПа), малую сжимаемость (модуль деформации $10\text{--}100 \cdot 10^3$ МПа) и высокую стойкость сохранных скальных пород. Поэтому очень важно, чтобы инженерно-геологические классификации горных пород и массивов были основаны на этих наиболее существенных системообразующих факторах, которые определяют ее инженерно-геологическое поведение. На такой основе составлена классификация грунтов Е. М. Сергеева (1978), в которой горные породы разделяются на классы и группы главным образом на основе различия характера энергии и стойкости структурных связей. Основные параметры структурных отношений и связей между элементарными составляющими — основа и для таксономической классификации массивов скальных пород.

Несмотря на то что прочность, деформируемость и другие важные свойства массивов горных пород зависят не только от прочности структурных связей сохранного материала, но главным образом от дисконтинуальности, выветрелости, обводненности, напряженного состояния и других, изучение физико-механических свойств горных пород (как материала) имеет важное значение.

В настоящее время существует много работ, посвященных результатам изучения физико-механических свойств скальных грунтов. В большинстве из них (В. А. Приклонский, Б. П. Беликов, Н. Б. Дортман, В. Н. Кобранова, Г. А. Голодковская, И. А. Турчанинов, М. Матула, А. Хиянкова, Г. Г. Скворцов, Н. С. Красилова, В. М. Ладыгин, В. Н. Мазаник, Г. В. Алексеев и др.) установлены четкие зависимости показателей физико-механических свойств от минерального состава и структурно-текстурных особенностей горных пород различного генезиса и состава. К числу наиболее общих закономерностей относятся: общая тенденция увеличения показателей физико-механических свойств магматических пород с возрастанием их основности (рис. 1), увеличение показателей физико-механических свойств метаморфи-

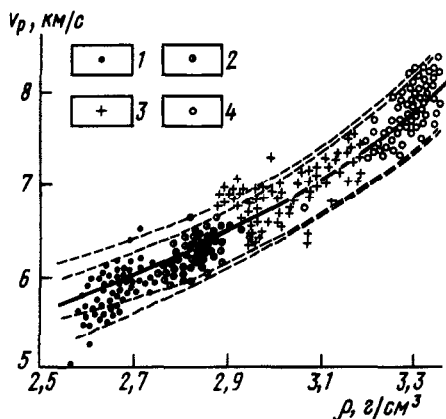


Рис 1. Значения скоростей продольных волн в кристаллических породах и их плотность при максимальном насыщении жидкостью:
1 — кислые породы, 2 — средние, 3 — основные, 4 — ультраосновные (по Н. Б. Дортман, М. Магид)

ческих пород с увеличением степени их метаморфизма; рост значений показателей физико-механических свойств карбонатных осадочных пород с увеличением процентного содержания кристаллического кальцита и доломита и уменьшением глинистого мате-

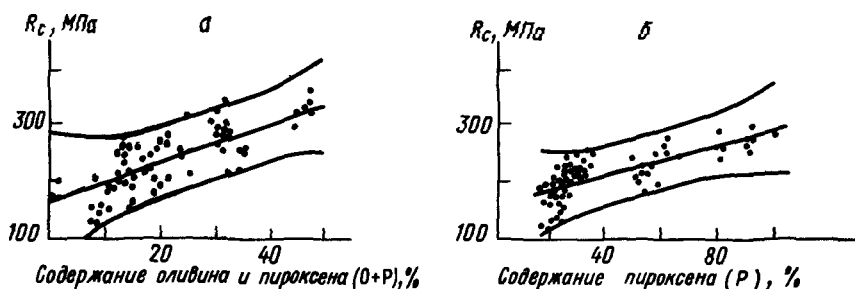


Рис. 2. Зависимость прочности на одноосное сжатие: а — ультраосновных пород от содержания оливина и пироксена; б — основных — от содержания пироксена (по В. Н. Мазанику, В. Н. Макарову)

риала; увеличение показателей физико-механических свойств терригенных пород с возрастанием содержания кварца в обломочной части и составе цемента и т. д.

Большое влияние на величину показателей физико-механических свойств горных пород оказывает и процентное соотношение основных породообразующих минералов. Так, установлено (Б. П. Беликов, Л. В. Шаумян, В. М. Ладыгин, И. А. Турчанинов, Р. В. Медведев, В. Н. Мазаник, В. Н. Макаров и др.), что увеличение упругих и прочностных характеристик магматических пород связано в увеличением содержания пироксенов и возрастанием основности плагиоклазов (рис. 2).

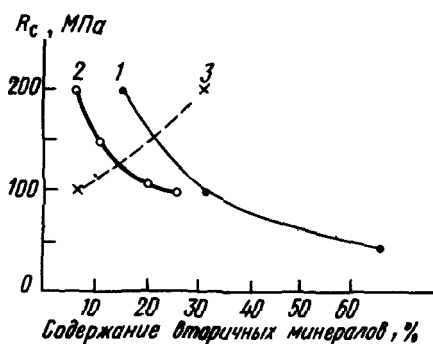


Рис. 3 Зависимость прочности пород от степени вторичных изменений для гранитов Южного Урала (по Г. Г. Скворцову, М. С. Тимониной): 1 — серицит, 2 — хлорит, 3 — кварц

Существенное влияние на величину показателей физико-механических свойств оказывают характер и степень вторичных изменений горных пород, определяемые составом и процентным содержанием вторичных минералов. При этом присутствие в породе таких вторичных минералов, как серпентин, цеолит, карбонаты, пренит, хлорит, каолинит, уменьшает показатели физико-механических свойств пропорционально их процентному содержанию. Процессы же эпидотизации и окварцевания,

связанные с образованием вторичного кварца и эпидота, увеличивают их (Скворцов, Тимонина, 1975) (рис. 3).

Влияние различных типов структур (при постоянстве минерального состава) на свойства горных пород показано в работах Н. С. Красиловой, В. М. Ладыгина, Р. В. Медведева, В. Н. Мазаника и др. Экспериментально установлено и теоретически обосновано влияние размера и формы зерен на величину показателей прочностных и деформационных свойств скальных грунтов (Красилова, 1973). Мелкозернистые структуры при прочих равных условиях обуславливают большую прочность по сравнению с крупнозернистыми, а идиоморфные кристаллы с четкими очертаниями — меньшую прочность связи по сравнению с кристаллами с извилистыми очертаниями.

Большое влияние на величину прочностных и упругих характеристик скальных грунтов оказывает их текстура. Ориентированные текстуры в метаморфических и осадочных породах приводят к резкой анизотропии механических свойств. Еще большее влияние на величину показателей физико-

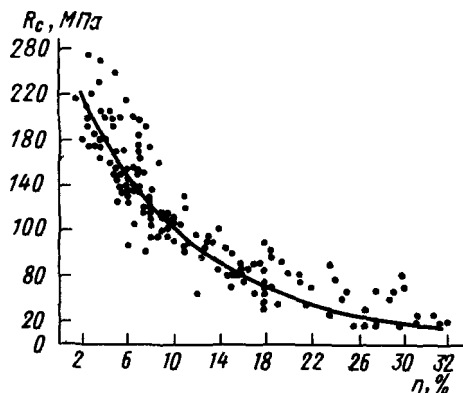


Рис. 4. Зависимость прочности от пористости в пористых эффузивах (по В. М. Ладыгину)

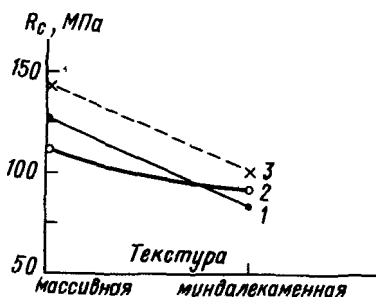


Рис. 5. Прочностные свойства базальтов с массивной и миндалекаменной текстурой (по В. М. Ладыгину):

1 — порфировые, 2 — толентовые, 3 — двуполовошпатовые

механических свойств оказывают пористые текстуры. Обычно в сохранных магматических и метаморфических скальных породах пористость не превышает 1—2%, несколько увеличиваясь в измененных микротрещиноватых разностях. В осадочных скальных грунтах она может возрастать до 10—20%. Особую группу составляют пористые эффузивы, пустотность которых может увеличиваться до 30% и более. Экспериментально установлено, что во всех типах скальных грунтов увеличение пористости приводит к существенному уменьшению показателей физико-

механических свойств (рис. 4).

Методика комплексного изучения минерального состава, структуры и текстуры пород включает в себя: макроскопическое описание пород с установлением основных пороодообразующих минералов, структурно-текстуриных особенностей пород и мезотрещиноватости; исследования в шлифе с целью уточнения минерального состава породы, процентного соотношения минералов, микро-структуры и микротекстуры; исследования в аншлифах микротрещиноватости и пористости пород с анализом их формы, размера и характера распределения в породе; электронно-микроскопическое изучение контактов минералов в породе их ультрамикропористости и микротрещиноватости.

Интересы инженерной геологии, изучающей процессы формирования горных пород главным образом с точки зрения образования и изменений структурных связей и прочности пород, требуют некоторой модификации принятых в смежных геологических науках схем и классификаций стадий петрогенезиса. Особое внимание при этом уделяется роли прогрессивной или регрессивной тенденции формирования прочности пород, а также их неоднородности и анизотропии. В табл. 1 приводится характеристика основных стадий петрогенеза с позиций инженерной геологии. Отмечено влияние процессов петрогенеза на формирование прочности пород, их неоднородности и анизотропии. Важно отметить, что каждая порода не проходила всех стадий петрогенеза; в развитии отдельных пород некоторые из этих стадий разным способом повторялись. Все это наложило следы на современный характер горных пород и их массивов.

Значение постгенетических изменений породы в ходе геологической истории можно проиллюстрировать двумя примерами на территории Чехословацких Карпат, где регионально широко распространен и хорошо известен фациально-литологический комплекс нижнетриасовых кварцитов. Первоначально это была типичная пляжевая фация существенно однородных песков. В процессе диагенеза и катагенеза комплекс был сцементирован преимущественно кварцевым цементом; во время горообразующих процессов в конце мезозоя эти сильно литифицированные и относительно хрупкие кварциты были подвергнуты тектоническим нарушениям, но в сохранных блоках остались породами с высокой прочностью и очень низкой деформируемостью, очень стойкими по отношению к действию современных агентов выветривания (рис. 6, А). Недалеко от описанного обнажения в том же стратиграфо-литологическом комплексе при геологической съемке были обнаружены горизонты несцементированных сыпучих песков мощностью в несколько десятков метров. Происхождение горизонтов дезинтегрированных кварцитов объясняют влиянием тектонических нарушений, в зоне влияния которых первоначально литифицированные горные породы были разрушены под действием минерализованных подземных вод (по мнению других исследователей, отсутствие цемента может быть связано также с неоднородностью процессов литификации на стадиях диагенеза или

Формирование свойств горных пород на главных стадиях петрогенеза (Матула, 1960)

Основные стадии петрогенеза	Главные факторы и процессы петрогенеза	Формирование структурных связей и прочности пород	Формирование неоднородности и анизотропии горных пород и массивов горных пород
Осадконакопление (прогрессивное)	Уменьшение транспортирующей силы, гравитация. Дифференцированное накопление осадков в различных седиментационных средах. Образование первичных структур, текстур, слоистости.	Образование коллоидно коагуляционных связей очень низкой прочности.	Первичная механическая и минералогическая дифференциация материала. Образование текстурной и микротекстурной анизотропии.
Диагенез (прогрессивный)	Изменения физико-химической среды, pH, Eh, давления вышележащего осадка, влияние микроорганизмов. В зависимости от первичного состава осадка, его проницаемости и веса кровли происходят общее уплотнение, дегидратация, уменьшение мощности слоев, активная миграция элементов, растворение нестойких минералов, образование аутигенных минералов, конкреций или цементации. Частичная избирательная литификация (например, карбонатов).	Развитие коагуляционных структурных связей и повышение прочности в алевроито-пелитовых осадках, образование относительно прочных кристаллизационных связей в карбонатах и силцинтах.	Активная химическая дифференциация, неравномерное образование аутигенных минералов, конкреций и других текстурных новообразований. Образование контракционных трещин.
Катагенез (прогрессивный)	Изменение термодинамических условий (большое давление и повышенные температуры), дальнейшие изменения физико-химических условий. Многообразные процессы литификации (уплотнение и цементация) в зависимости от состава материала: существенное уплотнение, дегидратация, частая регенерация и рекристаллизация минералов, главным образом карбонатов. Резкие гидрохимические изменения.	Существенное повышение прочности, завершение превращения осадка в прочную скальную (или полускальную) породу с конденсационными и кристаллизационными структурными связями.	Неравномерность степени литификации в зависимости от состава осадка в пелито-алевритовых, песчаных, карбонатных и других породах. Уменьшение общей неоднородности в рамках этих отдельных типов. Увеличение поверхностной дисконтинуальности (трещин).

Основные стадии метометазита	Главные факторы и процессы метометазита	Формирование структурных связей и прочности пород	Формирование неоднородности и анизотропии горных пород и массивов горных пород
Региональный метаморфизм (прогрессивный и регрессивный)	жидкой фазы. В предельных условиях образование сланцеватости		ного напластования, поверхностей сланцеватости и др.) и анизотропии горных пород
	Влияние высоких температур, гидростатического и ориентированного давления. Поступление магматического материала. В крупных региональных масштабах происходит изменение минералогического (или химического) состава, структур. Характер и степень изменения зависят от состава исходных пород и термодинамических условий (разные фации метаморфизма), поступления магматических растворов (магматизация). Образование характерных плоскостно-параллельных тектур (клинваж, сланцеватость). Регрессивный процесс представлен диафорезом, при котором нарушается минералогический состав и строение горной породы.	Прочность осадочных горных пород повышается благодаря перестройке решеток кристаллов в условиях высокого давления и температур и изменениям структур. Уменьшение прочности магматитов. Неблагоприятное воздействие оказывает одностороннее давление (стресс). Образование клинважа, микроскладок, внутрнеструктурных дефектов решетки и микротрещин в горной породе существенно уменьшает общую прочность. Причиной снижения прочности является также большое содержание слоистых минералов, графита, битумных веществ и	обуславливают их большую мощность и распространение и общее уравнивающее влияние метаморфизма на исходные породы. Характерной является высокая анизотропия на уровне структурных решеток и даже макротекстурных элементов.

др., а также грубозернистых и порфиробластовых структур. Значительное уменьшение прочности у диафторитов

Магматическая стадия (прогрессивная)

Уменьшение давления и температуры в процессе движения магмы в более высокие горизонты земной коры. Дифференциация и гибридизация магмы, частичная кристаллизация. На стадии магматической консолидации происходит кристаллизация безводных и водных силикатов и общая литификация горной породы. В значительной мере проявляется влияние окружающей среды, главным образом на контактах магматических тел

Формируется высокая прочность, обусловленная кристаллизационными связями. Эта прочность зависит от структуры (более низкая у грубозернистой, порфировой, протокатаклической, витрофировой) и текстуры (более низкая у микродуристой, пузырчатой). Регрессивное значение контракционных трещин

Образование первоначальной неоднородности состава магматитов, их пространственных форм и отношений с другими породами. Неоднородность повышают порфировая структура, ксенолиты, неравномерные поровые текстуры, жильные деформации. Высокая неоднородность в зонах контакта с вмещающими породами. Анизотропию обуславливают направленные текстуры (слоистые, ламинарные, флюидальные и др.), созданные синкинематическим сжимающим напряжением и др.

Контактный метаморфизм (прогрессивный)

Главными факторами являются высокая температура и гидростатическое давление у контактов с магматическими интрузиями, или эффузивами. В контактных зонах происходят минералогическое и структурно-текстурное изменения горных пород как без поступления, так и с поступлением вещества из магматических тел. Характерно зональное строение контактного ореола (образование разных фаций)

Перестройка кристаллических решеток в результате высоких температур (и гидростатического давления) и образования нового химико-минералогического равновесия. Повышение прочности

Значительная минералогическая и текстурная неоднородность, зависящая от исходных горных пород, степени термических изменений, мощности контактовых ореолов, активности гидротермальных и пневмолитических факторов, количества жильных тел

Основные стадии петрогенеза	Главные факторы в процессы петрогенеза	Формирование структурных связей и прочности пород	Формирование неоднородности и анизотропии горных пород и массивов горных пород
Позднемагматические стадии (регрессивные)	Под действием газобразной и жидкой фаз (остаточных растворов) происходит в уже застывшей породе создание нового равновесия трехфазной системы. Интенсивные (автометаморфические) изменения химического состава, структуры и ее однородности (альбитизация, цеолитизация, уралитизация и т. д.)	кристаллизационных структурных связей. Деформации решеток и минералов под действием стресса незначительны. Самой низкой прочностью обладают слабометаморфизованные алевриты и пелиты, породы, содержащие органическое вещество; самыми прочными являются роговики	и т. д. Анизотропия проявляется слабо
		Прочность горной породы, в общем, уменьшается благодаря уменьшению прочности структурных решеток, прямых контактов твердой фазы и эффективности молекулярных связей (увеличение зернистости, пористости, частое дробление и катаклаз и др.)	Неоднородность исходной породы существенно увеличивается. Неравномерность линейарных и фонтальных проявлений автометаморфоза, образование жильных дифференциатов, рудных жил и др.

Гидротермальный и пневматолитический метаморфизм (регрессивный, в виде исключения прогрессивный)

Главным фактором является химическая активность растворов и газов, поступающих из метаматических тел. Изменения сосредоточены вблизи трещин и тектонических нарушений, но могут быть и фронтальными. Присходят резкие минеральные и химические (преимущественно метасоматические) изменения

Образование минералов с более слабыми структурными связями (за счет безводных силикатов). Уменьшение прочности (за исключением силикатизации, оруденения и др.)

Повышение неоднородности массивов горных пород

Динамометаморфизм (прогрессивный и регрессивный)

Главным фактором является ориентированное давление (стресс), сопровождающее все тектоногенные (главным образом орогенические) процессы. Имеет реляционный характер. Вызывает обширный катаклаз и гранулирование материала, пластическое течение, миклопитизацию и др. В широких масштабах происходит образование сланцеватости главным образом алевролитов и пелитов, или дробление жестких пород

Ориентированное давление приводит к дифференцированному деформированию частей породы, минералов и кристаллов. Происходит упрочнение слабых пород и одновременно уменьшение прочности жестких прочных пород. Неблагоприятное влияние новых поверхностей делимости (густая сланцеватость). Самой низкой прочностью обладают механически катаклазированные миклолиты

Пространственно-неоднородное действие стресса повышает неоднородность в массиве горных пород. Повышается анизотропия механических свойств

Тектоногенно-дислокационные стадии (регрессивные)

В зависимости от тектонических напряжений (давления, растяжения, кручения и др.) образуются различные комбинации складчатых и разрывных нарушений от микро- до меганарушений: системы складок, трещин растяжения и сдвига, разломов, зон нарушений и др.

Тектонические нарушения, в общем, существенно уменьшают механическую почность пород и массивов горных пород

Складкообразованием и неравномерной трещиноватостью повышается неоднородность массивов горных пород, анизотропию повышают главным образом систематически направленные трещины и дислокации

Основные стадии петрогенеза	Главные факторы и процессы петрогенеза	Формирование структурных связей и прочности пород	Формирование неоднородности и анизотропии горных пород и массивов горных пород
Стадии гипергенеза (регрессивные)	Изменения естественных напряжений под влиянием эндогенных и экзогенных факторов (главным образом разгрузка горных пород) ведут к разгрузке блоков пород, расширению трещин и образованию новых. Механическое выветривание повышает степень трещиноватости и физическую дезинтеграции горных пород. Химическое выветривание ведет к резким изменениям минералогического состава и структуры главным образом прочности структурных связей	Уменьшение состояния напряженности существенно понижает прочность пород и массивов горных пород, общее понижение прочности. Существенное уменьшение прочности скальных и полускальных пород, создание коллоидных структурных связей, или несвязного материала	Усложнение общей неоднородности горных пород и массивов горных пород, повышение неоднородности и макроанизотропии благодаря образованию отдельных глубинных зон выветривания

катагенеза). В горах Трибеч такие же нижнетриасовые кварциты были в результате горообразующих движений и под действием шарьяжей подвержены сильному региональному динамометаморфизму. Это привело к их ярко выраженным регрессивным петрогенетическим изменениям (массовое образование серицита, хлорита и мелкого мусковита, созданию класто-бластосаммитовых структур, сланцеватости и ухудшению механических свойств) (см. рис. 6, С). Если к этим трем примерам прибавить кварцевые песчаники того же комплекса, подвергнутые выветриванию (см. рис. 6, В), то станет ясно, что данные только о возрасте и стратиграфолитологическом характере (на геологических картах и в легендах к ним) недостаточны для того, чтобы объяснить современные физико-технические свойства горных пород и современное состояние массивов горных пород.

Второй пример касается посторогенных варисцийских гранодиоритов среднекаменноугольного возраста, которые представляют самый распространенный тип пород в кристаллических массивах

Западных Карпат, и инженерная практика повседневно встречается с ними. Вслед за внедрением гранитоидных plutонов в широкой полосе их краевых частей происходили существенные изменения основного типа гранодиоритов под влиянием автометаморфических процессов типа щелочного (калиевого) метасоматоза. В последующем гранодиориты были подвергнуты в более широком региональном масштабе регрессивным динамометаморфическим изменениям, которые сопровождали главные фазы альпийского орогенеза в среднем и верхнем мелу. Естественно ожидать, что минеральный состав, структура, текстура, прочность структурных связей первоначального, нормального гранодиорита и его подтипов, претерпевших автометаморфизм или дислокационный метаморфизм, настолько изменились, что это существенно повлияло на все физико-механические свойства породы. В результате автометаморфических петрогенетических процессов в «нормальном» гранодиорите создавалась крупнокристаллическая порфировая структура, существенно повысилось содержание К-шпатов, которые образуют крупные вкрапленники, и под влиянием метасоматической рекристаллизации были ослаблены структурные связи. Проведенные испытания подтвердили снижение значений прочности на одноосное сжатие, а также модулей общей деформации автометаморфического гранодиорита по сравнению с неизменным. Еще большие изменения характерны для гранодиоритовых катаклазитов. Дислокационный метаморфизм, сопровождающий альпийские горообразовательные процессы, отразился в образовании катаклазито-идиоморфной структуры, ориентированной текстуры и отчетливо выраженной текстурной анизотропии, в образовании таких вторичных минералов, как серицит, хлорит, эпидот, и в результирующем значительном ослаблении структурных связей в породе. Среднее снижение прочности на одноосное сжатие по сравнению с нормальным типом гранодиоритов у автометаморфического подтипа составляет 10%, у дислокационно-метаморфического катаклазита — 20%. Подобная картина наблюдается и в отношении деформационных свойств. Расчленение основных типов гранодиоритов на подтипы (нормальный, автометаморфический, дислокационно-метаморфический) является доказательством существенного влияния петрогенетических изме-

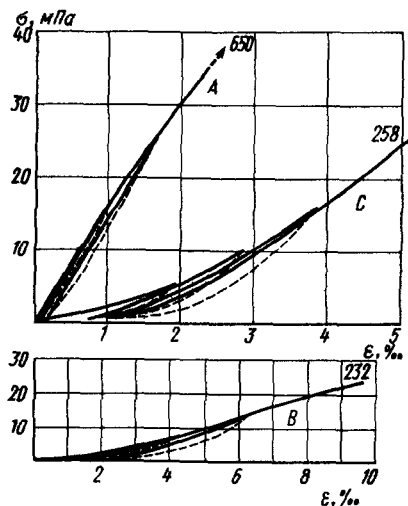


Рис 6 Деформационные характеристики нижнетриасовых кварцитов Чехословацких Карпат

нений на преобразование инженерно-геологических свойств горных пород. Практическое значение подобного расчленения заключается в том, что оно позволяет повысить однородность статистических выборок, т. е. получить более надежные и достоверные значения показателей инженерно-геологических свойств пород.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Технико-экономическая эффективность инженерно-геологических работ зависит от: а) правильного выбора ограниченного количества параметров, характеризующих свойства геологической среды в такой степени, чтобы можно было успешно решать вопросы, необходимые для данной стадии проектирования; б) правильного применения простых, дешевых и быстрых методов определения этих свойств пород; в) целесообразного способа операций с полученными данными в процессе их накопления и обработки.

Понятие «рациональный комплекс методов инженерно-геологических исследований» основано как на теоретических предпосылках, так и на практическом опыте о том, как получить набор характеристик наиболее подходящими способами. Поэтому выбор рационального комплекса методов должен основываться главным образом на следующих принципах:

1) использование эрудиции и опыта исследователя, умеющего составить максимально объективную рабочую гипотезу в виде предварительной модели структуры, главных параметров свойств и основных черт поведения изучаемого геологического объекта;

2) технические работы (полевое опробование, лабораторные определения и др.) должны применяться только для проверки, подтверждения (или опровержения), уточнения рабочей модели. Только при таком подходе достигается эффективность объема и расположения разведочных работ;

3) четкое представление о возможностях, преимуществах и недостатках отдельных разведочных и исследовательских методов в процессе их применения в разных инженерно-геологических условиях, для разных целей, о возможности интерпретации и информационном значении полученных результатов для решения данной задачи;

4) обоснованное определение наиболее целесообразной комбинации и рационального дополнения разных методов и приемов для быстрого и дешевого получения оптимального уровня информационных данных, необходимых для решения задачи.

Стремление рационализировать методы и приемы при определении свойств горных пород обусловлено развитием современного инженерного строительства, горного дела, механики горных пород и инженерной геологии. Наиболее важными факторами, определяющими актуальность этой задачи, являются: рост требований к объему и качеству информации о свойствах горных пород; вывод.

вытекающий из общего научно-технического прогресса и определенно указывающий на выгоды междисциплинарных решений, который непосредственно касается и наших научных отраслей. Особо следует обратить внимание на большие резервы, которые могут быть использованы благодаря рациональному привлечению теоретических, методологических и технических достижений других наук и развитию тесного сотрудничества с ними.

В данном случае необходимость привлечения достижений смежных наук и владения их методами обусловлена стремлением достигнуть максимально объективного описания моделей массивов горных пород и оперировать параметрами их свойств. Эти тенденции могут быть проиллюстрированы, например, переходом от качественного и часто даже интуитивного описания инженерно-геологических условий оснований сооружений (еще в недавнее время больше иллюстрированных, чем охарактеризованных единичными и количественными данными о прочности, деформируемости или проницаемости горного массива) — к количественным методам физического и математического моделирования, требующего вместо единичных данных целые сети или пространственные системы матриц цифровых параметров избранных механических или фильтрационных свойств. В случае современных модельных решений и расчетов (например, с помощью метода конечных элементов) нельзя массив считать одним целым телом или целостным упругим полупространством. В расчетах он уже выступает как система геологических тел, каждое из которых отдельно и все их вместе необходимо характеризовать таким количеством коррелируемых параметров, чтобы можно было выделить квазиоднородные области массива, и охарактеризовать их статистически обоснованными значениями расчетных показателей.

Преимущество междисциплинарного сотрудничества, применения и приспособления методов и техники, развитых в других отраслях, можно иллюстрировать уже в настоящее время большим количеством примеров и еще большим количеством их возможностей. Напомним, насколько стимулируется развитие техники получения первичных данных, например, все более широким применением разных типов геофизического каротажа при разведке бурением, или использованием геофизических, фотогеологических и стереофотограмметрических методов при региональной дистанционной разведке, или как обогащают нашу методологию обработки данных достижения, полученные в области кибернетики, теории систем и их моделирования. Каждый новый конгресс по инженерной геологии приносит сведения о прогрессе в развитии рациональных методов и техники. На четвертом конгрессе Международного общества механики горных пород в Монтре (1979 г.) было сообщено о прогрессе, достигнутом в автоматизации непрерывного измерения и регистрации параметров проницаемости, пьезометрического режима и других вдоль стенок скважины (например, Дебреуил и др., 1979). К уже известной технике, позволяющей вести непрерывную автоматическую запись пара-

метров плотности, влажности, прочности и содержания глинистых частиц в разрезе грунта с помощью советских пенетрационнокартажных систем (ПКС), добавилась, например, информация из США о возможностях полевого испытания прочности на сдвиг упрочненных пород вдоль стенки скважин, которая хорошо коррелирует с триаксиальной прочностью (Панек, 1979).

В то время как в области методов механики и геофизики наблюдается значительный прогресс, медленно развивается рационализация и автоматизация массовых методов первичной инженерно-геологической документации классификационных и других простейших параметров при полевом исследовании и разведке, хотя именно здесь существуют еще большие возможности. Современная техника позволяет, например, сконструировать приборы для автоматического снятия, регистрации и обработки данных при описании естественных и искусственных обнажений горных пород, выходов подземных вод, бурового керна и т. д. Большую помощь в этом оказали бы, например, комбинации регистрирующей геофизической техники с магнитофонными записями и переносными электрическими калькуляторами. Очень эффективным в этом направлении является применение методов наземной стереофотограмметрии, очень много обещает применение голографии.

Большое внимание уделяется изучению возможности применения экспрессных методов в лабораторных исследованиях и их корреляции с так называемыми классическими опытами определения прочности на сжатие и деформируемости материала горных пород (Матула, Хианкова, 1975). Стремление дополнить (не заменить) классический набор опытов новыми, быстрыми и дешевыми методами обосновывается на представлениях о том, что все свойства пород определенным способом взаимообусловлены и взаимосвязаны. При скоростных массовых опытах определяются те характеристики, которые наиболее тесно связаны с прочностными и деформационными свойствами пород. Используя такие характеристики как «индексные» (косвенные), можно уменьшить количество дорогих прочностно-деформационных опытов, более целесообразно их разместить и лучше интерпретировать.

Из экспрессных опытов приведем только наиболее распространенные или рекомендованные ведущими международными организациями методы определения твердости отскоком с помощью склероскопа Shore и молотка Шмидта, определение скорости распространения упругих волн ультразвуком.

К экспрессным методам, при которых происходит механическое разрушение образцов горной породы, относятся: определение прочности на одноосное сжатие на необработанных и полуобработанных образцах, на сжатие и разрыв с помощью соосных пуансонов на пластинах горных пород, на вдавливание, или статической твердости с помощью прибора Шрейнера, на вдавливание обработанных и необработанных образцов с помощью шарообразно оканчивающегося конического клина, на раскалывание на образцах цилиндрической формы (так называемый бразильский метод)

на раскалывание и одноосное сжатие на пластинообразных образцах (по Койфману), определение характеристик набухания пород (коэффициент давления набухания, стойкость по отношению к набуханию)

Большинство горных массивов характеризуется пространственной изменчивостью показателей физико-механических свойств, проявляющейся в большом рассеянии определенных значений. Этот факт, естественно, учитывается в строительстве и горном деле при выборе расчетных показателей введением различных коэффициентов запаса. В такой ситуации использование корреляционных отношений и основанных на них расчетов является не только обоснованным, но и часто практически единственным рациональным путем расчета.

Большое значение корреляционных связей заключается не только в том, что знания зависимостей между физическими, индексными и механическими расчетными свойствами помогают нам уменьшать количество опытов последних. Они важны также для объяснения неоднородности и анизотропии, объяснения причин рассеяния значений показателей, пространственной интерпретации и выбора представительных расчетных значений.

Общеизвестны корреляционные связи между прочностными и деформационными характеристиками и составом, структурой, текстурой и степенью выветрелости скальных грунтов, между пористостью (плотностью) несвязанных грунтов, показателями пластичности, влажностью связанных грунтов и их физико-механическими свойствами.

Эти зависимости используются в различных прикладных классификациях и в строительных стандартах.

При инженерно-геологическом изучении и общей классификации горных пород мы стремимся найти существенную и комплексную их характеристику: существенную, т. е. тесно связанную с природой явления, комплексную, так как в ней содержатся и из нее выводятся другие частные характеристики, определяющие разные вторичные проявления сущности породы. Большие возможности при поисках такой характеристики представляет многофакторный корреляционный анализ, который может объяснить не только отношения взаимной зависимости между отдельными характеристиками (качествами, свойствами) пород, но и их вес (значимость влияния).

Многофакторные корреляционные анализы характеристик пород пока единичны, хотя мы располагаем уже большим количеством парных корреляций. При их обработке всегда чувствуется, что они приоткрывают только часть реально существующих отношений, и при анализе двух сравниваемых характеристик не учитывают влияние других факторов, что отражается в статистическом рассеянии коррелируемых значений. Так, например, при анализе влияния объемного веса на прочность и сжатие мы знаем, что на первое оказывает влияние не только плотность, но и различия минерального состава и структуры, разная степень выветрелости

пород, ослабляющей прочность структурных связей, очень важной является влажность главным образом полускальных и связанных пород, даже у весьма плотных прочных пород скального типа на прочность сильное влияние оказывает микротрещиноватость. Оказывается, что прочность структурных связей (структурного сцепления) — самая подходящая комплексная и существенная характеристика, которая представляет собой как бы общий знаменатель для всех прочностных свойств, выразительно отражает влияние других факторов петрогенетического характера (состав, структура, выветрелость, микротрещиноватость и др.), влияние среды, сезонные изменения влажности, напряженного состояния и т. д., решающим способом оказывает влияние на технологические свойства и поведение пород (например, буримость, добываемость, проходимость, несущую способность, устойчивость и др.). До сих пор не достаточно выяснен характер влияния структурной прочности на деформационные свойства (упругость, пластичность, реологические характеристики) и еще меньше на фильтрационные свойства горной среды. Не преодолена также проблема быстрого и массового определения прочности структурных связей в лаборатории, но главным образом в поле.

В связи с рационализацией исследования свойств пород большое значение имеет стандартизация методов их определения. Тот факт, что способы испытания пород на разных приборах в разных странах не унифицированы и не стандартизированы в международных масштабах, является одним из главных препятствий развития широкого научно-технического сотрудничества и эффективного использования до сих пор полученных данных. Не составлена сравнимая основа для результатов, эффективного серийного производства приборов, единого обучения лаборантов, обобщения и создания общих и региональных стандартов и т. д. Международное общество механики пород (JSRM) приняло решение издавать рекомендации стандартизированных опытных методов для лабораторного и полевого определения свойств скальных и полускальных пород. В настоящее время из списка 89 типов испытаний большинство уже было принято и опубликовано. О большом значении этой работы главным образом для практики свидетельствует доклад Дж. А. Френклина (1979) на четвертом конгрессе Международного общества механики пород о том, как восторженно приняли идею стандартизации именно производственники, в отличие от сотрудников научно-исследовательских организаций, которые опасались тормозящего действия «стандартов» на дальнейшее развитие методов и приборов.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ И ГОРНЫХ ПОРОД

Классификация горных пород имеет большое теоретическое и практическое значение, но в инженерной геологии нет еще единой унифицированной международной классификации горных пород и их массивов, что является большим недостатком нашей науки по сравнению с другими естественными дисциплинами.

Инженерно-геологическая классификация должна быть основана на принципе определенной инженерно-геологической однородности выделяемых таксонов (единиц). Идеальной была бы такая классификация, в которой отдельные элементы геологической среды (породы, пачки, комплексы и пр.) характеризовались бы одновременно высокой степенью однородности основных инженерно-геологических свойств: прочности, деформируемости, проницаемости и стойкости. В настоящее время, к сожалению, отсутствуют достаточное количество региональных данных об этих свойствах пород и методы, с помощью которых можно было бы эти характеристики, важные для инженерных обоснований и расчетов, определять рационально, быстро и дешево в количестве, позволяющем ограничить физико-механические и фильтрационно квазиоднородные области массивов непосредственно на картах и в натуре.

Поэтому при полевом инженерно-геологическом описании массивов и слагающих их горных пород используются геологические характеристики, находящиеся в тесной корреляционной связи с основными инженерно-геологическими параметрами и более всего определяющие инженерно-геологические свойства и поведение пород. Такой подход возможен благодаря тому, что все основные физические, механические, фильтрационные, технологические и другие свойства пород зависят от генетико-литологических факторов.

При выборе основных классификационных критериев должны быть выполнены следующие условия: выделенные геологические тела должны быть реальны и соответствовать данной степени детальности изучения, или масштабу карты, выбранные критерии должны способствовать выделению таких элементов среды, физическая, механическая или фильтрационная модель которых может быть использована в инженерных схемах и расчетах; выбранные критерии можно определять в массовом количестве с помощью эффективных, дешевых и доступных методов и разведочной техники.

Наиболее существенные признаки при классифицировании геологических тел для инженерно-геологических целей: литологический характер (включая пространственную «петрологическую» неоднородность и анизотропию), геолого-структурный характер (включая условия залегания и тектонические деформации пород) и физическое состояние горных пород (включая дисконтинуальность, выветрелость и другие изменения, например, консистенции, плотности, обводненности и др.). На основе этих фундаментальных признаков можно получить комплексную картину об общем характере геологического тела, которое эмпирически или по аналогии может быть описано как однородное в инженерно-геологическом отношении и обладающее определенными физико-механическими свойствами. Такие классификации можно использовать для самых разных целей при решении различных прикладных задач, поэтому они называются классификациями многоцелевыми или общими.

Одной из самых значительных и широко применяемых на практике является геолого-генетическая классификация И. В. Попова (1951), которая в модифицированном виде была принята и в международных рамках (СЭВ, 1965, ЮНЕСКО — МАИГ, 1976) как основа для таксономического подразделения реальных комплексов пород (выделение инженерно-геологических групп, формаций, геолого-генетических комплексов, петрографических типов, инженерно-геологических видов и подвидов). Хорошо известна классификация Ф. П. Саваренского (1937), модифицированная позднее многими авторами. Ее основное подразделение грунтов на скальные, полускальные, сыпучие, связные и особые широко используется в строительных стандартах (например, СНиП, ЧСН 73 1001). Основными критериями этой классификации являются: общий характер структурных связей (группы), генезис породы (типы) и петрографический характер (виды). По такому же принципу составлена и новая классификация Е. М. Сергеева (1982), которая в еще большей степени отражает характер структурных связей в породах скальных и дисперсных (классы), сформировавшихся различными способами (что обусловило связи кристаллизационные, ионно-электростатические, молекулярные, магнитные, электростатические и др.) в зависимости от условий образования и постгенетического развития горных пород (группы) и от их литологического состава (типы). Все эти и многие другие, по существу, генетико-литологические классификации (Маслов, 1957; Панюков, 1962; Горькова, 1966; Ломтадзе, 1975 и др.) научно обоснованы и используются в инженерной геологии в качестве основы для всесторонней оценки геологической среды при выделении реальных комплексов горных пород, обладающих квазиоднородными физическими свойствами. Отсутствуют в них, правда, количественные критерии тех свойств, которые используются в расчетных схемах и инженерных расчетах.

Составляются и широко применяются различные одноцелевые или специальные классификации. Они направлены для решения определенных специфических проблем и составляются, как правило, на основе специального классификационного критерия, например классификация М. М. Протодьяконова по крепости пород для подземных и горных сооружений. В классификациях Н. Бартона и др. (1974), З. Т. Беньявского (1976), О. Тедаржа (1977) использован принцип подсчета баллов и отнесения по сумме этих баллов горных пород к той или иной категории. Эти классификации разработаны для оценки массивов горных пород в связи с подземным строительством, но могут служить и для других инженерных целей. Из менее известных специальных классификаций приведем классификацию осадочных пород на основе прочности вдавливания по Шрейнеру (1958), классификацию Дира и Миллера (1966) на основе прочности сохранной породы и ее отношения к модулю упругости и др.

Такой же специальный или одноцелевой характер имеют различные инженерные, геотехнические, технологические и другие

классификации горных пород, применяющиеся в механике грунтов, фундаментах и в др. Критерии классификации здесь — косвенные и второстепенные признаки, важные с точки зрения предполагаемого использования горной среды или ее отдельных свойств (например, несущая способность и устойчивость пород, буримость, проходимость, абразивность, теплопроводность и т. д.). Такие классификации недостаточно связаны с существенными свойствами пород и их литолого-генетической природой, что в значительной мере уменьшает значение и делает невозможным их применение при инженерно-геологическом картировании горных пород.

В настоящее время наиболее научно обоснованный и прогрессивный метод — использование комплексной инженерно-геологической классификации, основанной на аддитивном принципе (принципе сложения признаков), основой которого является литогенетическая классификация. Такая классификационная система оказывается весьма рациональной благодаря открытости, динамичности и возможности развивать ее в различных направлениях (Матула, 1973).

Не случайно к такому же заключению приходят многие исследователи, разрабатывающие инженерно-геологические классификации пород. Так, В. В. Ржевский (1966) отмечает, что при классифицировании пород по физическим свойствам необходимо разделять их качественно на основные генетические группы, на классы по минеральному составу и структуре и дополнять количественными данными об основных физических свойствах. В. Р. Дирман (1974) самой рациональной инженерно-геологической классификацией на современном уровне развития науки считает классификацию, построенную на основе аддитивной системы. Перед основным названием петрографического типа породы в ней дается качественная или типологическая характеристика цвета, зернистости, структуры, текстуры, дисконтинуальности, степени выветрелости и измененности; за названием горной породы приводится типологическая характеристика прочности горных пород, проницаемости и других технически важных свойств.

Большую работу по разработке инженерно-геологической классификации горных пород провела Комиссия по инженерно-геологическому картированию МАИГ. Потребность в такой единой, приемлемой для разных стран классификации обнаружилась сразу же по издании Международного руководства по инженерно-геологическому картированию (ЮНЭСКО-МАИГ, 1976). Классификация опубликована в 1979 и 1980 гг. в Бюллетене МАИГ¹.

Предлагаемая классификация основана на следующих положениях:

1) первый этап классифицирования — отнесение горной породы к определенному литологическому типу. Так конструируется

¹ В составлении обоих этих документов принимали непосредственное участие Г. А. Голодковская и М. Матула.

основное название горной породы. Литологическая классификация скальных и полускальных грунтов в описываемой классификации учитывает генезис, минеральный состав, а также основные структурные и текстурные признаки породы. Эта классификация по сравнению с петрографической систематикой намеренно и существенно упрощена и построена по единой схеме для всех генетических групп пород;

2) основное наименование дополняется стандартизированным описанием физических и механических свойств и состояния породы. Для всех характеристик разработаны классификации с разделением пород по этим признакам на группы или категории, благодаря чему инженерно-геологическое описание породы становится более определенным. Так, по прочности (R_c) породы разделены на 5 классов: низкой (1,5—15 МПа), средней (15—50 МПа), высокой (50—120 МПа), очень высокой (120—230 МПа) и исключительно высокой (более 230 МПа) прочности. Подобные типологические характеристики использованы при описании горных пород и их массивов в настоящей работе при составлении атласа (см. ч. II).

ТИПИЗАЦИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД КАК ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В современной литературе по инженерной геологии, горному делу и механике горных пород, которые самым тесным образом связаны с изучением скальных массивов, общие инженерно-геологические классификации массивов отсутствуют. Имеются лишь отдельные специальные классификации, разработанные применительно к определенным видам строительства. В качестве примера можно привести классификацию типов скальных оснований плотин Л. Д. Белого (1957), инженерно-геологические классификации массивов применительно к разработке полезных ископаемых П. Н. Панюкова (1962, 1978), Г. Г. Скворцова (1975) и большое количество схем инженерно-геологического районирования скального массива для различных видов строительства (Гуреев, 1968; Каякин, 1976; Кереселидзе, 1972; Марков, 1976).

К числу региональных систематик скального массива можно отнести инженерно-геологическую типизацию массивов горных пород П. Н. Панюкова (табл. 2). Согласно этой схеме основным геоструктурным элементом земной коры (платформам и горно-складчатым областям) соответствуют два типа массивов горных пород: платформенные массивы и массивы горно-складчатых областей, существенно различающиеся по составу пород, характеру их залегания, типу тектонических структур, степени тектонической нарушенности, гидрогеологическим условиям и т. д.

По возрастному признаку выделяются подтипы массивов горных пород, поскольку с ним связаны некоторые существенные различия в их инженерно-геологических характеристиках.

**Инженерно-геологическая типизация массивов горных пород
(по П. Н. Панюкову, 1978)**

Типы и подтипы	Группы	Подгруппы
А Платформенные		
а) древние	А ₁ — областей щитов А ₂ — антеклиз и валов	Различаются по положению в той или иной складчатой зоне щита
б) молодые	А ₃ — синеклиз и мульда	Различаются по положению в той или иной части данной структурной области платформ
Б Горно-складчатые	Б ₁ — срединных массивов	1) тектонически активных высокогорных областей
а) каледонские	Б ₂ — внутренних син-клинориев и мульда	2) тектонически слабо активных низкогорных областей
б) герцинские	Б ₃ — интрузивных массивов	3) тектонически пассивных непленизированных областей
в) альпийские	Б ₄ — межгорных впадин Б ₅ — краевых прогибов	

Более дробные подразделения (группы) в систематике массивов будут соответствовать внутренним тектоническим структурам платформенных областей и горноскладчатых сооружений.

Подгруппы массивов платформенных областей выделяются по тектоническим структурам более высоких порядков, а горноскладчатых областей — по активности новейших структурных движений и типу новейших структурных форм

Подобная типизация носит общий характер и может быть использована только при региональных мелкомасштабных инженерно-геологических исследованиях. При рассмотрении скального массива с позиций инженерно-геологических исследований для строительства конкретных инженерных сооружений различного назначения, т. е. при средне-, крупномасштабном и детальном инженерно-геологическом картировании выделенные в табл. 2 таксоны могут рассматриваться только как надпорядковые массивы, накладывающие свой отпечаток на основные характеристики свойств и состояния скального массива

Вместе с тем практика средне-, крупномасштабных и детальных инженерно-геологических исследований, которые проводятся на участках комплексного хозяйственного освоения территорий или строительства ответственных инженерных сооружений, требует создания общих инженерно-геологических классификаций массивов на уровне, сопоставимом с размерами инженерных сооружений или их комплексов

Такая классификация позволит унифицированно проводить районирование скального массива с необходимой степенью детальности и явится основой для создания региональных инженерно-геологических моделей, которые в свою очередь используются в качестве базы для построения расчетных схем. Нами разработана

на основе системного подхода принципиальная схема инженерно-геологической типологической классификации массивов горных пород (табл. 3).

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Разработанная систематика массивов скальных горных пород основана на геолого-структурных или геотектонических принципах. Это является следствием того, что наиболее существенные различия в геологическом разрезе, условиях залегания пород и других геолого-структурных и инженерно-геологических характеристиках массивов обуславливаются геотектонической историей района.

Выделение массивов в данной классификации проводится по типу инженерно-геологических структур, без учета гидрогеологических условий, поскольку условия распространения, циркуляции, питания и дренажа подземных вод всецело зависят от инженерно-геологической структуры массива. Гидрогеологические условия могут быть существенно изменены инженерными средствами, тогда как инженерно-геологическая структура массива не поддается существенным изменениям (Панюков, 1978). Вследствие этого в разработанной классификации гидрогеологические параметры не являются ведущими, а учитываются при разработке специальных гидрогеологических классификаций и при общей инженерно-геологической оценке массивов горных пород.

В основу построения принципиальной схемы инженерно-геологической типологической классификации массивов скальных горных пород положен системный подход в соответствии с положениями, рассмотренными ранее.

Разработанная классификация является общей инженерно-геологической классификацией. Массивы горных пород рассматриваются в ней как общие системы с набором основных системообразующих признаков и использованием типологических критериев. Набор системообразующих признаков основан на имперических наблюдениях, определении взаимозависимости между основными показателями или на определении функциональных зависимостей между параметрами, элементами и структурой системы. При этом не рассматривается взаимодействие системы (массива горных пород) с инженерным сооружением.

При таком общем анализе исследуются состав и свойства объекта, его структура и структурные элементы, а также прогноз его поведения в природных условиях. Подобный подход — основа построения общих инженерно-геологических классификаций, типизаций, схем районирования и т. д., а также оценки поведения массива горных пород как геологического объекта без учета взаимодействия его с инженерным сооружением.

При анализе системы породных массивов с точки зрения поведения ее при взаимодействии с определенным типом сооружения

Принципиальная схема инженерно-геологической типологической классификации массивов горных пород

Классификационные признаки и характеристики	Порядок и название массивов			
	I А (первый)	II А (второй)	III А (третий)	IV А (четвертый)
А. Литолого-структурные массивы (лсм)				
Границы массивов	Границы литологических формаций и разрывных нарушений сложного и простого строений (массивы дизъюнктивов I и II порядка)	Границы литологических комплексов и тектонических нарушений сложного и простого строения (массивы дизъюнктивов I и II порядка)	Границы литологических типов или их определенных сочетаний, зон выветривания локальных дизъюнктивов	Границы измерения типа блочности
Признаки однородности внутренней структуры массива	Однородность состава и сложения литологической формации (однородность характера региональной дислоцированности)	Однородность состава и сложения литологических комплексов (однородность пликативной дислоцированности)	Однородность литологического состава, характера, трещиноватости	Однородность блочности (однородность физического содержания)
Размеры массива	$л \cdot 1000 \text{ м} — л \cdot 100 \text{ м}$	$л \cdot 100 \text{ м} — л \cdot 10 \text{ м}$	$л \cdot 10 \text{ м} — л \cdot 1 \text{ м}$	$л \cdot 1 \text{ м} — л \cdot 0,1 \text{ м}$
Элементы внутренней структуры массива	Локальные массивы литологические комплексы, локальные внутриформационные дислокации; размеры структурных элементов $л \cdot 100 \text{ м} — л \cdot 10 \text{ м}$	Литологически однородные массивы (литологические типы пород) и ограничивающие их элементы дисконтинуальности; размеры структурных элементов $л \cdot 10 \text{ м} — л \cdot 1 \text{ м}$	Массивы однородной блочности и ограничивающие их элементы дисконтинуальности; размеры структурных элементов $л \cdot 1 \text{ м} — л \cdot 0,1 \text{ м}$	Элементарные блоки и трещины с различным заполнителем, размеры структурных элементов $л \cdot 0,1 \text{ м}$ и менее
Структурная модель массива	Региональная модель пространственных соотношений литологических комплексов и их дислоцированности	Локальная модель пространственных соотношений литологических типов, условий их залегания и дислоцированности	Модель пространственных соотношений массивов однородной блочности	Модель пространственных соотношений элементарных блоков

Классификационные признаки и характеристика	Порядок и название массивов			
	I А (первый)	II А (второй)	III А (третий)	IV А (четвертый)
Дополнительные характеристики, необходимые для построения и описания И-2 моделей	Тип геологической структуры, возраст, история формирования, современная тектоническая активность, морфология, региональная гидрогеологическая и инженерно-геологическая характеристика	Состав, строение, условия залегания, характер и степень дислоцированности, интенсивность современных тектонических движений, морфология массива, гидрогеологические условия, состояние массива и его инженерно-геологическая характеристика	Инженерно-геологическая характеристика строения, свойств и состояния массива по классификационным и косвенным показателям	Инженерно-геологическая характеристика массива по косвенным и расчетным показателям

Б Массивы дизъюнктивов (мд)

Границы массивов	Внешние границы крупных региональных сложно построенных тектонических нарушений	Внешние границы региональных и локальных тектонических нарушений простого зонального строения	Границы отдельных зон тектонических нарушений (зоны сместителя, дробления, повышенной трещиноватости и др.)	Границы подзон по степени измененности пород (тектонической, гидротермальной, выветривания)
Признаки однородности внутренней структуры	Сложное зональное строение с несколькими сместителями и оперяющими их зонами тектонической нарушенности	Простое зональное строение с одним сместителем и оперяющими его зонами тектонической нарушенности	Однородность характера и степени трещиноватости и раздробленности	Однородность степени динамометаморфической переработки и измененности горных пород

Размеры массива	$n \cdot 1000 \text{ м} - n \cdot 100 \text{ м}$	$n \cdot 100 \text{ м} - n \cdot 10 \text{ м}$	$n \cdot 10 \text{ м} - n \cdot 1,0 \text{ м}$	$n \cdot 1 \text{ м} - n \cdot 0,1 \text{ м}$
Элементы внутренней структуры массива	Массивы дисъюнктивов простого строения; размеры структурных элементов $n \cdot 100 \text{ м} - n \cdot 10 \text{ м}$	Отдельные зоны тектонических нарушений; размеры структурных элементов $n \cdot 10 \text{ м} - n \cdot 1,0 \text{ м}$	Отдельные подзоны тектонических нарушений; размеры структурных элементов $n \cdot 1 \text{ м} - n \cdot 0,1 \text{ м}$	Элементарные блоки, обломки, раздробленная масса; размеры структурных элементов $n \cdot 0,1 \text{ м}$
Структурная модель массива	Региональная модель пространственных соотношений массивов дисъюнктивов простого строения	Модель пространственных соотношений зон различной тектонической нарушенности	Модель пространственных соотношений отдельных подзон с различной степенью динамометаморфической переработки	Модель пространственных соотношений элементарных блоков, обломков, раздробленной массы
Дополнительные характеристики	Морфокинематическая характеристика (сбросы, изгибы, надвиги, сдвиги, шарьяжи), геологический возраст, история формирования, современная тектоническая активность, морфология, региональная гидрогеологическая и инженерно-геологическая характеристика	Состав, строение, характер трещиноватости, интенсивность современных тектонических движений, состояние массива (напряженное, физическое, тепловое и др.), обводненность	Инженерно-геологическая характеристика свойств и состояния массивов по классификационным и косвенным показателям	Инженерно-геологическая характеристика свойств и состояния массива по расчетным и косвенным показателям

требуется иной, специальный, подход и оценки системных параметров, которые для каждого отдельного случая существенны и системообразующие.

В типологической классификации массивов горных пород (см. табл. 3) рассматривается только одна составляющая инженерно-геологической системы — собственно массивы горных пород, которые принимаются как обособленные, относительно независимые системы с иерархическим строением. Подземные воды, рельеф и геодинамические явления рассматриваются при этом как системы внешней среды, с которой массивы горных пород находятся в закономерном взаимодействии.

В разработанной инженерно-геологической классификации выделяются две группы массивов, существенно отличные по своему генезису: литолого-структурные массивы (лсм), петротектонической и петрогенетической природы и массивы дизъюнктивов (мд), тектонической природы (см. табл. 3).

Под литолого-структурными массивами понимаются объемные геологические тела, образующие пространственно-обособленные структуры разных порядков, границами которых являются элементы литологических или структурно-тектонических дисконтинуальностей. Под массивами дизъюнктивов — вытянутые геологические тела, приуроченные к крупным дизъюнктивам и обладающие зональным строением за счет включения зон различной степени нарушенности скального массива, образованных под влиянием тектонического нарушения.

В пределах обеих групп по размерности геологических структур, геологическому содержанию и характеру их границ различают массивы четырех порядков.

В классификационной схеме (см. табл. 3) по горизонтали соподчиненно выделяются массивы четырех порядков по размерности геологических структур, геологическому содержанию и характеру их границ. По вертикали приводятся классификационные признаки и дается их характеристика. Важнейшие классификационные признаки: границы массивов; признаки однородности внутренней структуры массива; размеры массивов; элементы внутренней структуры массива; размеры структурных элементов; структурное соотношение элементов; дополнительная характеристика (сведения об инженерно-геологических условиях, характеристика состояния и физико-механических свойств).

Массивы литолого-структурные

Массивы I порядка (I A) выделяются в пределах крупных тектонических структур (антиклинорий, синклинорий, горстов, грабенов и др.) и обособляются как геологические тела границами литологических формаций и границами региональных и локальных тектонических нарушений, создающих массивы дизъюнктивов I и II порядков. Преобладающие размеры от нескольких сот метров до нескольких километров. Признаки струк-

турной однородности — однотипность состава и сложения литологической формации, а также однородности характера региональной дислоцированности.

Структурные элементы региональных массивов — массивы локальные II порядка с преобладающими размерами $n \cdot 100$ м $n \cdot 10$ м, структурное соотношение между которыми представляется в виде региональной модели пространственного расположения массивов литологических комплексов с учетом регионального характера их дислоцированности (пликативной и дизъюнктивной). Пример расчленения регионального массива на массивы второго порядка показан на рис. 7.

Для дополнительной инженерно-геологической характеристики региональных массивов I А необходимо учитывать также тип геологической структуры и историю ее формирования, морфологию массива, включая рельеф поверхности, современную тектоническую активность, гидрогеологические и инженерно-геологические условия.

Массивы II порядка (IIA) выделяются внутри массивов I порядка, как части геологической структуры, сложенные породами одного геолого-генетического комплекса. Их границами являются границы литологических комплексов и тектонических нарушений, образующих массивы дизъюнктивов I и II порядков. Преобладающие размеры массивов от нескольких десятков до нескольких сот метров.

Признаки их однородности — однотипность состава, сложения, характера дислоцированности на уровне литологических комплексов. Структурными элементами массивов

являются литологически однородные массивы с преобладающими размерами от нескольких до десятков метров, структурное соотношение между которыми представляет локальную модель пространственных соотношений литологических типов или их определенных сочетаний, включая характер залегания и локальной дислоцированности пород.

Дополнительными характеристиками для более полного инженерно-геологического описания этих массивов являются данные о составе, строении, условиях залегания, характере и степени дислоцированности, интенсивности современных тектонических движений, морфологии массива, включая и рельеф, состоянии массивов, гидрогеологических и инженерно-геологических условиях.



Рис. 7. Расчленение регионального массива (IA) варисийских гранодиоритов на локальные массивы (IIA и IIB) на основе региональных исследований масштаба 1 : 200 000 (Средняя Словакия):

Массив IIA: 1 — гранодиориты кремнистые; 2 — гранодиориты и диориты филонитизированные (диафориты); 3 — гранодиориты, граниты; 4 — гранодиориты лейкократовые (аплитовые); 5 — тектонический разлом простого строения (массив IIB)

Массивы III порядка (IIIA) выделяются внутри массивов II порядка как их структурные элементы. Они сложены породами одного литологического (петрологического) типа или их определенными сочетаниями (флиши, флишеобразные пачки, их отдельные ритмы и т. д.). Границами литологически однородных массивов являются границы литологических типов (или их сочетаний), границы отдельных типов (или горизонтов) выветрелости и локальные тектонические нарушения (простые дизъюнктивы) (рис. 8).

Наиболее часто встречаемые размеры литологически однородных массивов — от нескольких метров до нескольких десятков метров. Признаками структурной однородности в них являются однородность литологического (петрологического) состава и характер трещиноватости. Система литологически однородного массива состоит из структурных элементов, которыми являются массивы IV порядка, т. е. массивы однородной блочности. Литологически однородные массивы представляют модель пространственных соотношений массивов однородной блочности.

При построении инженерно-геологической модели литологически однородного массива дается характеристика свойств и состояния массива по классификационным и косвенным показателям.

Массивы IV порядка (IVA) выделяются как структурные элементы внутри литологически однородного массива (литологиче-

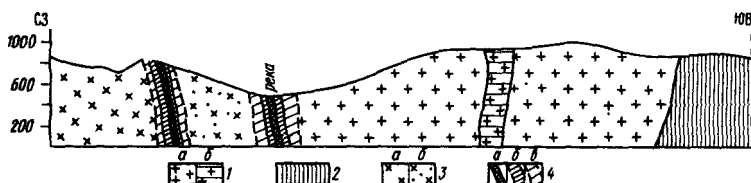


Рис. 8. Расчленение локальных массивов (IIA) и дизъюнктива простого строения (IIБ) на литологически однородные массивы (IIIA) и зоны дизъюнктивов (IIIB) на основе картирования в масштабе 1 : 25 000 и данных бурения (Средняя Словакия):

1 — гранодиорит: а — биотитовый, б — с жилками пегматитов; 2 — гранодиорит филонитизированный (диафорит); 3 — гранодиорит-гранит: а — биотитовый, б — биотитовый с образованиями калиевых полевых шпатов; 4 — тектонический разлом: а — зона сместителя, б — зона мионолитов, в — зона дробления и интенсивной трещиноватости

ского или петрологического типа пород) по характеру и размеру блочности. Границами массивов IV порядка являются границы изменения типов блочности.

Ведущим признаком структурной однородности этих массивов принимается однотипность блочности (размер, форма, взаимное расположение элементарных блоков), оказывающая определяющее влияние на физическое состояние скального массива.

Структурные элементы массивов однородной блочности — элементарные блоки с преобладающим размером от нескольких сан-

тиметров до первых метров, а также отделяющие их трещины. Структурное соотношение элементов представляют частные модели одиотипной блочности с учетом размера, формы, распределения элементарных блоков.

Инженерио-геологическая характеристика этих массивов (по своему содержанию соответствует понятию «инженерио-геологический элемент») дается на уровне косвенных и расчетных показателей физико-механических и фильтрационных свойств (примеры типизации этих массивов см. в ч. II).

Помимо перечисленных литолого-структурных массивов при региональных инженерно-геологических исследованиях мы встречаемся с более крупными по своей размерности геологическими структурами, которые отнесены к надпорядковым массивам и в данной классификации не рассматриваются (см. П. Н. Панюков, 1979).

Массивы дизъюнктивов

Самостоятельную группу образуют массивы горных пород в зонах тектонических нарушений, таких, как зона сместителя, дробления, расщепления, повышенной трещиноватости, которые образуют массивы дизъюнктивов. Для них характерны вытянутая форма и зональное строение. Они характеризуются аномально-неблагоприятными инженерно-геологическими условиями и требуют самого пристального изучения.

По размерности и степени нарушения горных пород различаются массивы дизъюнктивов четырех порядков: I — массивы дизъюнктивов сложного строения, II — массивы дизъюнктивов простого строения; III — массивы отдельных зон дизъюнктивов; IV — массивы отдельных подзон дизъюнктивов.

Массивы I порядка (IB) — дизъюнктивы сложного строения, включают горные породы различной степени тектонической нарушения, приуроченные к крупным региональным дизъюнктивным нарушениям (разломам, надвигам, шарьяжам и др.). Они имеют сложную зональную структуру с несколькими, иногда различно ориентированными зонами сместителя, которые являются ведущим признаком их выделения.

Преобладающие размеры (мощности) этих массивов — от нескольких сот метров до нескольких километров.

Структурные элементы массивов I порядка — массивы дизъюнктивов простого строения, как правило, мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен метров, пространственное соотношение которых представляет региональную модель данного массива.

Важные дополнительные характеристики массива: тип разрывного нарушения и история его формирования, современная тектоническая активность; морфология массива, его гидрогеологические, геотермические условия и комплексная инженерно-геологическая оценка.

Массивы II порядка (IIБ) — дизъюнктивы простого строения приурочены к региональным и локальным тектоническим нарушениям простого зонального строения с одним сместителем (сбросы, взбросы, разломы и др.) и представлены горными породами разной степени тектонической нарушенности (от раздробленных до среднетрещиноватых). Они имеют простое зональное строение с одним сместителем (зоной сместителя, сдвига, дробления) и опоярванными его зонами тектонической трещиноватости.

Преобладающие размеры (мощности) этих массивов — от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Границы массива — внешние границы образующего его тектонического нарушения, включая зоны влияния.

Структурными элементами массивов II порядка являются отдельные зоны тектонического нарушения, имеющие мощности от нескольких метров до нескольких десятков метров. Пространственное соотношение этих элементов представляет региональную модель данного массива.

Важные дополнительные характеристики массива: морфокинетическая характеристика дизъюнктива, его возраст, современная тектоническая активность, состав, строение, характер и степень трещиноватости, инженерно-геологические условия, параметры состояния и физико-механических свойств.

Массивы III порядка (IIIБ) — отдельных зон тектонических нарушений — представлены породами одинаковой степени тектонической нарушенности и характеризуются однородностью характера и степени тектонической трещиноватости или раздробленности. Границами массивов являются границы отдельных зон тектонических нарушений (зоны сместителя, дробления, сильной, повышенной, средней трещиноватости). Преобладающие размеры массивов от нескольких метров до нескольких десятков метров. Структурными элементами являются отдельные подзоны зон тектонических нарушений, выделяющиеся по характеру свойств и состоянию горных пород (степени гидротермальной измененности, динамометаморфической переработки, особенностям обводненности и напряженного состояния и т. д.), с преобладающими размерами от нескольких дециметров до нескольких метров. Пространственное соотношение этих элементов представляет модель данного массива.

Важными дополнительными характеристиками массива являются характеристики свойств и состояния по классификационным и косвенным показателям.

Массивы IV порядка (IVБ) — отдельных подзон тектонических нарушений — объединяют породы одинаковой степени динамометаморфической и гидротермальной измененности. Границами их являются участки изменения характера и степени динамометаморфической и гидротермальной переработки. Преобладающие размеры массивов — от нескольких дециметров до нескольких метров.

Структурные элементы — элементарные блоки, обломки, раздробленная масса с преобладающими размерами от 1 дм до нескольких. Пространственное соотношение элементарных блоков, обломков, раздробленной массы создает модель данного массива.

Важнейшими дополнительными характеристиками являются показатели (расчетные и косвенные) физико-механических свойств и состояния (характера и степени трещиноватости, напряженного состояния, обводненности и т. п.) исследуемых массивов.

Значение приведенной классификации не ограничивается систематикой и унификацией существующих представлений о массивах горных пород. Применение системного анализа, положенного в основу классификации, позволяет лучше вскрыть взаимоотношения между различными таксономическими единицами и тем самым глубже познать природу существующих инженерно-геологических условий, оценить однородность массивов каждого порядка как с позиций внутренней структуры, так и во взаимодействии с инженерным сооружением.

Последнее позволяет характеризовать исследуемый массив с объективно необходимой степенью детальности, избегая как излишней схематизации, так и деятельности. И наконец, приведенная типологическая классификация открывает большие возможности для направленной типизации массивов горных пород различных порядков.

ТИПИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

В следующей классификации, основанной на литологическом составе и способе образования пород, можно выделить: инженерно-геологический тип (ЕТ); литологический тип (LT); литологический комплекс (LC); литологическую формацию (LS). Для каждой из этих единиц характерна разная степень однородности.

Инженерно-геологический тип владеет самой высокой степенью однородности, проявляющейся в литологическом характере и в физическом состоянии. Инженерно-геологический тип характеризуется статистически обработанными значениями отдельных определений физико-механических свойств и обычно изображается только на крупномасштабных картах.

Литологический тип полностью однороден в отношении состава, структуры и текстуры, но обычно неоднороден с точки зрения физического состояния. Достоверные значения средних механических свойств нельзя присуждать всей единице; обычно показывается только общее представление об инженерных свойствах с диапазоном возможной дисперсии значений. Эти единицы изображаются на крупномасштабных и в некоторых случаях на среднемасштабных картах.

Литологический комплекс содержит набор генетически близких литологических типов, развивающихся в специфических палео-

географических и геотектонических условиях. В рамках литологического комплекса однородным и четким является пространственное распределение литологических типов, неоднородность проявляется либо в литологическом характере, либо в физическом состоянии. В связи с тем нельзя определять физические и механические свойства целого литологического комплекса, а можно привести данные для отдельных его типов, создающих комплекс, и наметить общее поведение целого комплекса. Литологический комплекс показывается на картах среднего и в некоторых случаях и мелкого масштаба.

Литологическая формация содержит много литологических комплексов, развившихся в подобных палеогеографических и тектонических условиях. Она обладает определенной общей литологической характеристикой, выражающей общую однородность формации и позволяющей ее отличать от других формаций. Для литологической формации приводятся только наиболее общие инженерно-геологические свойства. Эта единица выражается только на мелкомасштабных картах.

Остановимся на типизации основных классификационных параметров, отражающих литологическое содержание массива (массивообразующие единицы), типы структурных элементов и типы структур.

Типизация проводится отдельно для литолого-структурных массивов (табл. 4) и массивов дизъюнктивов (табл. 5), а внутри каждой группы — по порядковым уровням.

Основные массивообразующие единицы литолого-структурных массивов на всех уровнях — горные породы в виде литологических формаций, комплексов, типов, а также их дискретность, имеющая петрогенетическую и петротектоническую природу.

Основной массивообразующей единицей литолого-структурных массивов I порядка является литологическая формация. Наиболее полная классификация литологических типов формаций применительно к задачам инженерной геологии разработана Г. А. Голодковской (1968) и в несколько дополненном виде может быть использована для этих целей. Типы структурных элементов массивов IA — это литологические комплексы, входящие в состав образующей его формации.

Наиболее распространенные типы структуры массива, представляющие собой различные виды чередования и взаимоотношения между литологическими комплексами, приведены в табл. 6. Помимо литолого-петрологического состава формаций и характера их структуры большое инженерно-геологическое значение имеет тип дислоцированности формаций. Различаются недислоцированные и складчатые структуры массивов.

Содержание литолого-структурных массивов II порядка составляют литологические комплексы (см. табл. 6). Структурным элементом их могут быть любые петрологические или литологические типы пород в рамках данного комплекса. Из-за большого количества литологических типов и достаточной однозначности отнесения их к определенному литологическому комплексу пере-

Типизация основных классификационных признаков литолого-структурных массивов

Типы массивов	Типы массивообразующих единиц	Структурные элементы и типы их соотношений в массивах	Типы дислоцированности массивов
I порядка — региональные массивы (IA)	литологические формации (см. табл. 6)	литологические комплексы: нормальное чередование пластообразных комплексов ритмичное чередование пластообразных комплексов линзообразное чередование комплексов клинообразное чередование комплексов платообразное чередование комплексов покровообразное чередование страто-вулканическое потокообразное, диапировое зональное, гнездообразное жилообразное — соотношение интрузивных комплексов	недислоцированные дислоцированные сложнодислоцированные степень дислоцированности: слабая средняя сильная
II порядка — локальные массивы (IIA)	литологические комплексы (см. табл. 6)	литологические типы: линзообразный гнездообразный слоисто-параллельный тонкослойный крупнослойный разнослойный чечевичеобразный зональный, гнездообразный жилообразный	недислоцированные складчатые сложноскладчатые блоковые складчато-глыбовые глыбовые
III порядка — литологически однородные массивы (IIIA)	литологические типы (табл. 7)	тела однотипной блочности: однородные квазиизотропные однородные анизотропные неоднородные квазиизотропные: (слабо-, средне-, сильнонеоднородные)	генезис и степень трещиноватости: литогенетическая тектоническая

Типы массивов	Типы массивов базальных единиц	Структуры залежи и типы их соотношений в массивах	Типы дислоцированности массивов
		неоднородные, анизотропные (слабо-, средне-, сильноанизотропные) зональные	экзогенная степень трещиноватости слабая, средняя, сильная, очень сильная
IV порядка — массивы однородной блоочности (IVА)	Типы блоочности (см рис. 9) глыбовая неправильной формы — 0, плитчатая — 1, призматическая — 2 кубическая — 3, ромбическая — 2—3 столбчатая — 4	Элементарные блоки пород (по форме) глыбовые, полндревчатые плитчатые, пластовые призматические кубические, ромбические столбчатые По размеру (м) очень крупные ($>1,5$) крупные (1,5—0,75) средние (0,75—0,25) мелкие (0,25—0,10) очень мелкие ($<0,10$)	Типы поверхности трещин гладкие, шероховатые, бугристые, неровные Типы трещинного заполнения без заполнения (открытый) парашкообразный песчано-глинистый минеральный кристаллический кварцевый, серпентинитовый, гипсовый, гипс-ангидрид затвердевший — хрупкий и др.

Типизация основных классификационных признаков массивов дизъюнктивов (разрывных нарушений)

Типы массивов	Типы массивообразующих единиц	Структурные элементы и типы их соотношений в массивах
I порядка — массивы дизъюнктивов сложного строения (IБ)	сброс взброс надвиг сдвиг шарьяж (с изменением их площади)	массивы дизъюнктивов простого строения: параллельно-зональные клиновидно-зональные веерообразно-зональные кулисообразно-зональные зонально-пересекающиеся
II порядка — массивы дизъюнктивов простого строения (IIБ)	сброс взброс надвиг сдвиг шарьяж с полным набором с неполным набором зон	зоны дизъюнктивов: симметрично-зональные асимметрично-зональные
III порядка — массивы отдельных зон тектонических нарушений (IIIБ)	Зоны дизъюнктивов: смещения дробления расслаивания сильной оперяющей трещиноватости повышенной оперяющей трещиноватости средней оперяющей трещиноватости слабой оперяющей трещиноватости	подзоны дизъюнктивов: однородно-изотропный однородно-анизотропный неоднородно-изотропный неоднородно-анизотропный зональный азональный

Типы массивов

Типы массивообразующих единиц

IV порядка — массивы отдельных подзон тектонических нарушений (IVБ)

Подзоны дизъюнктивов:
тектонической брекчии
какиритов
катаклазитов
милонитов
ультрамилонитов
слабой степени вторичной измененности
средней степени вторичной измененности
сильной степени вторичной измененности

Продолжение табл 5

Структурные элементы и типы их соотношений в массивах

элементарные блоки, обломки, раздробленная масса
однородно-дисперсные
однородно-обломочные
однородно-глыбовые
однородно-блоковые

Основные типы литологических формаций и комплексов

Тип литологических	
формаций	комплексов
Терригенный	Осадочные конгломератовый преимущественно песчанниковый песчанниково-алевролитовый алевролитово-аргиллитовый аргиллитовый
Карбонатный	известняковый доломитовый мергельно-доломитовый мергельно-доломитово-известняковый песчаных известняков рифово-известняковый (рифовых известняков) органогенно-известняковый (органогенных известняков) мела и мелоподобных мергелей кремнисто-известняковый
Сульфатно-доломитовый	ангидрито-мергелистый доломитово-ангидритовый гипсово-мергелистый гипсово-доломитовый
Угленосный	углей углисто-алевролитовый углисто-аргиллитовый углисто-песчаниковый
Галогенный	гипсово-ангидритовый калийных солей сульфатных солей хлоридных солей
Флишевый	конгломератовый песчаниковый ритмичного песчаниково-алевролитово-аргиллитового переслаивания алевролитово-аргиллитовый алевролитово-мергельный песчаниково-мергельный

Типы литологических	
формаций	комплексов
Молассовый	песчаниково-конгломератовый песчаниковый песчаниково-алевролитово-аргиллитовый мергельный
Гранитоидный	Магматические гранитовый сиенитовый диоритовый диорит-порфировый дацит-порфировый моноклит-порфировый кварцево порфировый
Габброидный	габбровый габбро-диоритовый габбро-долеритовый габбро-диабазовый габбро-анортозитовый
Гипербазитовый	перидотит-пироксенитовый перидотит-дацитовый перидотит-дунитовый
Липарит-дацитовый	липаритовый (риолитовый) туфовый (туфолоавовый, пирокластический) туффитовый (вулканогенно-осадочный) туфобрекчиевый
Андезитовый	андезитовый туфовый туффитовый туфобрекчиевый
Базальтовый	базальтовый туфовый туффитовый туфобрекчиевый
Трапповый	базальтовый туфовый (пирокластический)

Типы литологических	
формаций	комплексов
Метаморфические	
Глинисто-сланцевый	глинистых сланцев
Зеленосланцевый	хлоритовых сланцев эпидотовых сланцев слюдяных сланцев
Кристаллических сланцев	амфиболитовых сланцев пироксенитовых сланцев
Гнейсово-кварцитовый	гнейсов кварцитов яшм мigmatитов
Мраморов	

чень их в табл. 6 не приводится. Основные типы структур этого уровня, выражающиеся в соотношении между литологическими или петрологическими типами пород, приведены в табл. 4. Наиболее характерные типы дислоцированности: недислоцированные, складчатые, сложноскладчатые, блоковые, складчато-глыбовые, глыбовые и др.

Главные массивообразующие единицы литолого-структурных массивов III порядка — литологические типы пород или их определенные сочетания. Структурные элементы представлены различными типами блочности, которая может иметь различный генезис (литогенетический, остывания, тектонический, выветривания, гравитационный).

Наиболее распространенные типы структур: однородный квазиизотропный, однородный анизотропный, слабо-, средне-, сильнонеоднородный квазиизотропный, неоднородный, слабо-, средне-, сильноанизотропный зональный, блоковый и др.

Массивообразующие единицы литолого-структурных массивов IV порядка — литологически однородные тела однотипной блочности, наиболее распространенные типы которых (рис. 9): 1) глыбовый и неправильной формы, 2) плитчатый или пластовый, 3) призматический или кубический, образованный двумя ортогональными неравнозначными системами трещин, 4) кубический или ромбический образованные тремя равнозначными системами трещин; 5) столбчатый многогранный, правильной формы. Наи-

Основные литологические типы горных пород (по трудам Комиссии МАИГ)

Основные осадочные породы			Химические органические	Генетическая группа
Сложные				общая структура
Обломки пород и минералы			больше чем 50% обломков карбонатов	состав
Рудитовые	обломки пород		кальцинит	сложные породы: газлит ангидрит газ
	окатанные обломки: конгломераты угловатые обломки: брекчия			карбонатные породы известняк доломит
Арепитовые	зерна преимущественно из обломков минералов		кальцит	грубозернистые 6,0
	песчанник			мелкозернистые 2,0
Аргиллитовые или лутиловые	аргиллит: сланцевый аргиллит	зернист 50% мелкозернистых частиц	кальцит	тонкозернистые 0,06
		аргиллит 50% тонкозернистых частиц	мел кальцит	тонкозернистые 0,002
			кальцит	стеклянные аморфные
			кальцит	карбонатные породы, уголь

преобладающий размер частиц (мм)

Пирокластические	Изверженные				Текстическая группа			
Массивные					обычная структура			
Больше чем 50% обломков из изверженных пород	кварц, шпаты, слюды, темные минералы		шпаты, темные минералы	темные минералы	состав			
	кислые	средние	основные	ультраосновные				
Окатанные обломки: агломераты, угловатые обломки, вулканические брекчии	пегматит			пироксенит периодит	грубозернистые	6,0	преобладающий размер частиц (мм)	
	гранит	диорит	габбро		крупнозернистые	2,0		
			долерит		среднезернистые	0,6		
Туф	риолит (липарит)	андезит	базальт		мелкозернистые	0,002		
Мелкозернистый туф					тонкозернистые			
Тонкозернистый туф	вулканические стекла				стеклянные аморфные			

Продолжение табл. 7

Метаморфиче		Месторождение	Сорт	Преобладающий размер чешуек (мм)
Состав	Месторождение			
Кварц, опалы, слюда, темные глины	Кварц, опалы, слюда, темные минералы, карбонаты			
Тектонические брекчи				
Мигматит	гранит	грубозернистые	6,0	
Гнейс	гранит			
Кристаллический сланец	Амфиболит	крупнозернистые	2,0	
		среднезернистые	0,06	
Фолит	кварцит	мелкозернистые	0,002	
Сланец	Милонит	тонкозернистые		

стекляные
аморфные

более распространенные типы структур глыбовая, плитчатая или пластовая, призматическая, кубическая, ромбическая, столбчатая

Массивы дизъюнктивов различных порядков объединяют дизъюнктивные структурные элементы тектонической природы. С этих позиций ведущими классификационными параметрами массивов различных порядков являются морфокинематический тип стож-

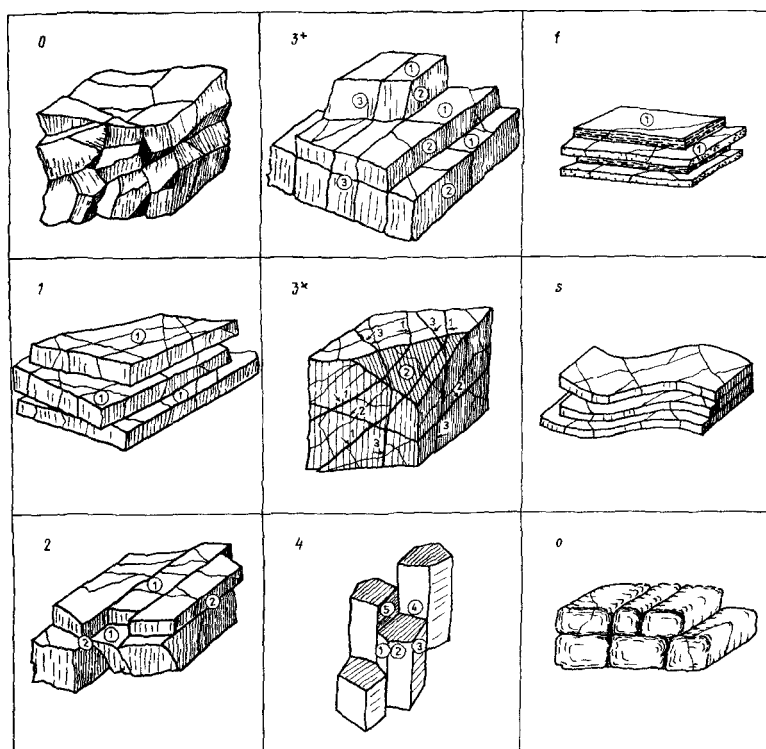


Рис 9 Модели типов блочности массивов скальных пород (по Matula Holzer, 1976, 1978)

Тип 0 — глыбовый, полиэдрический многогранники неправильной формы, тип 1 — плитчатый, пластовый — пластовая отдельность, образованная одной горизонтальной четко выраженной системой трещин, тип 2 — призматический — призматическая или кубическая отдельность, образованная двумя ортогональными равнозначными системами трещин, тип 3⁺ — кубический и 3^x — ромбический — образованные тремя равнозначными системами трещин (две из которых ортогональны при 3⁺), тип 4 — столбчатый — вытянутые многогранники правильной формы, образованные тремя или более равнозначными системами трещин

ного дизъюнктива IB, морфокинематический тип простого дизъюнктива IIB, зоны дизъюнктива (IIIB), подзоны дизъюнктива (IVB) (см табл 5)

Наиболее распространенными типами массивообразующих единиц дизъюнктивных массивов I порядка (IB) являются сбросы,

взбросы, надвиги, сдвиги, шарьяжи с параллельно-зональным, клиновидно-зональным, веерообразно-зональным, кулисообразно-зональным и зонально-пересекающимся типами структур.

Массивы дизъюнктивов простого строения (IIB) образованы теми же морфокинетическими типами, что и массивы I порядка, но характеризуются иными типами структуры: симметрично-зональным и асимметрично-зональным.

Главные классификационные параметры массивов дизъюнктивов III порядка — собственно зоны тектонического нарушения: сместителя, дробления, рассланцевания, сильной оперяющей трещиноватости, повышенной оперяющей трещиноватости, средней оперяющей трещиноватости, слабой оперяющей трещиноватости, со следующими наиболее распространенными типами структур: однородно-изотропным, однородно-анизотропным, неоднородно-изотропным, неоднородно-анизотропным, зональным, азональным.

Наконец, основными массивообразующими единицами массивов дизъюнктивов IV порядка (IVB) являются подзоны, представленные следующими типами: тектонической брекчии, какиритов, катаклазитов, милонитов, ультрамилонитов, слабой степени вторичной измененности, средней степени вторичной измененности, сильной степени вторичной измененности. Наиболее распространены типы однородно-дисперсных, однородно-обломочных, однородно-глыбовых, однородно-блоковых структур.

СТАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Массивы горных пород как составная часть геологической среды, по существу, являются динамической системой, постоянно изменяющейся, развивающейся, связанной с окружающей средой. Ни одну из прикладных задач их поведения под воздействием внешних факторов, включая вмешательство человека, нельзя успешно решить без учета этого фактора. Однако существует ряд задач, когда необходимо подходить к массивам горных пород как к квазистатической системе. При этом нужно отчетливо представлять, что статические системы на самом деле только системная модель, абстрагированная от времени и стадии развития для лучшего познания и понимания определенных состояний динамически развивающихся реальных объектов. Подобный подход позволяет более эффективный анализ разных сторон реальных объектов, главным образом характеризующих структуру системы. К ним прежде всего относятся внутреннее строение системы и ее состояние, при описании которых используются такие понятия, как множество и элемент, свойства, отношения и связи элементов, их интеракции и системообразовательные функции, организация,

структура и иерархическое строение системы, разные аспекты состояния системы, ее устойчивость и внутреннее равновесие и т. д. (Садовский, 1974).

При описании массивов горных пород на первом этапе необходимы исследование их состава и структуры как геологических тел разных иерархических уровней, их таксономическая классификация и типизация, характеристика разных, важных с точки зрения инженерной геологии сторон с помощью количественно выраженных величин (например, характеристики геометрических, физических, механических, гидравлических и других свойств).

При описании массивов горных пород как квазистатических системных моделей последовательно должны быть охарактеризованы:

вещественный (материальный) состав массива, выраженный в понятиях минералогии, петрологии или литологии;

морфолого-структурные отношения и связи между элементами массива, т. е. главным образом размер и форма элементов или составных частей массива (элементарных обломков и блоков, слоев, пачек слоев и др.); существенные параметры элементов дисконтинуальности (трещин, сбросов, зон сбросов и др.); взаимные пространственные отношения элементов, создающих характер структурной неоднородности и анизотропии системы горных пород;

характеристики физического состояния, т. е. фиксированное на данный момент времени состояние в цепи постепенных изменений системы, развивающейся в разных физических, химических и других полях под влиянием внутренних и внешних факторов: выветрелость массива горных пород; обводненность массива (материала блоков и дисконтинуальностей); тепловое состояние в массиве горных пород; напряженное состояние массива;

функциональные соотношения и зависимости между элементами внутри системы, главным образом прочность структурных связей в элементах, между ними и прочность массива как системного целого с особым акцентом на зависимости функциональных соотношений между элементами и дисконтинуальностями; деформируемость; проницаемость.

Системный анализ массива горных пород позволяет создавать различные специализированные квазистатические модели, между которыми возможна корреляция их характеристик. Это позволяет интерпретировать одну статическую модель в языке другой системной модели, например, инженерно-геологическую, описанную характеристиками литологического состава и физического состояния, можно на основе аналогии, а также измерений, экспериментов и корреляционных расчетов трансформировать в модель, описываемую параметрами деформационных модулей, коэффициентов фильтрации и др.

Характеристики системы горных пород могут быть либо качественными, либо описываться количественными параметрами. Под параметрами здесь понимаются измеряемые величины, характеризующие существенные свойства изучаемых явлений или объектов;

при этом можно количественно описывать (определять) как определенные свойства избранных сторон или частей явления, так и интересующие нас соотношения между составляющими систем. Цель инженерной геологии при классифицировании и изучении массивов горных пород — повышение уровня и точности исследований с применением именно таких, количественно определяемых параметров.

ВАЖНЕЙШИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

К числу важнейших характеристик массивов скальных пород, оказывающих влияние на устойчивость инженерного сооружения, относятся: вещественный состав, структура и текстура горных пород, слагающих массив; строение массивов (условия залегания горных пород); трещиноватость; неоднородность и анизотропность; обводненность; выветрелость и вторичная измененность; напряженное состояние; температурный режим; показатели физико-механических свойств массивов.

Решение перечисленных вопросов часто требует модификации методик, принятых в инженерной геологии, механике скальных пород и инженерной геофизике. Рациональный комплекс методов включает: 1) комплексную инженерно-геологическую съемку, которая проводится для установления основных закономерностей изменения строения, свойств и состояния массивов горных пород, инженерно-геологического районирования и типизации массивов; 2) комплекс разночастотных модификаций сейсмоакустики — ультразвуковых, акустических и сейсмических исследований — для уточнения общей инженерно-геологической характеристики массивов и количественной оценки свойств и состояния горных пород в условиях естественного залегания на разных масштабных уровнях; 3) лабораторные исследования образцов горных пород с целью изучения их физико-механических свойств и состояния на данном масштабном уровне; 4) крупномасштабные полевые опыты для определения прочностных и деформационных показателей в характерных точках массива; 5) гидрогеологические работы для определения обводненности скального массива и его фильтрационных свойств, а также для увязки этих характеристик с параметрами трещиноватости; 6) режимные наблюдения в различных геолого-структурных зонах для изучения динамики деформационных процессов и температурного режима массивов горных пород; 7) расчетные, модельные и натурные методы изучения напряженного состояния; 8) расчетные и модельные методы оценки прочностных и деформационных свойств массивов на разных масштабных уровнях.

Вещественный состав, структура и текстура горных пород, слагающих массив

Роль вещественного состава, структуры и текстуры горных пород в формировании инженерно-геологических особен-

ностей и физико-механических свойств массивов признается всеми учеными. Однако степень этого влияния оценивается по-разному. Так, представители генетической школы инженеров-геологов (Е. М. Сергеев, Л. Д. Белый, Г. А. Голодковская, М. Матула, Г. С. Золотарев, В. Д. Ломтадзе, П. Н. Панюков, Г. Г. Скворцов и др.) считают, что массивы, сложенные породами различного генезиса и состава, обладают определенными инженерно-геологическими особенностями: разными показателями физико-механических свойств, сопротивляемостью выветриванию, своеобразным строением рельефа и, в частности, склонов и их устойчивостью, спецификой геологических и инженерно-геологических процессов.

Представители и последователи австрийской геомеханической школы (Л. Мюллер, Б. Куюнджич и др.) считают, что роль генезиса горных пород в формировании физико-механических свойств скальных массивов существенно меньше, чем влияние слоистости, сланцеватости, трещиноватости, хотя последние сами во многом определяются генезисом и составом пород. Генетические принципы и значение изучения свойств горных пород как материала, слагающего массив, изложены на с. 17.

Строение массивов

Ведущим фактором, обуславливающим свойства и состояние массивов горных пород, несомненно является их строение, где различают горные породы, которыми они сложены, и их залегание. Форма залегания горных пород разнообразна и обычно представлена множеством типов. Массивы горных пород — это сложноструктурированная и, как правило, физически неоднородная среда, общий структурный план которой создают объемные структурные элементы и поверхности их раздела (Панюков, 1962, 1978).

Масштабный эффект в отношении прочностных и деформационных характеристик, который наиболее интенсивно и качественно по-иному проявляется при переходе от образца горной породы к массиву, соизмеримому с инженерным сооружением, прежде всего связан с особенностями строения массива характером залегания, слоистостью, сланцеватостью, дислоцированностью, системами трещин различного генезиса, разрывами, разломами. Именно эти неоднородности определяют строение массива скальных горных пород и приводят к существенному отличию многих характеристик свойств и состояния в образце горной породы и собственно в массиве, сопоставимом с размерами инженерного сооружения.

Слоистость — отличительная черта осадочных горных пород, выражающаяся в чередовании слоев различного состава и строения, — образует слоистую текстуру скального массива, которая приводит к анизотропии прочностных и деформационных свойств.

Сланцеватость характерна для метаморфических горных пород. Она проявляется в ярко выраженной направленности (упорядоченности) столбчатых и пластинчатых породах (главные оси мине-

ралов определяют плоскость сланцеватости), либо в наличии расположенных на небольшом расстоянии друг от друга приблизительно параллельных механически активных плоскостей, по которым порода может расслаиваться, отделяться или сдвигаться.

Помимо сланцеватости и слоистости большое влияние на строение скального массива оказывает характер залегания горных пород. По характеру их залегания различают (Панюков, 1978) следующие типы: 1) недислоцированные, 2) с моноклиналильным залеганием пород, 3) простого складчатого строения, 4) сложного складчатого строения, 5) сложного складчато-разрывного строения с интенсивной вторичной складчатостью и пloyчатостью пород. Своеобразным явлением в строении некоторых массивов представляются диапировые складки, карстовые образования и оползневые дислокации.

Основные компоненты строения скальных массивов исследуются в процессе инженерно-геологической съемки, масштаб которой определяется целью и стадией изучения. Главным объектом изучения при этом являются горные породы, их состав, структурно-текстурные особенности, распространение, залегание, трещиноватости, дислоцированности и т. д., в естественных или искусственных обнажениях, в горных выработках и по керну буровых скважин.

Описание строения массива начинается с указания типа обнажения, его географической привязки, определения региональной и локальной тектонической структуры, установления литологической формации, литологического комплекса и литологического типа пород, характеристики блочности массива. Основные требования к описанию горных пород, слагающих массив, см. с. 110.

Большое внимание уделяется соотношению в разрезе пород различного состава и описанию характера их контактов. В пределах однородных по литологическому составу толщ выявляются закономерности изменчивости их структурно-текстурных особенностей. Особенно пристально изучаются прослои, линзы и другие включения слабых пород. С помощью обычных геолого-структурных приемов устанавливается характер залегания горных пород (пласты, покровы, батолиты, штоки, дайки и т. д.), определяются размеры основных структурных форм, элементы залегания, тип контактов между литологическими формациями, комплексами и типами пород, а также типами блочности, характер дислоцированности. При складчатом строении определяются тип складок (симметричные, асимметричные и т. д.), их характер (стоячая, наклонная, опрокинутая, лежащая, перевернутая и др.), форма (округлые, угловатые, полукруглые, зигзагообразные, гребневидные, параболические, гиперболические, веерообразные, сундучные и т. д.), выделяют отдельные элементы складок (ядро, крылья, шарнир, ось) и дается их морфологическая характеристика. Самым тщательным образом исследуются разрывные нарушения. Определяются размеры тектонического нарушения, устанавливается тип (сбросы, сдвиги, сбрососдвиги, надвиги, шарьяжи и т. д.), описы-

ваются элементы внутренней структуры дизъюнктива (поверхность разрыва, зона разрыва, крылья), определяются амплитуда смещения, угол падения поверхности смещения по отношению к горизонту и вмещающим породам и т. д. При мелкомасштабных исследованиях, когда изучение строения массива ведется на уровне формаций, целесообразно оценивать степень тектонической нарушенности, используя коэффициент мегатрещиноватости (Т. Ю. Пиатровская, Н. С. Красилова), представляющий собой отношение протяженности тектонических нарушений к единице площади.

Трещиноватость

Трещиноватость — один из основных факторов, влияющих на величину показателей физико-механических и фильтрационных свойств массивов горных пород.

Степенью и характером трещиноватости определяются такие характеристики скального массива, как прочность, деформируемость, плотность, проницаемость, неоднородность, анизотропность, напряженное состояние. Вследствие трещиноватости различного генезиса массивы скальных пород представляются состоящими из блоков, кусков и других более мелких образований, составляющих «элементарные» (в механическом смысле) объемы горных пород. Наблюдения за деформируемостью и разрушением массивов горных пород показывают, что их прочностные и деформационные характеристики во многом зависят от формы, размеров, взаимного расположения и типов контактов между элементарными объемами, или, другими словами, от механической модели массива.

Согласно Л. Мюллеру (1971), под трещинами понимаются все поверхности отдельности в скальных породах, вдоль которых нарушена связность материала, независимо от того, открыты они или закрыты, распространяются на десятки метров или на несколько сантиметров. Именно трещины обуславливают дисконтинуальность среды и связанные с ней свойства массива скальных пород.

При инженерно-геологическом описании трещин необходимо учитывать: генетический тип трещин; возраст и последовательность образования; ориентировку трещин в пространстве; протяженность; ширину; характер поверхности трещин; заполнитель; интенсивность (степень трещиноватости); форму и размер структурного блока; тип симметрии трещинных решеток и трещиноватости.

По генезису выделяют следующие типы трещин: I — литогенетические и петрогенетические — напластования и остывания первичной отдельности; II — тектонические — разломы, разрывы, трещины скола и отрыва, скольжения, сланцеватости, кливажа; III — экзогенные — выветривания, разгрузки (бортового отпора), гравитационные (на склонах с неустойчивым профилем равновесия); IV — техногенные, образованные в результате инженерной деятельности человека.

Генезис во многом определяет все параметры трещин: длину,

ширину, протяженность, трещинный заполнитель, степень трещиноватости скального массива, форму и размер элементарного блока.

Помимо выделения указанных генетических типов трещин при инженерно-геологическом изучении трещиноватости принято различать: 1) первичную трещиноватость скальных массивов, под которой, согласно В. В. Белоусову (1954), понимают литогенетическую трещиноватость и трещиноватость, связанную с региональными тектоническими процессами, синхронными образованию пород, и 2) вторичную трещиноватость, к которой относятся трещины тектонического происхождения, выветривания, бортового отпора, гравитационные и техногенные.

Для выявления закономерностей распространения трещин в пространстве измеряют элементы залегания трещин: азимуты падения и простирания, угол наклона. Ориентировка трещин в массиве в большинстве случаев представлена в виде определенных семейств и значительно реже хаотически расположенными трещинами. Несколько семейств составляют системы трещин.

Семейства и системы трещин трудно выявить по результатам единичных замеров, но с помощью статистической обработки их можно легко установить. Если рассеяние элементов залегания трещин одной системы небольшое, то речь идет о «строгой», а если большое — об «ослабленной» системе.

Трещины различных систем образуют структуру массива, характеризующуюся формой и размером блочности. М. Матула, Р. Хольцер (Matula, Holzer, 1976, 1978) выделяют пять типов блочного строения массива (см. рис. 9). Тип 0 — глыбовый: многогранники неправильной формы, без четко выраженных систем трещин. Тип 1 — пластовый или плитчатый: пластовая отдельность, образованная одной горизонтальной четко выраженной системой и неупорядоченными субгоризонтальными системами трещин. Тип 2 — призматический: призматическая или кубическая отдельность, образованная двумя ортогональными равнозначными системами трещин. Тип 3 — кубический (3^+) и ромбический ($3^\times$): кубическая или ромбическая отдельность, образованная тремя равнозначными системами трещин (две из которых ортогональные при 3^+ или неортогональные $3^\times$). Тип 4 — столбчатый: вытянутые многогранники правильной формы (столбчатая отдельность), образованные тремя или более равнозначными системами трещин. Форма структурного блока наряду с его размерами во многом определяет свойства и состояние массивов горных пород и их устойчивость при взаимодействии с инженерным сооружением.

В последние годы большое внимание уделяется морфологии поверхности трещин и их влиянию на величину показателей физико-механических свойств горных пород и слагаемых ими массивов. Так, по данным С. Е. Могилевской, выделяются четыре порядка неровностей (или шероховатостей) поверхности трещин: мега-, мезо-, макро-, и микро-, высота выступов которых соответственно измеряется: метрами, дециметрами, сантиметрами и долями миллиметров.

Установлено, что наиболее существенное влияние на формирование морфологии поверхности трещин в однотипных по составу породах оказывает генезис трещин.

Симметрия трещиноватости — это точная геометрическая форма выражения особенностей взаимного расположения в пространстве систем трещин. По отношению к мелкой трещиноватости А. А. Варга (1980) выделяет два основных вида симметрии: конечную, присущую элементарному блоку отдельности, и бесконечную, характеризующую решетку трещин. В качестве типов симметрии трещинных решеток выделяются: триклинная, моноклинная, ромбическая, тригональная, тетрагональная, гексагональная, кубическая, осевая, сферическая. Так, при двух преобладающих системах трещин, пересекающихся под острым углом, и при равенстве средних расстояний между трещинами этих систем симметрия трещинной решетки относится к моноклинной сингонии. При трех взаимно перпендикулярных системах трещин в массиве в зависимости от средних расстояний между трещинами (a) выделяются: кубическая сингония решетки при равенстве расстояний во всех системах ($a_1 = a_2 = a_3$), тетрагональная при $a_1 = a_2 \neq a_3$ и ромбическая при $a_1 \neq a_2 \neq a_3$. Последний случай является наиболее распространенным и включает примеры размещения систем трещин в осадочных породах относительно слоистости и в магматических относительно плоскостных систем течения. Полигональная трещиноватость типа столбчатой отдельности базальтов относится к осевой симметрии. Хаотическую трещиноватость с равномерным распределением полюсов трещин на круговых диаграммах можно отнести к сферической симметрии. Основа для определения типа симметрии трещиноватости — круговые диаграммы, дополненные сведениями о расстояниях между трещинами отдельных систем.

Для количественной оценки трещиноватости наиболее часто используются модуль трещиноватости (M), коэффициент трещинной пустотности ($K_{тр}$), трещинная пустотность ($n_{тр}$), блочность пород.

Модуль трещиноватости определяется количеством трещин на 1 м обнажения, разреза породы в выработке, керна буровой скважины.

Коэффициент трещинной пустотности (Нейштадт, 1959) основан на непосредственном подсчете трещинных пустот на определенной площадке обнажения или в определенном объеме породы и определяется по формулам:

$$K_{тр} = \frac{S_n}{S_{обн}} \cdot 100\%, \text{ или } K_{тр} = \frac{V_n}{V_{обн}} \cdot 100\%.$$

М. В. Рац, С. Н. Чернышев предлагают оценивать трещинную пустотность (отношение суммарного объема трещин к единице объема массива горных пород) по формуле

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \bar{a}_i}{\bar{a}_i + \Delta \bar{a}_i},$$

где $\Delta \bar{a}_i$ — ширина трещин i -й системы; $\bar{a}_i$ — среднее расстояние между трещинами i -й системы; n — число систем трещин, совместно развитых в данном объеме массива.

Блочность пород, т. е. размер блоков, отделенных друг от друга трещинами, вычисляется по формуле

$$b = \sqrt[3]{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\left(1 + \frac{\sqrt{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}}{\bar{a}_4}\right) \left(1 + \frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\bar{a}_5}\right)}},$$

где $\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3$ — средние расстояния между трещинами трех главных систем трещин, $\bar{a}_4 \bar{a}_5$ — то же, для более редких систем трещин.

Кроме того, для количественной оценки трещиноватости эффективно применение сейсмоакустических методов: ультразвукового акустического и сейсмического каротажа скважин и сейсмического профилирования.

Важное преимущество этого метода то, что с его помощью можно получить количественную характеристику степени трещиноватости пород в закрытых условиях (на задернованных участках), а в буровых скважинах — по всему разрезу, включая интервалы раздробленных пород и зон тектонических нарушений, как правило не охарактеризованных керном.

Основа применения сейсмоакустических методов для количественной оценки трещиноватости — четкая зависимость скоростей упругих волн от пористости и трещиноватости исследуемой среды, для описания которой наиболее часто используется уравнение среднего времени (Willy, Gregory, Gardner, 1956)

$$\frac{1}{v_n} = \frac{n}{v_s} + \frac{1-n}{v_t},$$

из которого следует, что

$$K_{тр} = \frac{v_s (v_t - v_n)}{v_n (v_t - v_s)},$$

где v_n — скорость распространения упругих волн в трещиноватой породе, v_t — скорость в скелете породы, v_s — скорость в трещинном заполнителе. Исходной информацией для вычисления трещинной пустотности по приведенной формуле являются графики изменения скоростей упругих волн по линиям сейсмических профилей или по разрезу буровой скважины. Необходимо учитывать, что ценность и достоверность информации, полученной с помощью сейсмоакустических методов, увеличивается во много раз, если они дополняются детальными инженерно-геологическими исследованиями трещиноватости.

Для изучения трещиноватости также используется фототелевизионное обследование скважин. Большое значение для оценки трещиноватости имеет анализ опытно-фильтрационных работ и исследований проницаемости массива сжатым воздухом.

Наиболее полная и объективная качественная и количественная характеристика трещиноватости может быть получена только в том случае, если ее изучение ведется с учетом геолого-тектонического строения района, а также генезиса, состава и структуры пород. Опорные площадки или скважины для изучения трещиноватости выбираются таким образом, чтобы ими были охарактеризованы все литологические и петрологические типы пород района исследований.

В пределах одного типа пород опорными площадками должны быть охарактеризованы различные генетические типы трещиноватости и внутри их зоны различной степени трещиноватости и с различным характером блочности. Рекомендуются опорные площадки располагать по линиям инженерно-геологических профилей вкрест тектонических структур, а также зон трещиноватости различного генезиса. Площадки должны располагаться в пределах участков, однородных в геолого-структурном отношении. По количеству площадок нет и не может быть единых рекомендаций (Варга, 1981). Оно зависит от масштаба инженерно-геологической съемки, степени обнаженности, задач исследований и т. д. В общем, надо стремиться к тому, чтобы каждый однородный блок был охарактеризован несколькими эталонными площадками. В среднем по каждому массиву желательно иметь 10—15 опорных площадок. Их размеры и форма могут быть различными. Поскольку каждая система трещин должна быть охарактеризована 10—20 трещинами, то площадка должна охватывать 100—200 трещин. По данным (Рац, Чернышева, 1970), в каждой системе должно быть описано 20—30 трещин. В рекомендациях Комитета по полевым исследованиям предлагается замерять около 150 трещин.

На опорных площадках определяются: генетические типы трещин, их пространственная ориентировка, ширина и протяженность трещин, состав трещинного заполнителя, характер стенок, расстояние между трещинами одной системы, форма и размер элементарного блока. Особое внимание обращается на тектонические трещины с зеркалами скольжения. На основании выполненных замеров определяют модуль трещиноватости, коэффициент трещинной пустотности, блочность.

При изучении трещиноватости по керну буровых скважин описываются те же компоненты. Значительные трудности часто возникают при определении элементов залегания трещин, так как это требует ориентации керна. Особое внимание обращается на учет количества трещин на 1 м керна, высоту столбиков керна, количество и характер раздробленного материала, на зеркало скольжения. На перечисленных данных базируются различные классификации оценки степени трещиноватости (табл. 8).

В дополнение к указанному подходу при количественной оцен-

ке трещиноватости по керну буровых скважин возможно использование показателя качества (*RQD*), который представляет собой

Оценка трещиноватости пород по керну (по Л. В. Шаумян)

Степень трещиноватости	Модуль трещиноватости	Высота столбика керна см	Количество раздробленного материала, %
Слаботрещиноватые породы	1—5	20	—
Среднетрещиноватые	5—10	10—20	> 10
Сильнотрещиноватые	10	< 10	10—20
Очень сильнотрещиноватые	10	< 10	50
Зоны дробления	10	< 10	80

величину, характеризующую относительное содержание столбиков керна высотой более 10 см в определенном интервале бурения (табл. 9) (Deege, 1968).

Для выяснения закономерностей в распределении трещин применяются различные способы графической обработки: диаграммы трещиноватости, разрезы, карты, срезы и другие модели трещиноватости исследуемого массива.

Таблица 9

Оценка трещиноватости по показателю качества

Типы породы	<i>RQD</i> , %
Превосходные	90—100
Хорошие	75—90
Неплохие	50—75
Плохие	25—50
Очень плохие	0—25

Среди диаграмм трещиноватости наиболее часто используются: розы-диаграммы, точечные и круговые диаграммы в изолиниях. На розах-диаграммах показывается направление и число трещин в полюсной координатной системе. Точечные диаграммы представляют собой изображение поверхностей трещин в азимутальной проекции. По сравнению с розами-диаграммами они более информативны, так как дают представление не только о направлении, но и углах наклона трещин. Розы-диаграммы и точечные диаграммы применяются для обработки замеров трещиноватости для одного или нескольких обнажений. Круговые диаграммы в изолиниях применяются для выявления основных систем трещин и их количественного учета для значительных по размерам площадей. Они строятся по данным большого количества опорных точек, но обязательно расположенных в пределах одного структурного блока. На данном типе диаграмм плотность точек выражают

в процентах относительно общего числа замеров и проводят изолинии через выбранные интервалы.

Для более детального представления о положении трещин в пространстве вычерчивают блок-диаграммы трещин для массивов однородной блочности. Дальнейшие обобщения сведений о характере и степени трещиноватости горных пород отражаются в инженерно-геологических разрезах и картах трещиноватости.

На картах и разрезах (рис. 10) выделяются зоны трещиноватости различного генезиса и разной степени. Генезис трещиноватости, который чаще всего может быть литогенетический, выветривания, тектонический, криогенный, разгрузки и разуплотнения и т. д., показывается, как правило, типом штриховки, а степень трещиноватости: слабо-, средне-, очень сильнотрещиноватые и раздробленные породы — густотой штриховки, причем с увеличением интенсивности трещиноватости густота штриховки сгущается. На карту также наносятся диаграммы, позволяющие судить об ориентировке основных систем трещин. Такие диаграммы рекомендуется составлять для всех характерных зон.

Схематизация карт и разрезов трещиноватости позволяет создать модель трещиноватости массива. На модели отображаются генетические типы трещин, выделяют-ся зоны различной интенсивности трещиноватости. Кроме того, в пределах генетических типов трещиноватости и зон различной интенсивности показываются направление главных систем трещин и закономерности их распределения, даются характеристики блочности, трещинной пустотности и т. д.

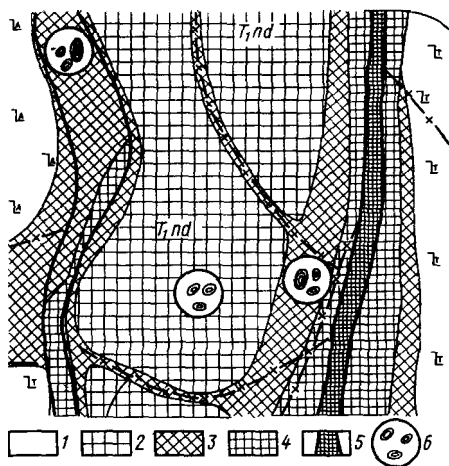


Рис. 10. Карта трещиноватости базальтового массива:

- 1 — слаботрещиноватые породы с коэффициентом трещинной пустотности $K_{тр} < 2\%$,
- 2 — среднетрещиноватые с $K_{тр} = 2-5\%$,
- 3 — повышено-трещиноватые с $K_{тр} = 5-7\%$,
- 4 — сильнотрещиноватые с $K_{тр} = 7-10\%$,
- 5 — зоны дробления $K_{тр} > 10\%$;
- 6 — основные системы трещин

Основные закономерности развития трещиноватости

Первичная трещиноватость скальных горных пород различного генезиса характеризуется близкими значениями коэффициента трещинной пустотности, не превышающими 2—3%. Модуль трещиноватости при этом меняется в более широких пределах: от 2—5 для подавляющего большинства скальных пород

до 50—100 в алевролитах, аргиллитах, сланцах и других тонко-слоистых разностях

На фоне первичной трещиноватости зоны развития вторичной трещиноватости (тектонической, выветривания, разгрузки и др.) выделяются аномально-высокими значениями трещинной пустотности.

Закономерности развития тектонической трещиноватости контролируются геолого-структурными особенностями района. Основное влияние на ее степень оказывают тектонические нарушения и в первую очередь крупные дизъюнктивы.

Степень тектонической трещиноватости пород определяется положением их по отношению к дизъюнктивам. Породы, испытавшие влияние тектонических нарушений, с некоторой долей условности можно разделить на ряд зон различной степени трещиноватости: зоны дробления (породы разрушены трещинами до состояния мелкой щебенки и дресвы, с $K_{тр} > 10\%$), зоны сильной трещиноватости с $K_{тр} \sim 5—10\%$ и зоны средней трещиноватости с $K_{тр} \sim 3—5\%$. Ширина выделенных зон — функция размера нарушения, амплитуды его смещения, а также состава пород. Мощность зон, приуроченных к одному и тому же нарушению, различна в породах разного состава и не связана прямой зависимостью с величиной прочности пород, а в большей мере определяется их хрупкостью и трещиностойкостью. Для зон сильной и повышенной трещиноватости часто характерна одна преобладающая система трещин. Мощность выделенных зон может достигать десятков и даже сотен метров.

К числу важнейших закономерностей в распределении трещин выветривания относятся: 1) развитие преимущественно в приповерхностных частях земли; 2) четко выраженная вертикальная зональность в изменении степени трещиноватости; 3) закономерное уменьшение степени трещиноватости с глубиной. Трещиноватость этого типа развивается прежде всего по ранее существующим системам трещин за счет выветривания стенок и заполнителя и существенного увеличения ширины их раскрытия. Характерные признаки трещин выветривания — также небольшая протяженность, разнообразие ориентировки, песчано-глинистый тип трещинного заполнителя.

Формирование зон разуплотнения и разгрузки происходит главным образом за счет изменения параметров в системе трещин, примерно параллельной поверхности склона или других форм рельефа. Часто эти изменения затрагивают только ширину трещин, но иногда наблюдается и их сгущение. Расширение и сгущение трещин возрастает по мере приближения к земной поверхности. Установлено, что ширина трещин нарастает по экспоненте (Чернышев, 1965), а расстояние между трещинами — по гиперболе (Прочухан, 1964). Изменений ширины и густоты трещин в системах, не параллельных поверхности земли, практически не наблюдается. Иногда процесс разгрузки приводит к образованию новой системы трещин, параллельной поверхности. Глубина, на которую распространяется

разуплотнение массива, зависит от рельефа поверхности и высоты склона. Наиболее интенсивно трещиноватость этого типа проявляется на глубине до 50 реже 100 м от поверхности.

Неоднородность и анизотропность

Характерной особенностью массивов скальных пород является неоднородность или пространственная изменчивость их строения, состояния и свойств, обусловленная особенностями генезиса, историей развития и динамикой экзогенных процессов (Л. Мюллер, У. Крамбейн, Ф. Грейбилл, М. В. Рац). Это явление значительно усложняет инженерно-геологическое изучение и описание скальных массивов и определяет две важнейшие проблемы инженерной геологии, горного дела и механики горных пород: инженерно-геологического опробования массивов и перенесения результатов исследований ограниченных объемов породы на массив основания или размещения инженерного сооружения. «Масштабный фактор», хорошо известный в теории прочности скальных массивов, может быть оценен только на основании исследования физической природы и количественного учета неоднородности.

Неоднородный геологический объект характеризуется размерами элементов неоднородности и степенью неоднородности. Элементом неоднородности обычно называют наибольший объем породы, который при данном масштабе исследований может рассматриваться «как внутренне однородный» по какому-либо одному или совокупности заданных признаков и отличающийся по этим признакам от смежных с ним объемов (Рац, 1968). Под степенью неоднородности понимается интенсивность и характер различия совокупности значений заданных признаков или одного из них в пределах исследуемой области (Рац, 1973).

В основу существующих классификаций неоднородности массивов горных пород положены размер элементов неоднородности, характер изменения определенных признаков в пространстве.

Среди классификаций, в основу которых положен размер элементов неоднородности, наибольшее практическое значение имеют классификации: 1) по абсолютному размеру элементов неоднородности и 2) по отношению размеров элемента неоднородности к размерам области воздействия.

По абсолютному размеру элементов М. В. Рац выделяет пять уровней неоднородности. Минимальными по объему являются элементы неоднородностей IV уровня, имеющие линейные размеры порядка 10^{-6} — 10^{-3} см. Линейные размеры неоднородностей низших уровней (III, II, I и 0) последовательно возрастают приблизительно на три порядка и для неоднородностей нулевого уровня достигают несколько тысяч километров. Неоднородности различных уровней имеют существенно различную природу. Согласно М. В. Рацу, основные причины неоднородностей различных уровней следующие. Неоднородности уровня IV — это неоднородность

реальных кристаллов, дефектов кристаллической решетки, дислокации, вакансий и др. Неоднородность уровня III — неоднородность состава, структуры и текстуры горной породы. Неоднородность уровня II — неоднородность состава и строения горных пород в пределах пачки, ритма, слоя, их макротрещиноватости, мелких тектонических дислокаций. Неоднородность уровня I — неоднородность массива горных пород, различных по составу, структуре и текстуре горизонтов и слоев, различная степень литификации, тектонические нарушения, зоны гидротермальной переработки, выветривания, разгрузки и т.д. Неоднородность уровня 0 обычно описывается под названием региональной изменчивости, обусловленной фациальными и формационными различиями горных пород и т. п.

В зависимости от отношения размеров элемента неоднородности $W_{\text{эл}}$ к размерам области воздействия $W_{\text{в}}$ различают:

а) ультранеоднородность, объем элементов которой на два-три порядка меньше области воздействия $W_{\text{эл}} \leq 0,01 - 0,001 W_{\text{в}}$;

б) микро- или эффективную неоднородность, с объемом элементов $W_{\text{эл}}$, определяемым соотношением: $W_{\text{эл}} < 0,1 W_{\text{в}}$;

в) макронеоднородность, объем элементов которой $W_{\text{эл}} \geq W_{\text{в}}$ (Гришин и др., Прочухан и др., Pacher).

Классификации неоднородности, основанные на изучении характера изменения какого-либо параметра в пространстве, разработаны еще очень слабо. Одним из вариантов такой классификации (Бондарик, 1971) является разделение неоднородностей по характеру изменения среднего значения того или иного признака в пространстве: со скачкообразным изменением и с плавным (непрерывным).

По степени неоднородности А. И. Савичем (1969, 1979) выделяются среды:

1) слабо неоднородные с показателем однородности $m > 1000$; 2) умеренно неоднородные с $m = 100 - 1000$; 3) сильно неоднородные с $m < 100$.

По типу изучаемых признаков можно предложить целый ряд градаций, из которых для инженерно-геологических целей наибольшее значение имеют: неоднородности свойств пород; неоднородности состава и строения; неоднородности состояния.

Неоднородности свойств в свою очередь могут быть подразделены на две группы:

а) неоднородностей неаддитивных показателей, наиболее важные из которых прочностные и деформационные характеристики, и б) неоднородностей аддитивных показателей, к которым относятся объемная масса, водопроницаемость, пористость, трещинная пустотность и др. Каждый из указанных видов неоднородностей имеет специфику своего изучения и описания.

В каждый исследуемый массив могут входить элементы неоднородности, существенно отличающиеся по своим размерам. Для разграничения однотипных по виду, но существенно различающихся по размерам элементов неоднородности используется понятие

«порядок». При этом предполагается, что по своей величине элементы неоднородности образуют дискретный ряд, каждый из членов которого имеет определенный порядковый номер. Первые номера присваиваются наиболее крупным элементам. Таким образом элементы первого порядка состоят из совокупности элементов второго порядка и т. д. Совокупность элементов микroneоднородности различных порядков образует инженерно-геологическую структуру массива, для изучения и описания которой выполняется широкий комплекс инженерно-геологических и геофизических исследований.

В сложившейся инженерно-геологической практике степень неоднородности массивов принято количественно оценивать величиной коэффициента вариации W , который равен отношению среднего квадратичного отклонения какого-либо показателя a к его среднему значению $\bar{a}$:

$$W = \frac{\sqrt{\frac{\sum (a_i - \bar{a})^2}{n}}}{\bar{a}} 100\%.$$

Поскольку W характеризует отклонение относительно некоторой средней величины $\bar{a}$, то предполагается, что $\bar{a} = \text{const}$. Для горных пород это условие выполнимо только в отношении аддитивных характеристик. Для большинства же важнейших параметров горных пород, таких, как прочностные, упругие, деформационные, которые являются неаддитивными, указанный принцип не применим. Для них $\bar{a}$, а следовательно и W определяются не только однородностью исследуемой среды, но и масштабом единичных измерений. Как правило, при этом величина a с увеличением объема измерений уменьшается. Степень этого уменьшения зависит от характера неоднородности исследуемой среды. Величина a уменьшается при увеличении объема исследований тем быстрее, чем неоднороднее среда. Указанное явление называется масштабным эффектом.

Зависимость коэффициента вариации от масштаба измерений приводит к тому, что его величина для неаддитивных характеристик перестает быть достаточно полной и объективной характеристикой неоднородной среды. В этом случае более надежной характеристикой неоднородности является график изменения исследуемого параметра в зависимости от масштаба измерений.

Построение таких графиков для прочностных и деформационных характеристик ограничено объемами первых кубических метров (объемом пород при натурных крупномасштабных опытах).

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено (Савич и др., 1969; Савич, Ященко, 1979), что в качестве такой характеристики для оценки неоднородности массивов может быть использован геофизический параметр — скорость распространения упругих волн, являющийся надежной характеристикой широкого класса признаков массивов горных пород, в том числе

их строения, состояния и свойств. Применение различных модификаций сейсмоакустики и использование упругих волн различного диапазона частот позволяет производить массовые измерения скоростей с заданной степенью детальности в различных частях массива и определять эти характеристики в любом из требуемых масштабов измерений в диапазоне от 10^{-3} до 10^{10} м³. Получение подобной информации другими геофизическими методами пока сопряжено с большими техническими трудностями. В данном способе оценки неоднородности используется свойство неаддитивности скоростей упругих волн v , которое заключается в уменьшении

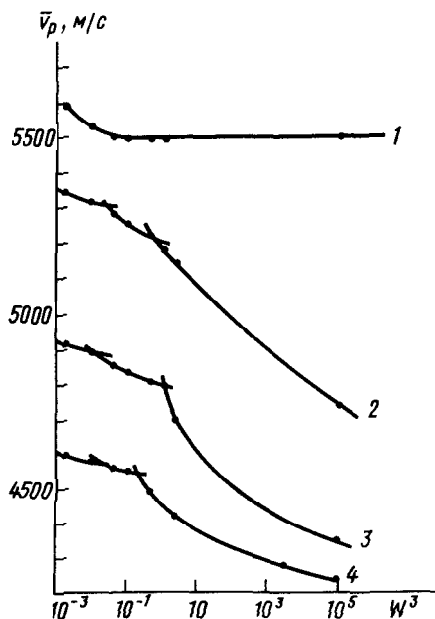


Рис 11 Масштабные кривые скорости продольных волн для оценки степени неоднородности массивов порфировых базальтов с разной степенью трещиноватостью

Количественная оценка неоднородности по данным графикам выполняется на основании определения коэффициента однородности m (Савич, 1968)

$$m = \frac{\lg \left[\frac{W_0 v_{\text{mod}} (\min)}{W_i v_{\text{mod}} (\min)} \frac{(v_{\text{mod}} (\max) - v_{\text{mod}} (\min))}{(v_{\text{mod}} (\max) - v_{\text{mod}} (\min))} \right]}{\lg \left(\frac{v_{\text{mod}}}{v_{\text{mod}} (\min)} \right)}$$

значений скорости с увеличением объема единичных измерений. Степень этого уменьшения зависит от характера неоднородности исследуемой среды. Величина v_{pi} уменьшается при увеличении объема единичных измерений тем быстрее, чем неоднороднее среда. Для описания неоднородности используются графики зависимости типа (Савич, Яценко, 1979)

$$\bar{v} = f(w_i) \quad \text{и} \quad v_{\text{mod}} = f(w_i),$$

где $w_i = 0,2 l_i \lambda^2$, w_i — объем единичных измерений, l_i — база измерений, λ — длина волны. Графики, построенные в системе координат $\bar{v}$, v_i и $w = (0,2 l_i \lambda^2)$, представляют собой кусочногладкие кривые, наклон которых к оси W определяет степень неоднородности исследуемого массива (рис 11). Точки перегиба на этих графиках соответствуют элементам неоднородности различных порядков.

где W_0 — наибольший объем единичных измерений; W_i — объем единичных измерений в заданной точке; $v_{\text{mod (max)}}$ — максимальное значение скорости на данном графике, соответствующее наименьшему объему единичных измерений; $v_{\text{mod (min)}}$ — минимальное значение скорости на данном графике, соответствующее наибольшему объему единичных измерений.

Для получения информативных графиков необходимо проведение комплекса сейсмических, акустических и ультразвуковых наблюдений, в результате которых определяются скорости упругих волн в диапазоне частот от 30—50 гц до 50—100 кгц на базах измерений от 0,1 до 300—500 м.

В качестве примера количественной оценки неоднородности приведем результаты изучения массивов триасовых базальтов на северо-западе Сибирской платформы. На рис. 11 приведены масштабные кривые для массивов, сложенных одновозрастными триасовыми базальтами одинакового состава, структуры и текстуры, но расположенных в различных структурных зонах, т. е. существенно отличающихся характером и степенью трещиноватости. Самыми однородными здесь являются массивы с первичной трещиноватостью (1). Для них характерен и самый высокий уровень значений измеренных скоростей. Уменьшение средних значений скоростей продольных волн при увеличении объема исследуемых пород от 10^{-3} до 10^5 м^3 не превышает 2—3%, показатель однородности $m > 1000$, коэффициент структурного ослабления 0,8—1. Сравнительно однородными являются также массивы сильно- и равномерно трещиноватых пород, но при самом низком уровне абсолютных значений скоростей ($m = 800$). И наконец, наибольшую неоднородность ($m = 300$) и наибольшее изменение скоростей (до 12—15% при увеличении объема опробованных пород от 10^{-3} до 10^5 м^3) обнаруживают массивы со средней (n до 5%) и повышенной ($n > 5\%$) трещиноватостью. Коэффициент структурного ослабления для этих массивов составляет 0,15—0,25.

Анализ полученных данных по количественному учету неоднородности петрологически однородных массивов показал, что ведущая роль принадлежит характеру и интенсивности проявления трещиноватости. Трещиноватость и связанная с ней неоднородность массивов горных пород приводят к проявлению «масштабных явлений» при определении таких свойств, как прочность, упругость и деформируемость. «Масштабный эффект» при этом проявляется в уменьшении средних или модальных значений перечисленных параметров с увеличением объема исследований. Для однородных массивов эти изменения незначительны, и прочностные и деформационные свойства пород в образце мало отличаются от показателей, полученных при крупномасштабных опытах. Для неоднородных массивов эти различия становятся значительными. Именно неоднородностью среды объясняются большие диапазоны изменения коэффициента структурного ослабления, широко применяемого в горном деле.

Анизотропность наряду с неоднородностью — одна из основных

характеристик массивов горных пород, обусловленная особенностями их строения, состава и состояния горных пород. Необходимость учета анизотропии при инженерно-геологической оценке массивов горных пород проявляется при назначении расчетных характеристик массива, таких, как прочностные, деформационные, фильтрационная проницаемость и др.; при построении инженерно-геологической модели или расчетной схемы основания или размещения сооружения. Без количественных данных об анизотропии пород невозможно правильно представить и оценить работу массива во взаимодействии с инженерным сооружением.

Анизотропной называется среда, физические свойства которой зависят от направления. Понятие анизотропии имеет смысл только по отношению к векторным характеристикам. Скальный массив может быть анизотропным по таким показателям физико-механических свойств, как прочностные, упругие, деформационные, фильтрационные, электрические и др. В то же время понятие анизотропии не применимо к таким показателям, как объемная масса, коэффициент пористости и другие, которые не зависят от направления и по своему характеру являются скалярными.

Согласно Б. Куонджичу (1960), анизотропия массивов скальных горных пород может быть первичной и вторичной. Первичная анизотропия связана: с упорядоченной ориентацией кристаллов при образовании магматических пород; со слоистостью в осадочных горных породах и сланцеватостью в метаморфических породах. Причины вторичной анизотропии: 1) трещиноватость различного генезиса и различных порядков, которая является преобладающей причиной образования анизотропии скального массива; 2) напряженное состояние, вызывающее неодинаковое изменение свойств по различным направлениям; 3) зоны разуплотнения и разгрузки на склонах. Анизотропия массива может вызываться суммарным действием части или всех указанных факторов, что приводит к чрезвычайно сложной картине.

Важная особенность анизотропии — ее зависимость от масштаба исследований, в силу чего анизотропия образца может резко отличаться от анизотропии массива по ориентировке в пространстве и по степени проявления.

По абсолютному размеру элементов анизотропии выделяются четыре условных уровня анизотропности (Рац, 1968). Анизотропия уровня IV — анизотропии свойств кристаллической решетки, уровня III — обусловлена текстурными особенностями горных пород и их микротрещиноватостью, уровня II — макрослоистостью и макротрещиноватостью массива, уровня I — упорядоченным расположением региональных неоднородностей — серией складок, крупных блоков, крупных дизъюнктивов.

По отношению размеров элемента анизотропии к области воздействия различают (Рац, 1968): ультраанизотропию, когда $a < 0,01 l$, где a — размер элемента анизотропии, l — размер области воздействия; микроанизотропию, когда $a \approx (0,01—0,1) l$; макроанизотропию, когда $a \leq l$.

Для всесторонней оценки анизотропии массива требуется

характеристика степени различия свойств пород по различным направлениям; выявление уровня анизотропии и определение связи с проектируемым инженерным сооружением.

Для описания анизотропии среды в инженерной геологии широко используются векторные диаграммы или индикатрисы исследуемого параметра в заданном масштабе измерений и характеризующие их коэффициенты анизотропии.

Индикатрисы представляют собой круговые или полярные диаграммы в одной или нескольких плоскостях, показывающие изменения указанного параметра на плоскости или в пространстве (рис. 12, 13).

Коэффициент анизотропии служит количественной мерой анизотропии в данной точке и равен отношению максимальных и минимальных величин исследуемого параметра, полученных при измерениях в различных направлениях.

Для исследования и оценки анизотропии скального массива на разных уровнях проводят ориентированные определения физических и механических характеристик горных пород как на образцах, так и непосредственно в массиве. Изучение анизотропии обычно начинают с выявления ее природы, т. е. исследования текстурных особенностей горных пород и слагаемых ими массивов. При изучении горных пород в образцах, шлифах и аншлифах выявляются и количественно описываются элементы текстурной анизотропии горных пород: микрослоистость, микросланцеватость, микрокрешиноватость, их ориентировка в пространстве, минеральный состав элементов анизотропии, их размер и т. д.

При исследованиях массивов горных пород выявляют и количественно описывают элементы анизотропии скального массива, которые могут быть обусловлены переслаиванием пород различного

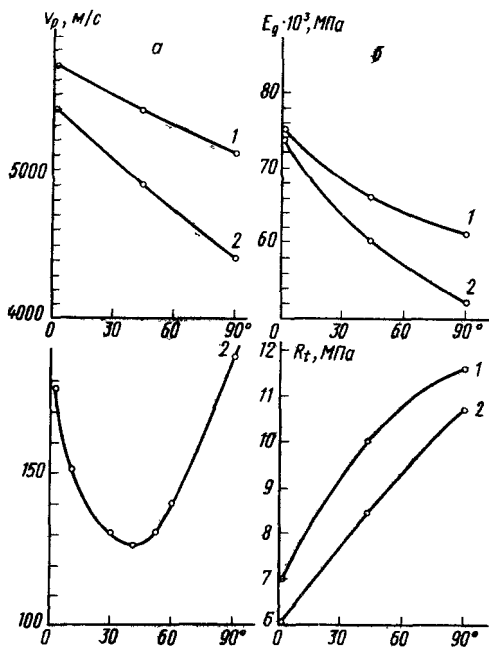


Рис. 12. Влияние ориентировки гнейсовидности на величину показателей физико-механических свойств гнейсов:

а — скорости продольных волн; б — модуль упругости; в — прочность на сжатие; г — прочность на разрыв; 1 — гранат-биотитовые гнейсы; 2 — биотитовые гнейсы

го состава, сланцеватостью, ориентированной трещиноватостью, зонами разгрузки и т. д. Определяются ориентировка в пространстве элементов анизотропии, их состав и размер. Характерно, что природа анизотропии, ее интенсивность, ориентировка в пространстве часто существенно отличны на уровне образца и массива, соизмеримого с размерами инженерного сооружения.

Анизотропия физико-механических свойств скальных грунтов, как правило, исследуется на образцах горных пород и в единичных случаях при крупномасштабных натурных опытах. На образцах проводятся ориентированные под разными углами по отношению к элементам анизотропии опыты по определению прочностных и деформационных характеристик горных пород. Наиболее полная картина может быть получена, если указанные характеристики измеряются в направлении, параллельном ориентировке элементов анизотропии и под углами 30, 60, 90 (см. рис. 12). Аналогичные ориентированные определения выполняются и при натурных крупномасштабных опытах.

Для изучения и количественной оценки анизотропии скального массива в практике инженерно-геологических исследований широко применяются сейсмоакустические методы, включающие ультразвуковые исследования (каротаж, просвечивание, профилирование) с базой измерения 0,1—0,2 м для оценки анизотропии на уровне образца, акустические (каротаж, просвечивание, профилирование) с базой измерения 0,5—2,0 м для оценки элементов анизотропии на уровне крупномасштабных опытов; сейсмические (каротаж, просвечивание и профилирование) с базой измерения 2—10 м для оценки анизотропии на уровне массива, соизмеримого с размерами инженерного сооружения. При этом линии геофизических наблюдений (профилирования, просвечивания между скважинами), ориентировка скважин в исследуемом массиве при каротаже и другие должны располагаться под разными углами (от 0 до 90°) по отношению к элементам анизотропии. Обязательным направлением является направление, совпадающее с простиранием элементов анизотропии и вкрест ему. Наиболее полная оценка анизотропии может быть получена при круговом расположении линий геофизических профилей с шагом не более 30°. Например, были исследованы два типа анизотропии скального массива вблизи г. Норильска, обусловленные слоистостью и трещиноватостью. Первый тип анизотропии был изучен на массивах, сложенных толщей переслаивания песчаников, алевролитов, аргиллитов пермского возраста. Как показали исследования, скорости распространения упругих волн вдоль и вкрест слоистости существенно различаются для всех основных разновидностей пород и для толщи переслаивания в целом. Максимальные значения скоростей продольных волн получены в направлении напластования пород. Коэффициент анизотропии составляет 1,25—1,50. На рис. 13,а приведена круговая диаграмма скорости упругих волн для толщи переслаивания песчаников, алевролитов, аргиллитов. Длинная ось круговой диаграммы совпадает с напластованием пород.

Второй тип анизотропии обусловлен одной преобладающей системой тектонических трещин в массиве. Обычно этот вид анизотропии отчетливо наблюдается в зонах влияния крупных тектонических нарушений, где резко преобладают трещины, оперяющие разрыв. В качестве примера можно привести результаты, полученные в первично-изотропных базальтах на участке, расположенном вблизи от плоскости сброса. Здесь отмечается резкая анизотропия скоростей v_p (рис. 13, г). Максимальный коэффициент анизотропии равен 1,42. Характерно, что ориентировка большой оси на круговой диаграмме скоростей практически совпадает с направлением тектонического нарушения, что объясняется преобладанием в массиве системы трещин, параллельной плоскости сброса, и приуроченностью максимальных значений скоростей к направлению простираения преобладающей системы трещин.

В первично-анизотропных слоистых массивах увеличение ориентированной трещиноватости вблизи тектонических нарушений

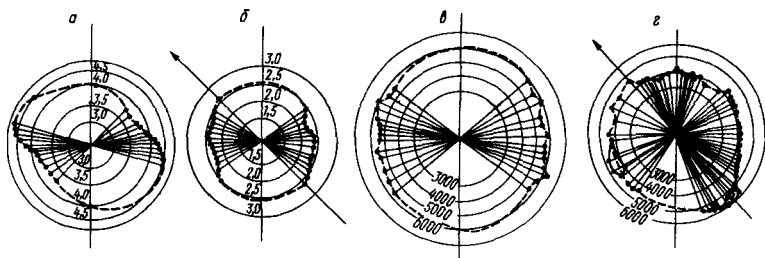


Рис 13 Оценка анизотропии скального массива сейсмоакустическими методами:

а — переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов вне зон тектонических нарушений; *б* — то же, в зоне сброса; *в* — базальты все зоны тектонических нарушений; *г* — то же, в зоне сброса. Стрелкой показано направление тектонических нарушений

(не совпадающих с направлением слоистости) приводит к уменьшению степени первичной анизотропии массива, т. е. анизотропия упругих свойств, связанная со слоистостью, часто нивелируется тектонической трещиноватостью. Так, при изучении горизонтальнослоистого массива, аналогичного представленному на рис. 13, но расположенного в зоне влияния тектонического нарушения, ориентированного под углом 45° , были получены данные, свидетельствующие об отсутствии анизотропии, обусловленной слоистостью. Небольшое увеличение скоростей отмечено здесь в направлении тектонического нарушения. Характерно, что общий уровень абсолютных значений скоростей при этом значительно ниже, чем в массиве с первичной трещиноватостью.

Обводненность

Вопрос об обводненности и фильтрационных свойствах трещиноватого скального массива является очень сложным и до настоящего времени недостаточно разработанным. Гидро-

статическое давление подземных вод в обводненном скальном массиве приводит к снижению прочности массивов, так как при этом происходит перераспределение напряжений, которое реализуется в снижении прочности (Мюллер, 1971; Джегер, 1978)

По мнению ряда ученых, массив горных пород можно рассматривать как двухфазную систему (сухую или полностью водонасыщенную), что не всегда справедливо. Особенностью обводненного скального массива является то, что большая часть его открытых трещин и микротрещин заполнена водой, а какая-то часть — газом (Ромм, 1966). С этих позиций обводненный скальный массив — трехфазная система, включающая породу, воду и газ. Соотношение воды и газа в открытых пустотах массива может быть различным и по-разному сказывается на величине показателей физико-механических свойств. Однако в лабораторных испытаниях степень обводненности пород, как правило, не учитывается, и испытанию подвергаются либо сухие, либо полностью водонасыщенные образцы. Между тем для решения таких вопросов, как оценка прочности, упругости, деформируемости, разрушения, напряженного состояния массивов, необходимы знание и количественный учет степени обводненности.

При исследовании влияния степени обводненности на величину показателей физико-механических свойств нами анализировалось изменение прочностных и упругих характеристик по мере заполнения открытых пустот (пор и микротрещин) водой. Методически опыт заключался в следующем. Образцы различных пород (габбро-диабазов с величиной открытой пористости $n=1-2\%$; базальтов с $n=2,5\%$; песчаников с $n=10\%$; доломитов и известняков с $n=13\%$) помещались в сосуд с водой. По мере насыщения открытых пор водой через определенные промежутки времени определялись упругие и прочностные характеристики горных пород вплоть до полного водонасыщения. Как показали исследования влияние обводненности на величину прочности и скорости продольных волн начинает существенно сказываться при заполнении открытых пустот водой на 60—80% и достигает максимума при полном водонасыщении (рис. 14). При этом прочности на сжатие уменьшаются у песчаников на 70%, известняков — на 50, габбро-диабазов и базальтов — примерно на 20%. Скорости распространения упругих волн по мере водонасыщения несколько увеличиваются. Наиболее значительно меняются скорости у песчаников, на 10—11% при полном водонасыщении, на 5% при заполнении 30% открытых пустот водой, на 6—7% при заполнении 70% открытых пустот водой. В габбро-диабазе, базальтах и высокоскоростных карбонатных породах наблюдается примерно одинаковое увеличение скорости: на 2—4% при полном водонасыщении и на 1—3% при заполнении 60—70% открытых пустот водой. Полученные данные свидетельствуют о том, что заметное снижение прочности массивов наступает не при полном водонасыщении породы, а уже при насыщении водой 60—70% объема открытых пустот, что необходимо учитывать при прогнозной оценке прочности скальных массивов.

То обстоятельство, что снижение прочности скальных пород происходит пропорционально увеличению скоростей продольных волн (см. рис. 15), открывает новые пути к количественной оценке влияния степени обводненности на прочность с применением сейсмоакустических испытаний на основе корреляционного анализа.

Подземные воды в скальном массиве распространены неравномерно. Наиболее часто встречающимися типами подземных вод являются: поровый, трещинный и смешанный — трещинно-

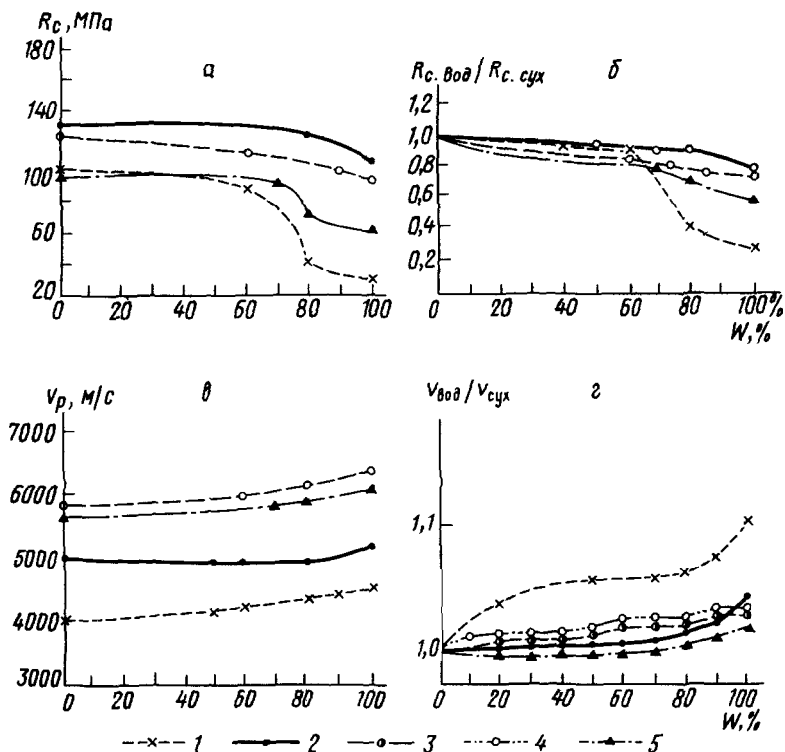


Рис. 14. Влияние степени обводненности горных пород на прочностные и упругие характеристики:

а, б — изменение прочности; в, г — изменение скорости продольных волн.
1 — песчаники; 2 — базальты; 3 — габбро-долериты; 4 — доломиты; 5 — известняки

поровый или порово-трещинный (Мюллер, 1971; Джегер, 1975; Ромм, 1976; Волков, Ромм, 1976). В особый тип можно выделить карстовые воды. Механизм воздействия указанных типов подземных вод на скальный массив существенно различен, однако все они приводят к усложнению условий производства инженерных работ и снижению прочностных и деформационных характеристик массива.

Влияние поровой воды сказывается прежде всего через величину порового давления, которая может достигать высоких значений. Особая роль принадлежит поровой воде в трещинном заполнителе глинистого состава. Вода размягчает породу, повышает ее пластичность, способствует ее набуханию. Часто давление набухания преобразуется в поровое, которое приводит к спонтанному снижению величины сопротивления сдвигу.

Трещинная вода циркулирует по трещинам при наличии разности давлений, что приводит к снижению трения вдоль стенок трещин под влиянием гидростатического давления. В этом случае оно подобно наложенному напряжению растяжения в горном массиве, снижает имеющиеся напряжения сжатия.

Подземные воды в массиве горных пород, их тип, степень обводненности массива, величина гидростатического давления, водопроницаемость и другие параметры существенно снижают прочностные и деформационные характеристики.

Выветрелость и вторичная измененность

Изучение выветрелости и вторичной измененности горных пород — один из основных вопросов инженерно-геологической оценки скальных массивов, поскольку именно с этими процессами связано разрушение горных пород, резкое уменьшение их прочностных и деформационных характеристик, увеличение размываемости и резкое изменение водопроницаемости.

В инженерной геологии под выветриванием понимают совокупность физико-химических, биохимических и физических процессов, изменяющих состав, состояние и свойства горных пород верхней части земной коры под влиянием факторов атмосферы, гидросферы и биосферы, а также хозяйственной деятельности человека (Приклонский, 1955).

Процесс выветривания очень сложен и включает многочисленные процессы и явления: механические, физико-химические, химические, биогеохимические.

Физические (механические) явления приводят к дезинтеграции массивов горных пород, что выражается в раздроблении и разрушении пород без изменения минерального состава. Это влечет за собой уменьшение прочности, устойчивости в откосах и увеличение водопроницаемости пород.

В результате механической дезинтеграции в массивных кристаллических породах появляются скрытые напряжения, возникающие при разрушении пород, и возникают отдельные участки, ограниченные трещинами и обладающие определенной формой, как например, концентрически-скорлуповатые отдельности, образующиеся при выветривании некоторых эффузивных пород. Характер и интенсивность разрушения скальных пород зависят от ее состава, структуры и текстуры. Быстрее разрушаются полиминеральные породы, особенно разнотекстурные и крупнотекстурные. Мелкотекстурные породы разрушаются менее интенсивно

Дезинтеграция плотных горных пород приводит к образованию обширных развалов, курумов, коллювиальных скоплений. Механическая дезинтеграция скальных пород, образование в них систем трещин обуславливает их хорошую водопроницаемость, а также резко увеличивают реакционную поверхность выветривающихся пород. Это создает условия для активизации разнообразных физико-механических, химических и биогеохимических реакций, осуществление которых возможно лишь при наличии свободной жидкой воды.

Разные минералы обладают неодинаковой устойчивостью при выветривании. Степень устойчивости основных породообразующих минералов наиболее распространенных магматических пород обратна последовательности их кристаллизации из магматического расплава и в значительной степени обусловлена их кристаллохимической структурой. Раздробление и дезинтеграция первичных минералов, по-видимому, обязаны развитию глинистых минералов. Так, полевые шпаты теряют свою кристаллическую прозрачность, превращаясь в молочно-белые, непрозрачные ломкие. Биотиты теряют свой блеск, становятся непрозрачными зеленоватыми или золотистыми, мусковиты остаются без изменения. Кварц лишь распадается на отдельные зерна в результате деления мелких агрегатов, которые он образует в свежей породе. Под микроскопом полевые шпаты кажутся пигментированными в результате развития очень тонких чешуек серицита. Плаггиоклазы подвергаются изменениям значительно легче, чем калиевый полевой шпат. В основных разностях плаггиоклазов проявляется особая форма вторичной измененности — сосюритизация. Биотит обычно превращается в хлорит или в вермикулит. Роговая обманка переходит в разности зеленых вторичных волокнистых амфиболитов (Раген, 1979). Установлено, что легче других разрушаются силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами (оливин). Более устойчивы минералы, имеющие цепочечную структуру (амфиболы и пироксены).

Гипергенное преобразование полевых шпатов зависит от их состава: кальциевые плаггиоклазы выветриваются легко, натриевые и калиевые полевые шпаты — с трудом. Наиболее устойчив кварц. Как видно из приведенных данных, состав продуктов выветривания зависит от минерального состава исходных горных пород.

Под влиянием выветривания происходят коренные изменения пород. Но его нельзя рассматривать только как процесс разрушения и разложения горных пород с потерей прочности. Это одновременно и созидательный процесс, сопровождающийся формированием новых пород. Большая часть глинистых минералов, многочисленные сульфаты, карбонаты, минералы окислов железа, алюминия и многие другие имеют гипергенное происхождение.

Степень выветрелости с глубиной уменьшается. Наблюдается вертикальная зональность коры выветривания. Это имеет большое практическое значение при оценке инженерно-геологических условий строительства различных сооружений на скальных горных

породах или в их среде. Схемы расчленения коры выветривания на зоны предлагались рядом авторов: Г. С. Золотаревым (1948, 1949, 1962, 1963, 1970, 1971) (табл. 10), Н. В. Коломенским (1952), З. А. Макеевым (1957), И. И. Гинзбургом (1963).

Таблица 10

**Принципиальная схема расчленения коры выветривания
(по Г. С. Золотареву, 1970)**

Название зон выветривания	Характерные особенности
Дисперсная	
Полного химического преобразования исходных пород	Глины, суглинки и супеси выщелоченные и ожелезненные, карбонитизированные и т. п., в основании с редкой щебенкой. Возможно разделение на 2—3 горизонта
Обломочная	
Преобладание физической дезинтеграции и частичное химическое разложение пород	По степени раздробления и химического разложения, количеству минеральных новообразований и физико-механическим свойствам подразделяются на 4 горизонта (сверху вниз А, Б, В, и Г)
Трещинная	
Раздробление массива и начало разложения пород по крупным трещинам и тектоническим зонам	Появление на значительных глубинах, возможно образование зон выветривания малой толщины вдоль основной трещины

Процессы гипергенного преобразования горных пород наиболее интенсивно развиты в тропических ландшафтах с большим количеством атмосферных осадков. Здесь наблюдается глубокое преобразование силикатов, сопровождающееся выносом щелочных и щелочноземельных химических элементов, кремния, железа, и возникновение каолина, галлуозита, гидрослюд. Мощность коры выветривания измеряется десятками метров.

Интенсивность выветривания уменьшается в гумидных ландшафтах умеренного и холодного климата. Происходит не столь интенсивное преобразование силикатов, как в гумидных тропиках. Здесь также возникают глинистые минералы, но среди них преобладают гидрослюды.

Каждый тип горных пород характеризуется своими особенностями состава и строения коры выветривания. При выветривании молодых геологических образований, как например вулканических лав, горизонты коры выветривания плохо выражены по причине недостаточного для их формирования времени. В этом случае

образуется неоднородная выветрелая масса, содержащая участки слабо измененных или неизмененных пород.

Для засушливых районов субтропической и тропической территорий характерны своеобразные гидроморфные коры выветривания, служащие как бы бронью для нижележащих пород, предохраняя их от денудации.

Под влиянием различных экзогенных процессов происходят изменения состава, свойств скальных пород, в том числе их общее разуплотнение. При создании открытых или подземных выемок при эрозионном расчленении массивов скальных пород в первую очередь происходит разуплотнение пород, вызванное разгрузкой естественных напряжений. Процессы выветривания обычно накладываются на частично разуплотненные породы, что приводит к значительной величине общего разуплотнения пород.

Для общей количественной характеристики выветрелости горных пород обычно используется показатель степени выветрелости.

Г. С. Золотарев (1969) предлагает оценивать степень выветрелости пород по показателю $B_c = \frac{F_n - F_o}{F_n - F_a}$,

где F — показатель какого-либо свойства пород разной степени выветривания; a — максимально выветрелой породы; o — оцениваемой породы; n — неветрелой породы.

Выбор показателя для характеристики выветрелости пород зависит от ее петрографического типа, трещиноватости и возможности выполнить те или иные определения.

В. Б. Швец предлагает характеризовать выветривание пород, дающих крупнообломочный элювий, коэффициентом выветрелости, который определяется по формуле:

$$K_b = \frac{K_t - K_o}{K_t},$$

где K_t — максимально возможная степень раздробленности обломков при их истирании в течение 1 мин вращения изучаемой породы в барабане; K_o — природная степень раздробленности обломков изучаемой породы.

Породы относятся к сильновыветрелым, если $0,75 > K_b < 1,0$, к слабовыветрелым при $0,5 < K_b < 0,75$ и к прочным, если $K_b < 0,5$. Л. А. Ярг предложена иная формула показателя интенсивности выветривания. Он определяется как отношение приращения величины какого-либо показателя к приращению мощности выветрелых пород:

$$K_b = \frac{\bar{R}_n - \bar{R}_{n-1}}{\frac{h_n}{2} + \frac{h_{n-1}}{2}} = \frac{2\Delta R}{\Delta h},$$

где R_i — среднее значение какого-либо (n -го) показателя свойств пород для соответствующей зоны выветривания, h — мощность зоны. Показатель K_b изменяется от 0 до $> \infty$.

А. Баррос предложил определять индекс выветриваемости K по формуле: $K = (1 - gj) K_{\min}$, где $K_{\min}$ — фактор, учитывающий влияние минералогического состава путем оценки потери веса (ΔP) выветриваемого образца; gj — фактор, учитывающий структурные свойства образца, его пористость и проницаемость, оценивался по количеству выщелачиваемых элементов.

В лабораторных условиях значения K составили при сухом и влажном режиме выветривания соответственно: граниты 2, 9 и 7; нефелиновые сиениты 9 и 171; лампрофиры 50 и 376. В работе приводятся так же данные по «выветриваемости» метаморфических и осадочных горных пород.

Для оценки скорости процессов выветривания Г. С. Золотарев (1958) считает целесообразным использовать обобщающий показатель, например мощность гор. А, в обломочной зоне П, сформированного за год.

Не исключено использование и других показателей, например прочности горных пород. В формуле С. В. Кагермазовой (1966) «годовое изменение прочности пород на поверхности откоса» описывается уравнением: $g = ae^{-bt} + d$, где g — прочность пород на поверхности откоса через время t ; t — время обнажения откоса, месяцы; a , b , d — эмпирические коэффициенты. При $t = 0$ $g = a + d$ — начальная прочность пород; при $t \rightarrow \infty$ $g \rightarrow d$ — порода имеет прочность, при которой начинается осыпание и разрушение откоса с углом α , т. е. $d = A_\alpha$ — критическая прочность. Коэффициент B определяется решением двух уравнений:

$$g_1 = ae^{-bt} + d \quad \text{и} \quad g_2 = ae^{-bt} + d.$$

Е. М. Сергеев и Ю. Д. Матвеев разделяют процесс выветривания на стадии: 1) интенсивного выветривания — период, за который формируется более 50% коры выветривания; 2) замедленного, когда мощность коры выветривания увеличивается до 80%, и 3) затухающего, когда формируется максимальная мощность коры выветривания в данных природных условиях.

Под влиянием различных экзогенных процессов происходят изменения состава, свойств скальных пород, в том числе их общее разуплотнение. При создании открытых или подземных выемок, при эрозионном расчленении массивов скальных пород в первую очередь происходит разуплотнение пород, вызванное разгрузкой естественных напряжений. Процессы выветривания обычно накладываются на частично разуплотненные породы, что приводит к значительной величине общего разуплотнения пород.

Напряженное состояние

Напряжение, существующие в массиве горных пород, в значительной степени влияют на его свойства. Вследствие этого одной из важнейших задач инженерной геологии скальных массивов

являются определение реального напряженного состояния пород в области ведения разработки полезного ископаемого, строительства подземных и гидротехнических сооружений и учет этого напряженного состояния при оценке устойчивости горных выработок и конструктивных элементов сооружений, возводимых в массивах (Турчанинов и др., 1978). Учитывать реальное напряженное состояние массивов особенно необходимо при современных масштабах и глубинах разработки полезных ископаемых и подземного строительства, чтобы не допустить серьезных просчетов при их проектировании, строительстве и эксплуатации.

Изучению распределения напряжений в земной коре в последнее время уделяют внимание не только инженеры-геологи, горняки и гидростроители, но и специалисты в области теоретической тектоники.

Еще до недавнего времени, согласно геостатической гипотезе Гейма, принималось, что в массивах горных пород происходит равномерное возрастание напряжений с глубиной, и величины естественных напряжений оценивались по формулам Динника:

$$\sigma_z = \gamma' H; \quad \sigma_x = \sigma_y = \gamma' H \lambda.$$

где $\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$, γ' — плотность, H — глубина, μ — коэффициент

Пуассона.

В недрах горного массива на глубине более 200 м, согласно представлениям Гейма, Талобра, Авершина, породы находятся в условиях гидростатического сжатия.

В последние десятилетия накоплен большой экспериментальный материал, свидетельствующий о сложном характере распределения напряжений в земной коре и об аномально-высоких горизонтальных и вертикальных напряжениях. Анализ этих данных показал, что в массивах горных пород наряду с геостатическим действует геотектоническое поле сил (Гзовский, 1973), связанное как с особенностями позднекайнозойских деформаций соответствующего участка земной коры, так и с глобальным полем напряжений (Кропоткин, 1973). Формы, условия и закономерности проявления геотектонических полей весьма разнообразны и недостаточно изучены.

Имеющиеся в литературе фактический материал убедительно свидетельствует о неоднородности поля естественных напряжений, проявляющейся в пределах крупных тектонических регионов и локальных геологических структур, и выражается в большой изменчивости величины и направления главных напряжений. Обобщение фактических данных (Кропоткин, 1973) позволяет установить, что величины естественных напряжений зависят от принадлежности исследуемых массивов к крупным тектоническим регионам. Причем в пределах осадочного чехла платформенных плит величины напряжений близки к гравитационным, на щитах и в большинстве горно-складчатых структур, особенно альпийской склад-

частости, напряжения существенно выше гравитационных. И наконец, имеются отдельные регионы, где напряжения даже существенно ниже, чем гравитационные (складчатые структуры Алтая). Наряду с преобладающими в земной коре напряжениями сжатия имеются отдельные локальные участки, как правило, приуроченные к зонам тектонических нарушений или дробления, где зафиксированы растягивающие напряжения.

Кроме того, неоднородность поля естественных напряжений зависит: 1) от характера более мелких тектонических структур (синклинальных и антиклинальных складок, разломов и прочих тектонических нарушений); 2) направления и величины действующих тектонических сил; 3) степени тектонической сложности и нарушенности района; 4) характера залегания пород; 5) неоднородности геологического разреза массива, проявляющейся в изменчивости физико-механических свойств пород; 6) строения рельефа; 7) степени обводненности массива; 8) геотермических условий и т. д. Под влиянием этих факторов различия в величинах напряжений могут достигать настолько больших значений, что их необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных и ответственных наземных сооружений. Изучение и оценка напряженного состояния массивов горных пород представляют не только научный интерес, но и имеют большое практическое значение. Именно с напряженным состоянием связано возникновение таких опасных горно-геологических явлений в подземных выработках, как горные удары, выбросы и стреляние пород. Характеристика напряженного состояния пород необходима для расчета устойчивости различных подземных сооружений, безопасного ведения подземных работ и прогноза устойчивости склонов и т. д.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что теоретически рассчитать напряженное состояние массива, исходя только из глубины залегания пород, практически невозможно, действующие в массиве напряжения можно только измерить (Мюллер, 1971).

В наиболее общем виде напряженное состояние пород в любой произвольной точке массива описывается системами формул, выражающих три главных напряжения (Турчанинов и др., 1977). В наиболее общем виде напряженное состояние в точке описывается тензором второго ранга, называемым тензором напряжений T_{σ} :

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix},$$

где σ_x , σ_y и σ_z — нормальные, а τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yx} , τ_{yz} , τ_{zx} , τ_{zy} — касательные напряжения. Тензоры напряжений симметричны, т. е. $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$. Поэтому в общем случае тензор напряжений может быть полностью охарактеризован шестью его компонента-

ми — нормальными и касательными составляющими, действующими в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. В каждой из точек существуют три взаимно ортогональных направления (и притом единственные), при которых все касательные компоненты тензора напряжений имеют нулевые значения. Отличными от нуля остаются только три нормальных напряжения — σ_x , σ_y и σ_z , называемые главными значениями тензора напряжений или главными нормальными напряжениями. Матрица тензора напряжений, выраженная главными его значениями, принимает вид:

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{vmatrix}.$$

Направления действия главных нормальных напряжений называют главными осями напряжений. Для решения инженерных задач важно знать главные напряжения и в первую очередь вектор наибольшего главного сжимающего напряжения, а также закономерности изменения главных напряжений по простиранию и с глубиной. Их нахождение, т. е. определение полного тензора напряжений массива, осуществляют с помощью комплекса методических приемов. Используя эти приемы и методы в определенной последовательности, получают наиболее полную и надежную информацию о направлении действия и значениях главных напряжений.

В течение последних десятилетий вопросу изучения напряженного состояния массивов уделяется все больше внимания. В горной науке достигнуты большие успехи в теории и методике проведения этих исследований. В настоящее время для определения напряженного состояния горных пород разработаны и применяются различные методы и методические приемы. Наиболее используемые из них: деформационные, геофизические, расчетные, моделирования, геологические.

Деформационные методы основаны на применении различных деформометров (тензометров), среди которых наиболее разработанный и освоенный метод разгрузки. По техническому исполнению и приемам пересчета измеренных деформаций в напряжения выделяются три способа этого метода: 1) при измерении деформаций упругого восстановления на торце выбуриваемого керна — способ ВНИМИ (Кузнецов, Слободов, 1950; Слободов, 1965; Нестеренко и др., 1972); 2) при измерении радиальных перемещений стенок центральной скважины при выбуривании керна — способ Н. Хаста (Hast, 1958, 1969); 3) при измерении деформации поверхности центральной скважины при выбуривании керна — способ Е. Лимана (Leeman, 1964, 1968).

Вторая большая группа — геофизические методы, основанные на измерении в исследуемом массиве искусственно создаваемых физических полей и регистрации параметров этих полей, меня-

ющихся в зависимости от напряженного состояния. Сюда относятся сейсмический, ультразвуковой, радиометрический, электрометрический и звукометрический методы. Наиболее разработанным в настоящее время является ультразвуковой или сейсмоакустический метод. Физическая основа применения сейсмоакустических методов для оценки напряженного состояния массивов скальных горных пород — теоретические и экспериментальные зависимости скоростей упругих волн и характеристики их затухания от величины действующего давления.

Для оценки действующих в массиве напряжений необходимо иметь значения скоростей распространения упругих волн в напряженном массиве, разгруженном массиве и экспериментальные тарировочные кривые зависимости скорости упругих волн от давления данного петрографического типа пород (Савич и др., 1974).

Сведения о значениях скоростей распространения упругих волн в напряженном массиве (v_{p0}) получают на основании ультразвукового акустического или сейсмического каротажа скважин, пробуренных в массиве, находящемся под давлением.

Задача определения скоростей распространения упругих волн в разгруженной части массива (v_{p0}) является более сложной. Использование для этих целей скоростей распространения упругих волн, полученных для образцов из этих скважин, не всегда удается, так как различия $v_{p_{обр}}$ и $v_{p_{мас}}$ часто очень незначительны из-за длительного периода релаксации напряжений в образцах. Вследствие этого в качестве значений v_{p0} наиболее удобно использовать средние данные скоростей распространения упругих волн, полученные при каротаже в зоне ослабления вокруг скважины.

Для количественной оценки напряжений помимо значений скоростей в напряженной и разгруженной частях массива необходимо иметь зависимости изменения скорости упругих волн под давлением. Такая зависимость может быть получена экспериментально в результате совместного определения скорости распространения упругих волн под давлением на образцах при лабораторных испытаниях и на призмах при натурных опытах в массиве.

При построении зависимости $v=f(\sigma)$ необходим набор образцов или призм с различными начальными значениями v_{p0} , т. е. набор разностей одной и той же породы с различной степенью трещиноватости.

По результатам опытов строятся графики в координатных осях $\frac{\Delta v_p}{v_{p0}}$, P для серии образцов или призм с различными исходными значениями v_p . Характер зависимости $v_p=f(P)$ существенно зависит от типа и состава породы, а для пород одинакового состава — от степени их трещиноватости. Вследствие этого графики зависимости строятся раздельно для определенного типа пород, для чего необходим набор кривых с различными исходными значениями v_{p0} , начиная от минимальных, характеризующих

интенсивно-трещиноватую породу, до максимальных, свойственных наиболее сохранным разностям. На рис. 15 приведены зависимости скоростей упругих волн от давления для различных петрографических типов пород с разной степенью трещиноватости.

Окончательная методика вычисления напряжений сводится к следующему. По кривым каротажа определяются средние значения v_p и v_{p_0} . Вычисляются значения $\frac{\Delta v_p}{v_{p_0}} = \frac{v_{p_0} - v_{p_0}}{v_{p_0}}$ и по кривой $\frac{\Delta v_p}{v_{p_0}} = f(P)$ с учетом параметра v_{p_0} определяется величина напряжений. Определение полного вектора напряжений достигается определенной ориентировкой исследуемых скважин в пространстве.

Из расчетных методов, позволяющих выявить общую картину распределения напряжений в массиве, наиболее перспективны

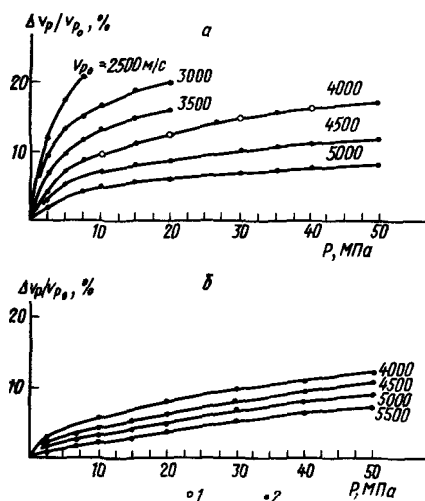


Рис 15 Графики зависимости скорости распространения продольных волн от давления по результатам исследований на образцах и целниках горных пород:

а — пиратин-халькопиритовые руды,
б — габбро-долериты, 1 — целики;
2 — образцы

так называемые сеточные методы: конечных элементов (Зенкевич, 1975; Ухов, 1973), конечных разностей, вариационно-разностный и др. Широкое использование при этом ЭВМ делает реальным решение поставленной задачи на основе разработанных в рамках теории упругости представлений о деформировании физических тел. Применение этих методов позволяет при оценке напряженно-деформированного состояния учитывать довольно сложную геологическую обстановку, в частности наличие вертикальной неоднородности — слои разных геолого-генетических комплексов, различной мощности и наклонного залегания, разной упругости, присутствие в разрезах тектонических трещин разной крутизны, работу массива в условиях гравитации, действие тектонической составляющей и т. д.

Использование расчетных методов и в частности МКЭ для оценки распределения и величин напряжений связано с генерализацией разреза, назначением области расчета, определением граничных условий, разбиением области на элементы. Расчеты напряжений обычно выполняются для кусочно-однородной весомой среды по опубликованным методикам и программам (Ухов, 1973;

Амусии, Фадеев, 1975; Панасьян, 1979). Применение расчетных методов в отличие от натурных позволяет детально проанализировать структуру поля напряжений, оценить роль отдельных факторов в его формировании, выявить области аномальных напряжений. Отметим, что достоверность результатов, получаемых при расчетах, решающим образом зависит от правильной инженерно-геологической схематизации массива и обоснованного заложения расчетных характеристик среды. Полученная картина распределения напряжений в массиве позволяет наиболее обоснованно выбирать места для проведения натурных опытов.

К числу наиболее распространенных методов моделирования, используемых для изучения напряженного состояния массива, следует отнести следующие: эквивалентных материалов, тензометрической сетки, фотоупругости, центробежного моделирования.

Метод эквивалентных материалов (Кузнецов, 1948) основан на определяющих положениях теории механического подобия и предусматривает замену в модели пород природного массива материалами, эквивалентными им по прочностным и деформационным свойствам. Этот метод достаточно нагляден, обладает многими достоинствами, но требует изготовления громоздких моделей. Однако возможность изучения напряжений с воспроизведением основных особенностей геологического строения (изменчивости прочностных и деформационных свойств, условий залегания пород, тектонических нарушений и т. д.) делает этот метод перспективным. На моделях могут быть определены как нормальные вертикальные и горизонтальные составляющие напряжения, так и величины главных напряжений.

Метод тензометрической сетки основан на том, что на поверхность материала, находящегося в ненапряженном состоянии, наносится тонкими линиями тензометрическая сетка (с точными расстояниями между линиями). Затем модели придают напряженное состояние, снимают отпечатки уже с деформированной тензометрической сетки и измеряют деформации по ее ячейкам с определением относительных деформаций по сторонам и диагоналям или диаметрам ячеек. На основании измеренных деформаций рассчитываются нормальные вертикальные, горизонтальные и касательные напряжения. Модели для исследований напряженного состояния по методу тензометрической сетки изготавливаются из низко модульного материала (игдантина или вальцмассы).

Метод фотоупругости основан на способности многих прозрачных изотропных материалов приобретать под действием напряжений временное двойное лучепреломление, величина которого пропорциональна величине действующих сил и может быть измерена оптическим методом (Трумбушев, 1963, 1966; Фисенко, 1965 и др.). Большое достоинство метода фотоупругости — возможность непосредственного измерения величин максимальных касательных напряжений и определение ориентировки главных осей напряжений.

Метод центробежного моделирования основан на общих

положениях теории механического подобия. При этом соблюдается условие, что силовая характеристика модели равна силовой характеристике натуре. Это значит, что если в модели уменьшены размеры натуре, то соответственно должна быть увеличена плотность материала за счет помещения модели в поле центробежных сил определенной интенсивности. Метод центробежного моделирования может применяться только для однородных сред, что существенно ограничивает его использование, для оценки напряженного состояния неоднородных природных массивов горных пород.

Геологические методы изучения тектонических полей напряжений применяются для выявления закономерностей распределения напряжений, связанных с развитием структуры отдельных участков земной коры. Наиболее разработанный — метод восстановления ориентировки осей напряжений по трещинам М. В. Гзовского (1975). При полевых исследованиях на обнажениях горных пород накапливаются статистические данные о средней ориентировке трещин скалывания и отрыва, так как они определенным образом расположены относительно главных напряжений. Замеренные трещины накладываются на стереографическую сетку, где определяются плоскости, соответствующие среднему положению каждой из двух сопряженных систем трещин скалывания и трещинам отрыва. Линия пересечения сопряженных трещин скалывания является осью промежуточных главных напряжений σ_2 , биссектриса тупого угла — осью максимальных напряжений σ_1 , перпендикулярной трещинам отрыва; биссектриса острого угла между сопряженными трещинами скалывания — осью алгебраически минимальных главных нормальных напряжений σ_3 . Наименование осей контролируется направлениями смещения по трещинам. Таким образом, восстанавливается ориентировка напряжений, действовавших во время возникновения трещин.

Существуют и косвенные методы оценки напряжений массивов горных пород, основанных на наблюдениях за дискованием керна при бурении (Нестеренко, Шаманская, 1970) и расслоении керна, извлеченного из скважин (Скворцов, Фромм, 1970), свободной разгрузкой образцов при снятии естественных напряжений и т. д.

Установлено, что при высоком уровне напряжений в массиве наблюдается дискообразование (дискование) — расчленение керна на диски при бурении скважин. Это явление дает возможность приближенно оценить величину напряжений по формуле (Марков, 1977):

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_{ож}}{K_k},$$

где K_k — коэффициент, определяющий связь между пределом прочности породы в образце и напряжением в массиве. Значение K_k устанавливается в зависимости от проявления масштабного эффекта. K_1 составляет, по данным Г. А. Маркова, $2 \div 4$. Наблюда-

нения за дискованием керна в различно ориентированных скважинах позволяют определить направление действия в массиве наибольшего напряжения.

Г. Г. Скворцов, В. В. Фромм (1970) уделяют большое внимание процессу расслоения — распада породы на отдельные по напластованию и другим поверхностям ослабления. Им рекомендуется проводить наблюдения за расслоением керна таких пород, как алевролиты и аргиллиты. Исследование процесса расслоения включает определение начального показателя расслоения R_0 для каждой литологической разности сразу же после извлечения керна из буровой скважины. Под показателем расслоения понимается число столбиков керна в 1 м керна. В дальнейшем подсчет числа отдельностей ведется регулярно через один — пять дней в течение 25—30 сут. По скорости и интенсивности расслоения пород можно ориентировочно судить о величине действующих в массиве напряжений.

Один из способов косвенной оценки напряжений — наблюдение за свободной разгрузкой образцов. Об остаточных напряжениях в скальных горных породах известно очень немного. Имеются отдельные публикации, в которых различия показателей физико-механических свойств при одновременных испытаниях объясняются релаксацией напряжений. Особо важное значение проблема изучения и оценки процессов релаксаций напряжений приобретает при инженерно-геологических исследованиях глубоких горизонтов земной коры.

Косвенным способом оценки напряженного состояния скального массива является и измерение остаточных напряжений в образцах режимными наблюдениями за свободной разгрузкой образцов с помощью замеров деформации. Измерение деформации производится сразу же после извлечения керна из скважины, затем в течение 10 сут с интервалом в один день, далее с интервалом 10 сут в течение месяца и затем с интервалом в один месяц в течение длительного времени до полной стабилизации процесса. Результаты режимных наблюдений по каждому образцу изображаются в виде графиков в координатных осях: ϵ (относительная деформация), t (время) в логарифмическом масштабе. Одновременно с измерением деформаций при свободной разгрузке горных пород целесообразно проводить долговременные режимные наблюдения за изменением скоростей распространения упругих волн и прочностных характеристик горной породы. Изменение этих характеристик позволяет ориентировочно оценивать естественные напряжения в массиве.

Температурный режим

Для решения разнообразных инженерных задач большое значение имеют данные о температурном режиме массивов скальных пород и температурах на определенных глубинах.

Формирование естественного теплового поля горных пород

происходит под влиянием целого комплекса природных факторов. С одной стороны — это особенности радиационного режима, влияние различного рода покровов (снега, растительности), состав пород активного слоя, определяющие теплообмен на поверхности, а с другой — состав горных пород и строение массива, его обводненность, характер геологических структур и тектонических нарушений, определяющих процессы теплопередачи в массиве.

Особо важное значение прогнозирование температурного режима приобретает в районах распространения многолетнемерзлых пород, где изменение нижних граничных условий влечет за собой оттаивание мерзлых толщ, приводящее к ослаблению несущих свойств породного массива, прорыву подземных вод и другим неблагоприятным процессам.

Не менее важно знание глубины сезонных колебаний температур, происходящих в породном массиве, поскольку именно с ними связаны большие амплитуды температурных напряжений, существенно отражающиеся на многих характеристиках массива горных пород. Именно эта часть скального массива наиболее часто является основанием большинства наземных сооружений. Мощность зоны сезонных колебаний зависит от многих факторов, определяющих теплообмен на поверхности, и колеблется от первых метров до десятков метров.

И наконец, температурный режим горных пород и особенности формирования и распределения геотемпературного поля нужно знать при проектировании и строительстве подземных сооружений на больших глубинах. Это необходимо как для теплофизических расчетов вентиляции глубоких горизонтов, где температуры породного массива могут существенно превышать температуру комфорта ($18-20^{\circ}$) и прогноза изменения температурного режима при эксплуатации инженерного сооружения, так и для выяснения влияния повышенных температур и неоднородности теплового поля на свойства и состояние (в первую очередь напряженное состояние) скального массива.

Особенности распределения подземных температур и геотермического градиента отражают основные закономерности формирования геотемпературного поля. Показателем напряженности поля служит геотермический градиент, определяющий интенсивность нарастания температуры с глубиной.

Изучение геотермических условий в различных тектонических структурах показало, что температурный градиент изменяется в широких пределах: от 1° на 100 м на древних местах, до $3-5^{\circ}$ на 100 м в молодых складчатых областях — и зависит от ряда факторов: глубинного тектонического строения, типа тектонической структуры, близости к зонам тектонических нарушений, литологического состава пород, особенностей циркуляции подземных вод и др. Это приводит к неоднородности температурного поля даже в пределах одного массива, о чем свидетельствует перепад температур в десятки градусов на одинаковых абсолютных отметках в разных частях массива. Неоднородность температурного поля

в свою очередь оказывает существенное влияние на напряженное состояние скального массива.

Показатели физико-механических свойств массивов скальных пород

Массивы скальных горных пород, как любые физические тела, обладают определенными физико-механическими свойствами, которые характеризуют состояние этих массивов и отражают их способность реагировать на те или иные нагрузки, вызываемые как инженерной деятельностью, так и природными факторами. Основные наиболее часто используемые характеристики физико-механических свойств скального массива — плотность, деформируемость и прочность.

Плотность — одно из наиболее важных физических свойств массивов горных пород, определяющих, с одной стороны, целый ряд других его физико-механических показателей, а с другой — характеризующих структурно-текстурные особенности массива. Плотность используется в качестве прямого расчетного показателя для вычисления давления, действующего на различные подземные инженерные сооружения, для определения гравитационной составляющей поля естественных напряжений и т. д. Величина плотности зависит от минерального состава горных пород, слагающих массив, их пористости, трещиноватости и пустотности массива, степени его обводненности.

Деформируемость — одно из общих свойств реальных геологических сред, характеризующее изменения в относительном расположении частиц материального тела или среды, которые возникают в результате силового воздействия (Гзовский, 1975).

В настоящее время для описания упругих и деформационных свойств массивов скальных пород в большинстве случаев применяют аппарат линейной теории упругости, в соответствии с которым основными характеристиками свойств однородной и изотропной среды являются: модуль упругости E и коэффициент поперечной деформации или Пуассона μ . Однако нелинейная и неидеальная упругость реальных массивов приводит к тому, что деформации в большинстве случаев нелинейно связаны с действующими напряжениями. Более того, их характер существенно зависит от масштаба и направления воздействия, а также знака напряжений, так как деформации неидеально упругих и дискретных сред при нагружении существенно отличаются от деформаций разгрузки.

Объективной характеристикой деформируемости в этом случае являются графики деформации, отражающие связь между искусственно создаваемыми напряжениями σ и соответствующими относительными деформациями ε породы. Установлено, что для массивов горных пород указанные графики имеют сложную форму. Это выражается в изменении кривизны различных ветвей графиков $\varepsilon = \psi(\sigma)$, гистерезисных явлениях и последовательном увели-

чении общей деформации при росте циклов нагружений. Вследствие этого при описании свойств пород и массивов параметрами линейной теории упругости вводят отдельные показатели деформируемости при нагрузке (модуль деформации $E_{\text{деф}}$) и разгрузке (модуль упругости $E_{\text{упр}}$), которые характеризуют средние свойства породы в заданном диапазоне изменения напряжений.

Прочностью будем называть максимальную величину истинных внутренних напряжений (касательных или нормальных), действие которых приводит к макроскопическому разрушению (Гзовский, 1975). В зависимости от вида действующих напряжений разрушение происходит либо с отрывом, либо со сдвигом. Указанные виды разрушений определяют различные показатели прочности.

Основными показателями, определяющими прочность скального массива, являются: прочность на сжатие, на разрыв и сдвиг, а также прочность при объемном напряженном состоянии.

Прочность на сжатие предусматривает одноосное напряженное состояние, которое возникает в целиках горных пород при камерной отработке полезного ископаемого, в целиках между горными выработками, а также в некоторых точках массива вокруг выработанного пространства.

Представить прочность на разрыв для массивов горных пород довольно сложно. Тем не менее тот факт, что в массивах горных пород возникают свежие трещины разрыва, предполагает наличие растягивающих напряжений, которые должны превысить сопроптивляемость массива растяжению.

Напряженное состояние массива, соответствующее прочности при сдвиге, можно наблюдать на естественных склонах, в искусственных откосах, в основании плотин и т. д. Прочность при объемном напряженном состоянии является значительно более общим случаем, имеющим место в реальных горных массивах и объясняющим возникновение разрушений в земной коре.

Для исследования прочности и деформируемости массивов горных пород применяют лабораторное изучение образцов, натурные крупномасштабные опыты, корреляционные и аналитические методы.

Лабораторные испытания образцов имеют подчиненное значение, так как получить по ним объективную количественную оценку физико-механических свойств массивов невозможно. Это связано с неоднородным сложением массива и тем обстоятельством, что размеры неоднородностей и структурных элементов массива чаще всего превышают размеры образцов (Протодьяконов, 1964; Нестеренко, Матвеев, 1972). Второе осложнение заключается в том, что при лабораторных исследованиях образцов не учитываются естественные напряжения, существующие в массивах, так как отсутствует методика точного определения напряжений. Тем не менее изучение свойств пород в лаборатории необходимо для познания природы деформации и разрушения массивов горных пород, для выявления тех или иных тенденций изменения свойств пород с глубиной или в плане, для оценки разрабатываемости скального массива,

а также для получения количественных данных о свойствах массивов путем экстраполяции лабораторных данных на массив.

Для изучения прочностных и деформационных свойств массивов горных пород в практике инженерно-геологических исследований под уникальные сооружения (высокие плотины, системы разработки полезного ископаемого и др.) проводятся натурные крупномасштабные опыты (Фисенко, 1959; Евдокимов, Сапегин, 1964; Роза, Зеленский, 1967). Сущность опытов заключается в приложении к породе статических нагрузок и измерении возникающих в результате этого перемещений. При определении прочностных характеристик уровень статических нагрузок должен достигать разрушающих.

Наиболее широко применяемыми схемами проведения натурных опытов являются: испытания пород жесткими и гибкими штампами; нагружение породы по стенкам выработки разного диаметра (в том числе испытание прессиометром в скважинах); испытания целиков породы (одноосное и трехосное). При проведении натурных опытов давления, передаваемые на породу, должны достигать сотен кг/см^2 . Технические сложности приложения таких нагрузок ограничивают размеры площади загрузки породы. Поэтому натурные опыты позволяют исследовать относительно небольшие объемы пород, содержащие лишь трещины, образующие элементарный блок и имеющие малую ширину раскрытия. Учитывая проявление масштабного эффекта при определении показателей прочностных и деформационных свойств, следует иметь в виду, что в подавляющем большинстве случаев результаты опытов при статическом нагружении не могут быть непосредственно использованы для характеристики крупных участков массива, соизмеримых с размерами инженерного сооружения.

Для оценки прочностных и деформационных свойств массивов целесообразно использовать и косвенные методы, в частности сейсмоакустические (Савич и др., 1969; Савич, Яценко, 1979). Сейсмоакустические методы позволяют определять скорости распространения упругих волн, связанные функциональными и корреляционными зависимостями с показателями прочности и деформируемости, в широком диапазоне размеров — от образца скальной породы или объема крупномасштабного опыта до крупных участков массива, соответствующих размерам формирующих его структурных блоков.

Для оценки прочностных (Голодковская, Шаумян, 1971, 1974; Шаумян, 1972) и деформационных (Савич и др., 1969; Савич, Яценко, 1979) свойств массивов разработаны корреляционные сейсмоакустические методы. Сущность сейсмоакустического метода определения прочностных и деформационных характеристик массива для любых объемов, соизмеримых с размерами инженерного сооружения, состоит в следующем: 1) устанавливаются корреляционные или функциональные зависимости между скоростью распространения упругих волн и показателями прочности и деформируемости на образцах и при крупномасштабных опытах; 2) опре-

деляются масштабные кривые величины скорости упругих волн для исследуемого массива; 3) устанавливается влияние естественных напряжений и обводненности на скорости распространения упругих волн, т. е. определяется различие величин скоростей упругих волн на образцах и в массиве при соблюдении равномасштабности исследований; 4) вычисляются деформационные и прочностные характеристики для заданного объема породы, соизмеримого с размерами инженерного сооружения.

При установлении корреляционных зависимостей между показателями прочности, деформируемости и скоростями упругих волн

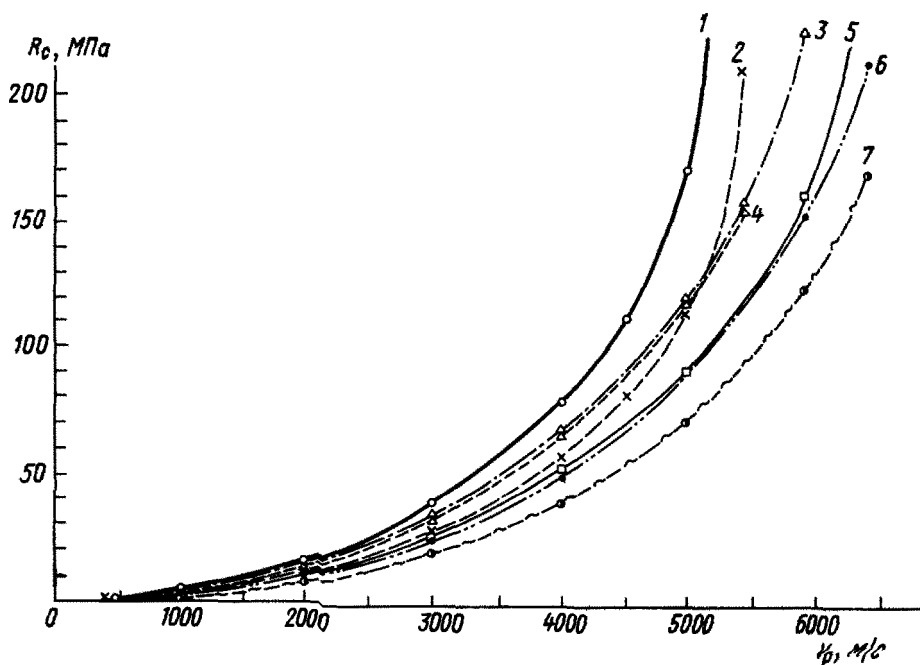


Рис 16. График зависимости прочности на сжатие и скорости распространения упругих волн для различных типов пород:

1 — песчаники; 2 — пирротин-халькопиритовые руды; 3 — базальты; 4 — гранито-гнейсы; 5 — роговики; 6 — габбро-долериты; 7 — известняки

необходимо соблюдение следующих условий: 1) динамические и статические параметры определяют для одного и того же образца или натурального опыта; 2) соблюдается равномасштабность исследований при определении динамических и статических параметров; 3) соблюдается идентичность направления сил, вызывающих деформации и разрушение; 4) сопоставляемые значения параметров должны быть получены для пород различной сохранности.

Соблюдение этих условий позволяет получить достоверные и полные корреляционные зависимости между показателями прочности и скоростью распространения упругих волн (рис. 16).

Л. В. Шаумян предложен обобщенный вид зависимости между показателями прочности и скоростью распространения упругих волн для различных типов пород и разных масштабов опробования (образцов и натуральных опытов), который описывается следующим уравнением:

$$\left(1 - \frac{R_c}{R_{c_{\max}}}\right)^2 = 1 - \left(\frac{v_p - v_{p_0}}{v_{p_{\max}} - v_{p_0}}\right)^2,$$

где $R_{c_{\max}}$ — максимальное значение прочности для данного типа пород; R_c — определяемое значение прочности; $v_{p_{\max}}$ — максимальное значение скорости для данного типа пород; v_p — значение скорости для данного объема породы; v_{p_0} — значение скорости, при которой прочность породы равна нулю (рис. 17).

Для построения масштабных кривых необходимо знание модальных значений скоростей упругих волн, полученных для одного и того же массива, но при разной масштабности исследований, т. е. для различных объемов породы. Для получения такой информации проводятся сейсмоакустические исследования с использованием упругих волн различных диапазонов частот и измерение скоростей на разных базах. Построение масштабных кривых описано выше.

При перечисленных данных оценка прочностных свойств массива производится следующим образом. Масштабные кривые, полученные для скоростей упругих волн, с помощью установленных корреляционных зависимостей пересчитываются в аналогичные графики для прочностных характеристик. После введения поправок на обводнение и естественные напряжения эти графики служат основой для оценки прочностных свойств массивов в масштабах, соизмеримых с размерами инженерных сооружений.

Аналитические методы наиболее полно разработаны применительно к деформационным характеристикам скального

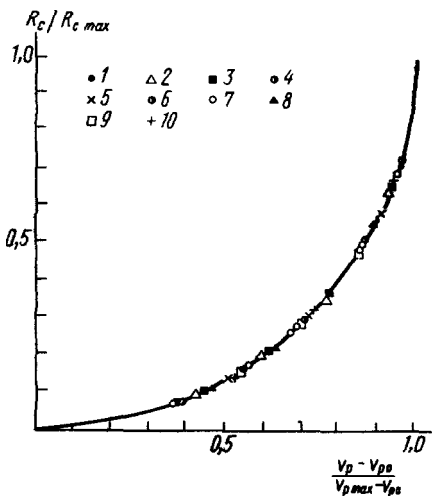


Рис. 17. Общий вид зависимости относительных изменений величин прочности на сжатие и скорости распространения продольных волн для пород различного генезиса и состава:

1 — песчаники; 2 — базальты; 3 — роговики; 4 — известняки; 5 — пирротин-халькопиритовые руды (образцы); 6 — пирротин-халькопиритовые руды (натурные опыты); 7 — габбро-долериты; 8 — гранито-гнейсы; 9 — известняки (по Эрмиту); 10 — песчаники (по

Е. А. Сигаеву)

массива. Существующие методики (Руппенейт, 1975; Зеленский, 1967) предполагают модель трещиноватого массива, разбитого на последовательно чередующиеся зоны трещин и монолитного материала. Методики не лишены определенных недостатков, так как природная сеть трещин значительно сложнее, чем любая используемая в расчетах, но так как более совершенные модели не разработаны еще даже теоретически, то данные методики используются на практике и дают неплохие результаты (Рац, 1979).

Модуль деформации массива в направлении, перпендикулярном ориентировке исследуемой системы трещин, равен: $E_{\perp} = \frac{E_p}{1 + \eta}$, вдоль трещин $E_{\parallel} = E_0$ и в направлении, образующим с системой трещин угол

$$E_{\theta} = \frac{E_0}{1 + \eta (1 - \sin^4 \theta)}, \quad \eta = \frac{b}{\xi a},$$

где η — геометрическая характеристика трещин, E_0 — модуль деформации монолитной породы, a — расстояние между трещинами, b — раскрытие трещин, ξ — относительная площадь скальных контактов (принимается постоянной и равной $\sim 3 \cdot 10^{-4}$).

Таким образом, для массива горных пород содержащего i — количество систем трещин

$$E_m = \frac{E_0}{1 + \sum_{i=1}^n \eta_i (1 - \sin^4 \theta)},$$

где E_m — модуль деформации скального массива с i количеством систем трещин (Руппенейт, 1975).

В тех случаях, когда трещины содержат заполнитель, имеют кайму выветривания или несут следы гидротермальной переработки, для определения модуля деформации скального массива используется «лабораторно-аналитический метод» Б. Д. Зеленского. На образцах, полученных из штуфов горных пород, определяют модули деформации каймы E_k и заполнителя E_z . Модуль деформации каймы оценивается, по Б. Д. Зеленскому, приблизительно $E_k \approx 0,25 E_0$, где E_0 — модуль деформации монолитной породы. Таким образом, модуль деформации массива горных пород E_m определяется из следующего уравнения (Зеленский, 1967):

$$E_m = \frac{a E_0 E_z E_k}{2b_k E_0 E_z + b E_0 E_k + (a + 2b_k + b) E_z E_k},$$

где a — расстояние между трещинами, b — раскрытие трещины, w_k — ширина каймы трещины.

Если условно выделенные фрагменты трещины, включающие саму полость, заполнитель и пристеночный слой, объединить и определить модуль деформации трещины и трещинового обрамления

E_t , то приведенное выражение упростится до следующего уравнения:

$$E_m = \frac{aE_0E_t}{bE_0 + E_t(a-b)},$$

Аналитические решения для определения прочностных характеристик массива разработаны в значительно меньшей степени. Большинство предлагаемых подходов (Фисенко, 1968; Куваев, 1964; Фадеев, 1969) предполагает оценку прочности через различные коэффициенты структурного ослабления, отражающие неоднородность среды.

По данным Г. Л. Фисенко (1976), коэффициент структурного ослабления может меняться от 0,53 до 0,12.

Для структурной модели с нормально секущими трещинами получены зависимости (Фисенко, 1965):

$$\lambda = \frac{1}{1 + a \ln \frac{h}{l}},$$

где λ — коэффициент структурного ослабления; a — коэффициент, возрастающий от 1 до 7 с увеличением прочности от 10 до 1000 кг/см²; H — высота массива; l — расстояние между трещинами.

Сцепление по трещинам в массиве (K_m):

$$K_m = K_\tau + \frac{K_0 - K_\tau}{1 - a \ln \frac{h}{l}} \text{ мс/м}^2,$$

где K_τ — сцепление по трещинам, K_0 — сцепление в монолитной породе.

В соответствии с экспериментальными данными (Мюллер, 1971; Джергер, 1975; Савич, Яценко, 1971 и др.) показатели прочности и деформируемости в неоднородных и анизотропных средах зависят от относительных размеров неоднородностей по отношению к исследуемой зоне или области воздействия сооружения, а также от направления действия нагрузки. Если исследуемая зона намного больше (более чем в 10 раз) размеров структурных элементов, то среда в первом приближении может рассматриваться как квазиоднородная и характеризоваться постоянными для каждого заданного направления параметрами. Когда структурные элементы соизмеримы с областью исследования (или областью воздействия сооружения), среда представляется сложной системой, состоящей из отдельных структурных элементов с определенными характеристиками физико-механических свойств.

Неоднородность среды приводит к проявлению масштабного эффекта по отношению к прочностным и деформационным характеристикам. При этом под масштабным эффектом понимается наблюдающееся в природе уменьшение показателей прочностных и деформационных свойств с увеличением объема исследуемых

пород. В общем случае графики масштабного эффекта механических свойств массива скальных пород, отражающие законы изменения показателей этих свойств с увеличением масштаба измерений, аппроксимируются кусочно-гладкими кривыми. Точки перегиба этих кривых соответствуют границам блоков различных порядков.

Из зависимости показателей механических свойств неоднородных массивов от размеров области опробования следует, что установленные опытным путем характеристики механических свойств пород справедливы лишь для того масштаба измерений, для которого они определены. Если при переходе к более крупным объемам породы качество дефектов и элементов неоднородности не изменилось, то можно ожидать, что показатели механических свойств также не подвергнутся значительным изменениям. Если же переход к более крупным объемам породы сопровождается качественным изменением ее состава, строения и состояния, то возможны изменения показателей механических свойств. Причем закон изменения этих показателей с увеличением объема породы, как правило, будет меняться по сравнению с тем, который был установлен при исследовании меньших объемов скальной породы (Ухов, 1975).

Установлено, что физико-механические свойства массивов горных пород определяются двумя группами факторов. К первой относятся: генезис, минеральный состав, структурные и текстурные особенности слагающих их пород или их ассоциаций, характер и степень их первичной неоднородности и анизотропности. Вторая группа включает характеристики состояния пород в массиве: их вторичную трещиноватость, выветрелость и вторичную измененность, обводненность, специфику проявления естественных напряжений, температурный режим, вторичную неоднородность и анизотропность. Наибольшие сложности возникают при учете влияния факторов второй группы, хотя им часто принадлежит определяющая роль в формировании физико-механических свойств массивов скальных горных пород.

ПАСПОРТИЗАЦИЯ МАССИВОВ

ЗНАЧЕНИЕ ПАСПОРТИЗАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ МАССИВОВ

Под паспорттизацией горных пород понимаются систематическое накопление, регистрация и пополнение данных о изучаемых типах горных пород для длительного использования, сравнения, классификации и типизации и др. Паспорт является документом, в котором унифицированным способом обозначаются все основные данные, полученные о горной породе при ее инженерно-геологическом изучении. Данные обобщаются по единой методике (разработанной подробно в соответствующих руководствах) на стандартных бланках, паспортных картах, перфокартах или в виде

паспортных каталогов, атласов горных пород и др.

Паспортизация и составление отдельных каталогов (атласов) горных пород отражают современные тенденции в совершенствовании службы сбора, хранения и обработки информации:

а) стремление использовать все данные, полученные в разное время, часто с большими затратами, об отдельных типах горных пород, находящихся в данном или подобном участках;

б) получение общей картины о свойствах горных пород больших территорий наиболее рациональным способом;

в) возможность сравнения свойств отдельных типов пород, статистический и корреляционный анализ их различных параметров, а также использование метода инженерно-геологических аналогий;

г) возможность стандартизации всей методики опробования испытания горных пород и обработки результатов этих испытаний.

Большие возможности, которые открывает систематическая паспортизация горных пород и связанная с ней унификация представления данных как об отдельных параметрах, так и для общей характеристики горных пород, побудили многих специалистов к составлению разных каталогов или паспортизационных систем. Авторы этих разработок всегда сталкивались с одинаковыми трудностями: рассеяние данных по архивам и литературе, неидентичность опытных методик и обработки результатов в разных лабораториях, неполный набор показателей свойств, слабая сравнимость результатов, недостаток национальных и международных стандартов и унификации в методах определения свойств горных пород и в их классифицировании и т. д. Преодоление этих и других подобных трудностей остается одной из главных задач в программах большинства организаций по инженерной геологии, механике горных пород и др.

Наиболее простой прием паспортизации — табличная обработка каталога свойств пород Р. Г. Веркера (1956) из Иллинойского университета (США). Автор собрал более 250 наборов данных о разных типах пород из литературы, и главным образом из архивов двух самых крупных специальных организаций США (Горное бюро, Бюро рекламаций). Эти данные Р. Г. Веркер обработал и обобщил в таблице, в колонках которой кроме основных данных о петрографическом типе и месте отбора породы содержится 21 параметр физико-механических свойств пород (зернистость, удельная масса, пористость, твердость по Моосу, склероскопическая твердость, прочность на одноосное и трехосное сжатие, растяжение, модули упругости статические и динамические, коэффициент Пуассона, скорость прохождения ультразвуковых волн и некоторые технологически важные характеристики, например абразивность). Главное назначение этого каталога, по мнению автора, — возможность сравнения значений разных параметров и корреляции изучаемого типа породы с уже охарактеризованными и изученными сходными типами.

Вторым примером паспортизации геологических и механических характеристик 55 типов магматических, метаморфических и осадочных пород территории Франции является каталог, составленный М. Рифольтом (1969). Результаты испытания пород в 10 различных лабораториях автор систематически упорядочил в виде атласа горных пород. В его табличной части приводится основное геолого-минералогическое макро- и микроскопическое описание пород. Главное внимание уделяется признакам, оказывающим наибольшее влияние на физико-механические свойства (например, вторичная измененность минералов, степень выветрелости, анизотропия и др.). Далее приводятся средние значения 16 основных показателей физических, механических или технологических свойств: плотность, объемная масса, пористость, проницаемость, скорость распространения ультразвуковых продольных и поперечных волн, прочность на одноосное сжатие, на прямое и не прямое растяжение, модуль упругости статической, динамической и при трехосных испытаниях, коэффициент Пуассона, дробимость в барабане Деваля, полируемость поверхности породы. Для многих типов приводится химический состав. Однако не все типы пород были испытаны на образцах одинаковой формы (цилиндры, кубы, призмы), одинаковыми методиками и в одинаковом количестве. В графической части атласа приводится диаграмма прочности в кругах Мора, микрофотографии шлифов или иногда диаграммы деформаций. Автор рекомендует свой каталог в первую очередь как материал для изучения связей между петрографическими особенностями и физико-механическими свойствами изученных типов пород.

Необходимость рационального подбора паспортных параметров (только основных, взаимно независимых и больше всего используемых в практике), унифицированности методики опытов, единой рациональной формы записи значений свойств в виде стандартной формулы показал В. В. Ржевский (1966). Его паспорт горной породы имеет вид кодовой формулы, в которой отдельными знаками обозначены: механическое состояние (массивный, слабо-трещиноватый и т. д.) и строение породы (сланцеватый, равномерно-зернистый, неравномерно-зернистый, аморфный); влажность; объемная масса и пористость; категории прочности на сжатие, растяжение, модули упругости и коэффициент Пуассона; значения категорий тепловых свойств (удельная теплопроводность и теплоемкость, коэффициент линейного расширения); параметры электромагнитных свойств (удельное сопротивление диэлектрической проницаемости, магнитная проницаемость). Параметры приводятся не в прямых значениях, а в полуколичественно ранжированных категориях, сгруппированных всегда в 10 классов. Преимущество этой формы паспортизации — ее наглядность, унификация всех основных операций и применимость данных для прямой обработки с помощью ЭВМ.

СТРУКТУРА ТИПОЛОГИЧЕСКОГО АТЛАСА МАССИВОВ. ГОРНЫХ ПОРОД И ПАСПОРТНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Типологический атлас представляет коллекцию описаний разных массивов горных пород, систематизированную на основе подобия и отличия определенных признаков. Типы массивов IV порядка (IVA по классификационной системе, см. выше) представлены в форме паспортов, содержащих комплексную инженерно-геологическую характеристику материала и массивов скальных пород.

Атлас должен в первую очередь наглядно иллюстрировать описанные способы классификации массивов горных пород и формализованного описания их характеристик, важных для инженерной геологии. Конечная цель составления атласа — создание коллекции эталонов, необходимых для распознавания и характеристики массивов горных пород при полевом изучении и картировании.

Для использования типологического атласа при классификации и ориентировочной оценке свойств пород и их количественных параметров методом сравнения изучаемого обнажения с наиболее сходным эталонным типом нужно существенно расширить коллекцию паспортов. Это весьма трудоемкая работа, которую, по-видимому, целесообразно выполнять в несколько этапов, начав с создания атласов для определенных геолого-структурных регионов или провинций (например, Карпат, Сибирской платформы).

При составлении таких региональных атласов пород очень важно соблюдать следующие общие методические положения:

1) выбор участков и типов массивов должен быть таким, чтобы они представляли наиболее распространенные и важные с инженерно-геологической точки зрения литологические типы пород;

2) способ описания (классификации и характеристики) должен быть унифицированным и формализованным — для этой цели самым подходящим средством являются паспорта;

3) унификация важна не только для накопления и передачи данных, но и на всех стадиях их получения (единая методика полевого описания, опробования, испытаний и обработки данных);

4) использование рациональных методов получения, обработки и представления данных, включая широкое использование индексных характеристик, автоматизированных способов измерений и регистрации ЭВМ и т. д.

Паспорт определенного массива горных пород является документом, содержащим унифицированным способом записанные данные, полученные о горной породе при инженерно-геологическом изучении в поле и в лаборатории.

Каждая паспортная запись распределяется на пять основных частей, содержащих: I — основные данные о местоположении и название массива (пункты 1—3), II — характеристику массивов пород и структурно-геологические данные (пункты 4—7);

III — характеристику материала горной породы — образца (пункты 8—10); IV — кодированную запись массива горных пород, основных свойств породы и поверхностей механической дисконтинуальности; V — фотографическую документацию (фотографии обнажения, образца породы, представительного шлифа).

Ниже приводятся принятые в атласе порядок записи, градации показателей и их кодовые обозначения, примеры документации.

I. Основные данные о местоположении массива.

1. Порядковый номер паспорта.

Местоположение массива (место, область, государство). Геоморфологическая характеристика (тип обнажения, геоморфологическая позиция, размеры обнажения: длина и высота (в м), экспозиция обнажения).

2. Геолого-структурное положение; тип горного тела (например, массив изверженных пород, батолит).

3. Литологическая формация, литологический комплекс, литологический тип, стратиграфический символ.

II. Характеристика массивов горных пород и структурно-геологические данные.

4. Описание структуры массива n -го порядка (характер строения, например слоистый, сланцеватый, столбчатый, массивный; описание и генезис основных систем дисконтинуальностей и их взаимное пространственное отношение, форма основных блоков, качественное описание разуплотнения массива и заполнителя дисконтинуальностей, степень выветрелости, описание неоднородности на основе изменчивости формы и размера блоков, обводнение).

5. Характеристика дисконтинуальности (трещиноватости), сведенная в таблицу, которая в горизонтальном направлении разделяется по отдельным параметрам следующим образом:

а) тип массива IV порядка (из однотипной блочности), выраженный кодовой записью (объяснение способа записи — см. пункт 11);

б) генетический тип дисконтинуальностей, обозначаемый символами: п — первичные трещины, трещины первичной отдельности; н — поверхности слоистости, напластования; с — поверхности сланцеватости; в — трещины выветривания; т — тектонические трещины; д — дислокации. Если существует несколько систем трещин одного генетического типа, то они обозначаются дополнительным цифровым символом, например t_1 , t_2 , t_3 и т. д.;

в) преобладающий азимут падения основных систем трещиноватости в градусах с приведением дисперсии значений с помощью знаков $\pm$;

г) преобладающее падение основных систем трещиноватости в градусах;

д) преобладающее расстояние между трещинами в основных системах (в см) с приведением дисперсии значений с помощью знаков $\pm$;

е) длина трещин в основных системах (в м) с приведением

относительной протяженности по отношению к обнажению следующим образом:

ХХ — трещины секущие, пересекающие все обнажение обоими своими концами;

ТТ — трещины не полностью секущие, ограниченные другой системой трещин на обоих концах;

УУ — трещины несекущие, заканчивающиеся в обнажении.

Например, если трещина в одну сторону сечет обнажение, а другой ее конец ограничен другой дисконтинуальностью, то кодовые обозначения подобной ситуации *ХТ*. Таким способом можно использовать любые комбинации (например, *ХУ*, *УТ* и т. д.);

ж) преобладающее раскрытие трещин в основных системах (в см) с приведением дисперсии значений с помощью знаков $\pm$;

з) поверхность трещин, характеризуемая двумя показателями: их формой (ровные, ступенчатые, волнистые); шероховатостью с приведением высоты неровностей над сравниваемой линией (в мм);

и) заполнитель трещин дается качественным описанием заполняющего материала в следующих индексах: г — глинистый, п — песчаный, с — суглинистый, о — обломочный, т — тектонический, к — мягкий карбонатный, г—п — глинисто-песчаный, х, ж, м — хлоритовый, железистый, серицитовый.

В горизонтальном направлении таблица разделяется по основным системам трещин в выделенном однородном блоке.

6. Диаграмма поверхностей дисконтинуальности (трещиноватости), в которой они изображены как проекции полюсов трещин из нижней гемисферы в экваториальную плоскость. Системы ограничиваются линией и обозначаются соответствующим символом (см. п. 5, б).

7. Характеристика массива горных пород, приводимая в таблице:

а) преобладающий, максимальный и минимальный размер блоков (в см), отдельно для каждого выделенного квазиоднородного тела;

б) преобладающий коэффициент разуплотнения (трещинной пустотности по Л. И. Нейштадт, 1957), приведенный в процентах для каждого квазиоднородного массива в соответствии с классификацией (Матула, Хольцер, 1976, 1978):

разуплотнение (%)	очень низкое	0,3
»	низкое	0,3—2
»	среднее	2—5
»	высокое	5—15
»	очень высокое	15

в) преобладающий модуль трещиноватости, обозначающий количество всех дисконтинуальностей на 1 м или количество всех трещин на длину обнажения;

г) индекс трещинного заполнителя, обозначающий долю глинистого или песчаного (или отсутствие) заполнителя в общем объеме трещин (в %) (Матула, Хольцер, 1976, 1978), соответственно градации табл. 11.

Трещиноватый заполнитель

Индекс трещинного заполнителя	1	2	3	4	5
Заполнитель глинистый, %	0—10	10—35	36—65	65—90	90—100
Заполнитель песчаный или отсутствует, %	100—90	90—65	65—35	35—10	10—0

III. Характеристика горных пород.

8. Петрографическая оценка породы на основе макро-и микроскопического описания приводится следующим образом: минеральный состав — главные породообразующие минералы по степени убывания их количественного содержания (в некоторых случаях в скобках приводится процентное содержание), далее вторичные минералы и примеси; цвет: яркость (светлый, темный), основной цвет и его оттенки; структура: тип структуры, размер зерен, характер и тип заполнителя; текстура: слоистость, напластование, сланцеватость (флюидальные, ламинарные текстуры), микроскладчатость и др.; изменения: общая степень изменений (выветренность, гидротермальные изменения и др.); микротрещины, залеченность трещин.

9. Физико-механические свойства приводятся в таблице в виде средних значений показателей:

плотность скелета γ_s (г/см³), определенная пикнометрическим методом;

плотность породы в сухом состоянии γ_d (г/см³), определенная гидростатическим взвешиванием;

пористость n (%), определенная расчетом из значений γ_s и γ_d по формуле: $n = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) \cdot 100$; водопоглощение K_w (%), опре-

деленное как отношение веса воды, поглощенной породой (погруженной в дистиллированную воду при нормальном атмосферном давлении и температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ до стабилизации веса), к весу сухой породы, выраженное в процентах по формуле; $K_w = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100$, где M_1 — вес сухой породы (г); M_2 — вес водонасы-

щенной породы при постоянном весе (г);

скорость распространения упругих волн (скорость распространения продольных ультразвуковых волн v_p (м/с), определенная в трех взаимно перпендикулярных направлениях (x, y, z) на опытных образцах в форме кубика с длиной грани 5 см;

прочность вдавливания (твердость) по Шрейнеру — (МПа), определенная вдавливанием стержня цилиндрической формы, заканчивающегося срезанным конусом с гладкой поверхностью $S = 2 \text{ мм}^2$. Прочность вдавливания определяется по формуле:

$R_s = \frac{P}{F}$, где P — нагрузка, F — площадь стержня.

Измерения проводятся на образцах в форме кубика с длиной грани 5 см в трех взаимно перпендикулярных направлениях (x , y , z) по пяти измерениям;

сопротивление одноосному сжатию R_c (МПа), определенное на опытных образцах (цилиндрах диаметром 48 мм и отношением высоты к диаметру 1:1 и кубиках с длиной грани 5 см) в трех взаимно перпендикулярных направлениях (x , y , z); скорость нагружения постоянная ($0,7 \text{ МПа} \cdot \text{с}^{-1}$); приводится сопротивление одноосному сжатию, определенное на опытных образцах после высыхания R_{c_1} , после водонасыщения R_{c_2} и после замораживания R_{c_3} (25 циклов замораживания при температуре -20° и размораживания при температуре $+20^\circ$);

коэффициент размягчения K_1 рассчитывается по значениям R_{c_1} и R_{c_2} по формуле: $K_1 = \frac{R_{c_1}}{R_{c_2}}$; коэффициент морозостойкости K_2 оп-

ределяется по формуле: $K_2 = \frac{R_{c_1}}{R_{c_2}}$;

сопротивление непрямому растяжению R_t (МПа), определенное на образцах в форме призмы; давление передается на образец через два параллельных стержня диаметром 10 мм. При этом сила, сконцентрированная в двух параллельных полосах внутри образца, трансформируется в растягивающее напряжение, в результате чего происходит раскалывание образца; сопротивление растяжению определяется расчетом максимальной нагрузки в момент разрушения ($P_{\text{макс}}$) и сечения образца F по формуле: $R_t = \frac{P_{\text{макс}}}{F}$ (МПа)

Динамический модуль упругости E_d (МПа) определяется по скорости прохождения продольных ультразвуковых волн по формуле:

$$E_d = v_p^2 \cdot \gamma \cdot \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{1-\mu} \text{ (МПа)}.$$

Деформационные опыты проводились в двух циклах нагружения с применением автоматической регистрации. В качестве опытных образцов применялись цилиндры диаметра 48 мм (в порядке исключения призмы 50×50 мм) с высотным отношением 1:2. По деформационным диаграммам определялись:

статический модуль упругости E_c (МПа) по второй ветви разгрузки при напряжении, отвечающем $1/2 R_{c_{\text{макс}}}$;

статический модуль деформации E_o (МПа), рассчитанный по секущей, проходящей через начало кривой и точку, отвечающей $1/2 R_{c_{\text{макс}}}$;

коэффициент Пуассона μ рассчитывается по значениям поперечных ε_x и продольных ε_z относительных деформаций при $1/2$

$R_{\text{смакс}}$ по формуле: $\mu = \frac{e_x}{e_z}$.

10. Диграмма деформации и диаграмма прочности.

Рабочая деформационная диаграмма. В атласе проводится характерная рабочая диаграмма зависимости относительной продольной деформации ϵ (%) от напряжения σ (МПа). На диаграмме приводятся значения сопротивления одноосному сжатию R_c (МПа), модуля деформации E_0 (МПа), модуля упругости E_c (МПа) и коэффициента Пуассона μ .

Паспорт прочности. Приводится огибающая кругов Мора — предельного напряжения для средних значений прочности на одноосное сжатие R_c (МПа) и сопротивления непрямоугольному растяжению $R_{\text{н}}$ (МПа) по М. И. Койфману (1963). С паспорта графически определено сцепление c (МПа) и угол трения φ .

IV. Кодированная запись характеристики массива, основных свойств породы и поверхностей механической дисконтинуальности.

11. Таблица, представляющая набор данных о массиве, выраженный простой формой записи в виде условных буквенных или цифровых знаков следующим образом:

а) тип массива горных пород, выраженный типом блочности (различаются: глыбовый, плитчатый, призматический, кубический или ромбический, столбчатый, веерообразный, складчатый, флишобразный, шарообразный, массивный;

б) код массива горных пород, выраженный пяти-, шестизначной записью следующим образом:

первый знак (буква или пара букв) обозначает литологический тип породы; применяемые символы приведены на рис. 9; для обозначения различных модификаций литологических типов массива флишовидное чередование слоев f , складчатые участки массивов s или выветрелые шарообразные блоки o (Матула, Холцер, 1978) вводятся соответствующие буквенные индексы f , s , o , которые записываются перед кодом литологического типа породы, например ФР — флишвидный песчаник;

второй знак (номер) обозначает тип блочности (на рис. 9 тип 0, 1, 2, 3⁺, 3^x, 4);

третий знак (номер) обозначает размерный параметр блочности, определенный 5 категориями преобладающего расстояния между трещинами (в см); в кодированной записи отдельные номера обозначают представительный размер блоков: 1 — больше чем 150 см; 2 — 150—75; 3 — 75—25; 4 — 25—10, 5 — меньше чем 10 см;

четвертый знак обозначает коэффициент трещинной пустотности; под этим понятием подразумевается отношение объема пространства трещин (заполненного воздухом, водой, песчаным или глинистым материалом) к объему изучаемой части массива; в кодированной записи его можно выразить следующим образом: 1 — меньше чем 0,3% (трещинная пустотность очень низкая), 2 — 0,3—2% (низкая); 3 — 2—5% (средняя); 4 — 5—15% (высокая), 5 — больше чем 15% (очень высокая);

пятый знак характеризует степень заполнения трещин материалом; в кодovou запись вводится индекс заполнителя трещин из табл. 13 в пятистепенной классификации 1—5;

в) код свойств породы выражается записью категории (1 до 5) следующих свойств: плотность породы γ_d , пористость n , сопротивление одноосному сжатию R_c , сопротивление растяжению R_t , статический модуль деформации E_o , коэффициент Пуассона μ , степень выветрелости B_c , выраженная качественным описанием; приведенные свойства кодируются на основе распределения в соответствии с табл. 12.

Таблица 12

Степень выветрелости горных пород

Показатель	Здоровая	Частично здоровая	Частично выветрелая	Слабовыветрелая	Сильновыветрелая
γ_d (г/см ³)	<1,80	1,80—2,20	2,20—2,55	2,55—2,75	2,75
n (%)	<1	1—5	5—15	15—30	30
R_c (МПа)	<25	25—50	50—120	120—235	235
R_t (МПа)	<5	5—10	10—15	15—20	20
E_o (МПа·10 ³)	<8	8—20	20—50	50—80	80
μ	<0,15	0,15—0,20	0,20—0,30	0,30—0,35	0,35

В случае, когда некоторые из свойств не определились вместо отсутствующих номеров кода вставляется знак «—» (например, 15—5—1), чтобы всегда точно выдерживалась последовательность кодовой записи. Отдельные свойства пород в таблицах не имеют взаимной корреляционной связи; они представляют только простую пятистепенную классификацию отдельных значений. Последовательность кодов в записи отвечает последовательности свойств, приведенных в табл. 14 в вертикальном направлении;

г) код поверхностей трещиноватости представляет простой способ выражения некоторых параметров дисконтинуальности: первый знак обозначает длину трещины по следующей классификации: 1 — <1 м (очень короткие); 2 — 1—3 м (короткие); 3 — 3—10 м (средней длины); 4 — 10—20 м (длинные); 5 — >20 м (очень длинные);

второй знак обозначает генетический тип трещин;

третий знак обозначает характер материала заполнителя и раскрытие трещины по следующей схеме: з — закрытые; о — открытые, невыполненные; и — глинистый или суглинистый заполнитель; п — песчаный; г — грубозернистый, обломочный; т — тектонический; к — мягкий карбонатный; ж — железистый;

четвертый и пятый знаки — пара номеров обозначает представительный азимут падения системы трещин в сокращенной форме, где двойной номер обозначает, например, 01=10°; 10=100°; 20=200°; 36=360°;

шестой знак обозначает дисперсию азимута падения, где 1 — дисперсия $\pm 5^\circ$; 2 — $\pm 10^\circ$; 3 — $\pm 15^\circ$ и т. д.;

седьмой знак обозначает преобладающий угол падения трещины с допустимым отклонением $\pm 10^\circ$; отдельные знаки обозначают: 1 — 10° ; 2 — 20° ; 9 — 90°

Кодированная запись тектонической дислокации имеет следующую форму:

первый знак Д обозначает генетический тип дисконтинуальности, т. е. дислокации.

второй знак — заполняется по схеме: з — закрытая, о — открытая,

третий и четвертый знаки обозначают азимут падения таким же способом, как при записи трещиноватости;

пятый знак выражает дисперсию азимута падения;

шестой знак обозначает угол падения дислокации тем же способом, как для трещиноватости.

V. Фотографическая документация.

Вторая часть паспортной записи содержит фотографическую документацию, состоящую из фотографий массива горных пород в типичной части обнажения, фотографии представительного шлифа с обозначением масштаба увеличения и информации о взаимном положении николей (параллельное //; скрещенные X, без применения николей O) и микрофотографии образца породы.

На фотографии массива границами показаны однородные участки (т. е. массивы однотипной блочности) и каждый из них обозначен соответствующим кодом (по п II, б).

АТЛАС МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

1. Ческа Брезово

1. Карьер в юго-восточной части Вспорского рудогорья, недействующий. Размер массива 100×40 м, экспозиция западная. Рельеф пологий, со слабой эрозионной расчлененностью
2. Массив интрузивных пород геосинклинального типа
3. Ф: варисских гранитоидов, К: гранитов; ЛТ: лейкократовый гранит (С)
4. Массив состоит из блоков неправильной и призматически-кубической формы. Четко выражены три системы тектонических трещин. Трещины открытые, без заполнения, редко с песчаным и древесным заполнителем. Низкая, реже средняя степень разуплотнения массива. Массив неоднородный по фоме и размерам блоков Порода с поверхности выветрелая Массив не обводнен

5

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
γ'3×3	T ₁	70±10	80	60±30	10
	T ₂	360±20	60	25±10	5
	T ₃	120±10	70	40±20	1

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
γ'3×3	0,5±0,4	ровная	0,5	—
	0,2±0,1	»	0,5	—
	0,1±0,1	»	0,5—0,7	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл. макс, мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
γ'3×3	60×25×40	—	—	—
	90×35×60	2—5	4	100—90
	30×15×20	—	—	—

8. Гранит лейкократовый; минеральный состав: кварц катаклазированный, иногда образует зернистый агрегат; ортоклаз и микроклин преобладают над плагиоклазами, которые сильно серицитизированы; мусковит, реже биотит; серицит; структура мелкозернистая, текстура массивная; цвет светло-серый; порода слабыветрелая

Оси	γ_s	γ_d	λ	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	3180	—	480	—	—
y	2,65	2,62	0,99	0,49	3130	—	380	—	—
z	—	—	—	—	3050	—	390	195	160

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	27,5	—	—	—
y	—	—	—	—	—	26,5	—	—	—
z	150	0,82	0,77	12	—	25,0	51,5	31,5	0,2

Тип массива	Код мас сива	Код гор ной породы	Код трещиноватости		
-------------	-----------------	-----------------------	--------------------	--	--

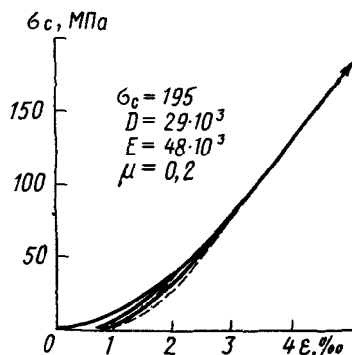
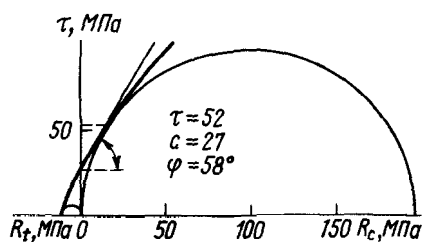
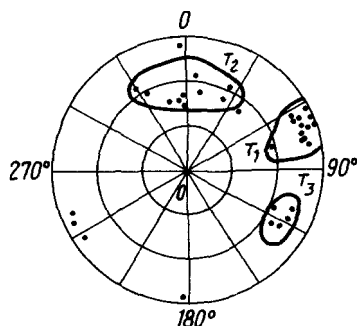
Полиэдрические и
призматические
блоки

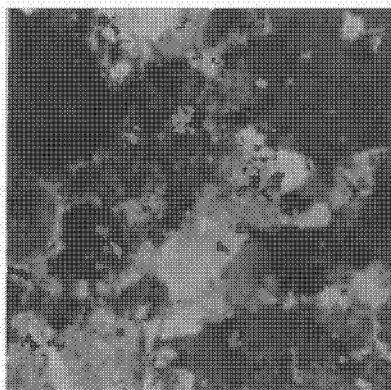
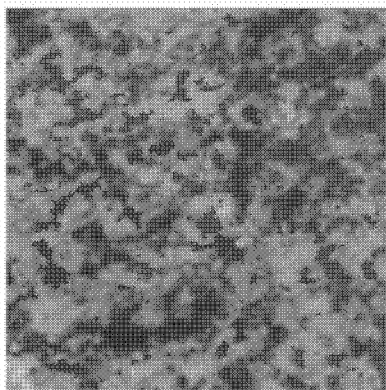
$\gamma' 3 \times 331$ 4143332

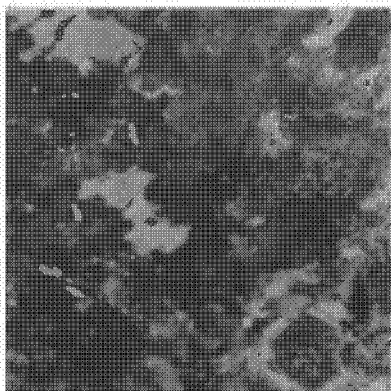
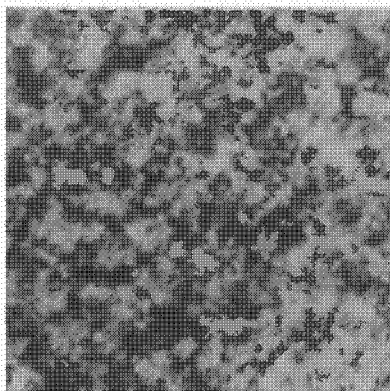
2то 0728

2то 3646

1то 1227







2. Лесковец

1. Карьер в западной части Вспорского рудогорья, недействующий. Размер обнажения 100×80 м. Рельеф слабо расчленен, склоны пологие, экспозиция южная.
2. Массив интрузивных пород геосинклинального типа; батолит.
3. Ф: гранитоидов; К: гранодиоритов; ЛТ: биотитовый гранодиорит (С).
4. Массив состоит из неправильных призматических блоков. Четко выделяются три системы тектонических трещин. Трещины открытые с глинистым и песчаным заполнителем. Степень разуплотнения средняя. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Породы в сохранном состоянии. Продукты выветривания наблюдаются только по трещинам. Массив не обводнен.

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\gamma' 83^{+2}$	t_1	100 ± 15	70	100 ± 50	8 хх
	t_2	15 ± 15	45	50 ± 25	1 ут
	t_3	290 ± 15	60	80 ± 25	3 ут

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\gamma' 83^{+2}$	35 ± 10	ровная	0,1—1	песч.-глинистый
	2 ± 1	ступенчатая	0,5—5	глинистый
	2 ± 1	ровная	0,1—2	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотистости, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\gamma' 83^{+2}$	$100 \times 50 \times 80$	—	—	—
	$180 \times 100 \times 100$	3,0	2	10—35
	$60 \times 50 \times 50$	—	—	—

8. Гранодиорит биотитовый, минеральный состав: кварц катаклазированный с волнистым погасанием, плагиоклазы серицитизированные, ортоклаз и микроклин каолинизированные, биотит хлоритизированный, серицит, хлорит, структура равномерно-мелкозернистая, текстура массивная; цвет серый с зеленым налетом; порода слабовыветрелая.

9.

Оси	γ'_s	γ_d	μ	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	3700	—	345	—	—
y	2,73	2,66	2,42	0,73	3450	—	355	—	—
z	—	—	—	—	3750	—	325	165	105

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	37,5	—	—	—
y	—	—	—	—	—	32,2	—	—	—
z	85	0,64	0,51	12,5	—	38,5	40,0	33,2	0,20

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

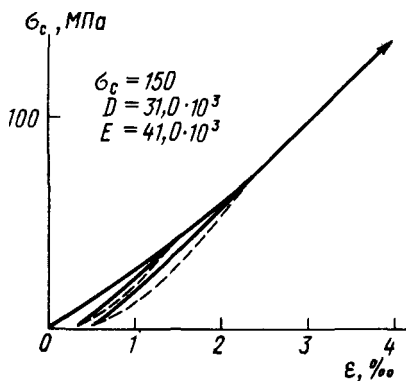
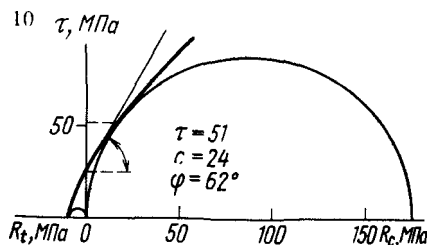
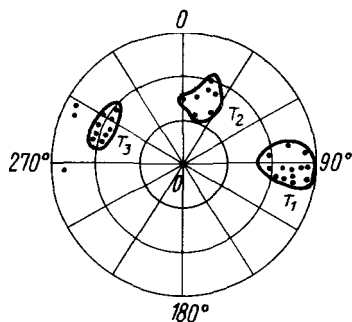
Неправильные
призматические
блоки

$\gamma' \delta 3^+ 232$ 4244332

3тп 1047 1тп 0265

2тп 2946

6.



3. Смерковца

- 1 Карьер в восточной части, недействующий. Размер обнажения 30×15 м. Крутые склоны глубокой эрозионной долины
- 2 Массив изверженных пород геосинклинального типа
- 3 Ф гранитоидов, К гранодиоритов; ЛТ: биотит — олигоклазовый гранодиорит (С)
- 4 Массив представлен крупными блоками неправильной формы, образованный тремя системами тектонических трещин. Трещины открытые без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Породы сохранены. Выветривание наблюдается только по трещинам. Массив не обводнен

5

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
γ' 63×1	T ₁	190±10	55	200±100	10 хх
	T ₂	315±20	60	200±80	2 хх
	T ₃	70±20	75	160±40	20 хх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
γ' 63×1	0,0	ровная	1,0	—
	0,5—1,0	кривая	0,5	—
	0,5—1,5	ровная и кривая	0,1—3	—

7.

Тип массива	Блочность см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
γ' 63×1	200×200×160	—	—	—
	300×280×200	0,3—2	1—2	100—90
	100×120×120	—	—	—

- 8 Гранодиорит биотит олигоклазовый, минеральный состав: плагиоклазы (альбит, олигоклаз), серицитизированные, микроклин, у кварца наблюдается волнистое погасание, биотит, реже мусковит, серицит, структура равномерно-среднезернистая, текстура массивная, цвет серый с зеленым налетом, порода слабоветрелая

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4670	—	390	—	—
y	2,75	2,73	0,63	0,20	4465	—	420	—	—
z	—	—	—	—	4950	—	440	220	200

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	17,1	—	60,0	—	—	—
y	—	—	—	—	—	63,0	—	—	—
z	200	0,91	0,91	—	—	67,7	71,5	62,0	0,20

11

Тип массива	Код массива	Код гор- ной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	------------------------	--------------------

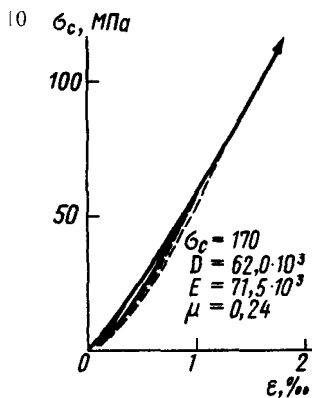
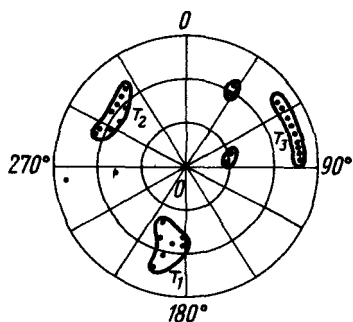
Полиэдрические
блоки

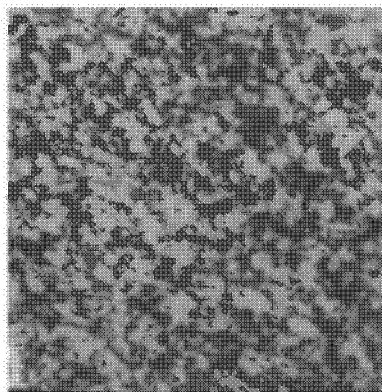
$\gamma' 83 \times 121$ 4143432

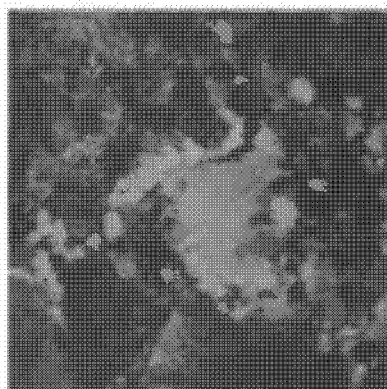
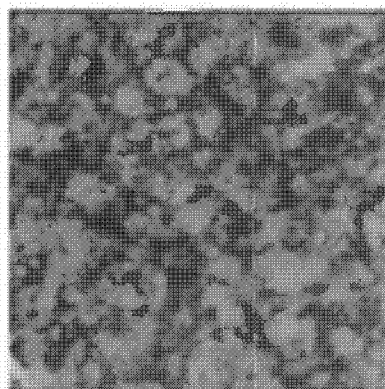
5тз 1926 2то 3146

5то 0748

6.







4. Доброч

- Карьер в центральной части Вспорского Рудогорья. Размер обнажения 30×15 м, экспозиция северо-западная. Склоны крутые, рельеф интенсивно расчлененный, с активно развитыми процессами эрозии и деиудации
- Массив интрузивных пород, геосинклинального типа; батолит
- Ф: грантоидов, К: синтектических гранитоидов; ЛТ: синтектический гранодиорит (С)
- Массив имеет крупноблоковое строение, блоки в форме неправильных призм. Выделяются три системы тектонических трещин и дислокаций одинаковой ориентировки. Степень разуплотнения низкая. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Трещины открытые с песчано-глинистым заполнителем. Породы слабыветрелые. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\gamma'63^\times 1$	T ₁	320 ± 20	50	200 ± 100	8 хт
	T ₂	240 ± 15	70	100 ± 20	2 тт
	T ₃	15 ± 15	70	100 ± 20	2 тт
	d ₁	208	30	—	20 хх
	d ₂	326	60	—	20 хх
	d ₃	360	65	—	20 хх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\gamma'63^\times 1$	0,0—0,02	ровная	1,5	глинистый
	0,0—0,01	»	1,5—2	»
	0,0—0,01	»	1,5—2	ожелезненный
	0,05—0,1	»	< 0,1	песчано-серицитовый
	0,05—0,1	»	< 0,1	песчано-глинистый
	0,05—0,1	»	< 0,1	»

7

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотистости, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\gamma'63^\times 1$	$200 \times 100 \times 10$	—	—	—
	$300 \times 120 \times 120$	0,3—2	2	35—65
	$100 \times 80 \times 80$	—	—	—

- Гранодиорит синтектический; минеральный состав: кварц с волнистым погасанием, плагиоклазы (альбит, олигоклаз) интенсивно серицитизированы и каолинизированы микроклин, биотит хлоритизированный, вторичные минералы — серицит и хлорит; структура псевдогранитовая, среднезернистая; текстура массивная; цвет — серый с зеленым налетом, горюда слабо измененная

9

Оси	γ_s	γ_z	π	K_x	ν_p	ν_s	R_c	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4690	—	390	—	—
y	2,71	2,70	0,51	0,22	4800	—	410	—	—
z	—	—	—	—	4560	—	400	220	180

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_σ	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	59,4	—	—	—
y	—	—	—	—	—	62,3	—	—	—
z	170	0,82	0,77	9,5	—	56,2	64,1	64,1	0,26

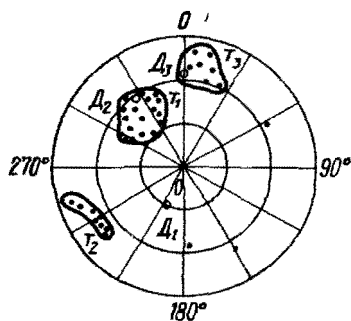
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

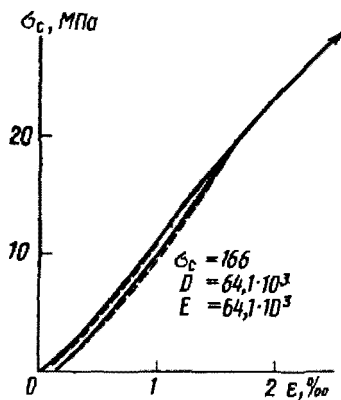
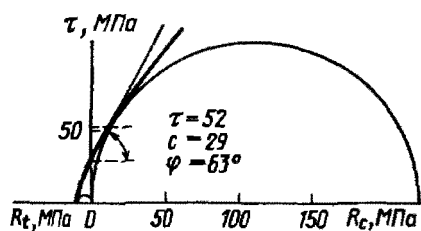
Полиэдрические
блоки

$\gamma' 63^\circ 123$ 4142432 3тг 3245 2тг 2437 2тж 0137 до 2003 до 3306 до 3606

6



10.



5. Апатиты I

1. Действующий карьер в центральной части массива Пильгуярви Печенегского рудного района. Рельеф холмистый, сильно расчлененный, экспозиция южная
2. Массив магматических пород типа пластовой интрузии
3. Ф: габроидов; К: габбровый; ЛТ: габбро (PR₂)
4. Массив состоит из плитчатых блоков, образованных одной системой первичных вертикальных трещин и двумя более пологими системами тектонических трещин. Трещины открытые без заполнителя и с карбонатно-хлоритным заполнителем. Степень разуплотнения низкая. Массив достаточно однородный по размерам блоков и форме. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
v23	п	320 ± 20	80	40 ± 20	3—5
	т ₁	40 ± 20	50	40 ± 10	< 1
	т ₂	220 ± 20	50	15 ± 10	< 1

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
v23	0,8 ± 0,7	ломаная	0—1	карбонат-хлорит
	0,5 ± 0,5	кривая	0—1	»
	0,5 ± 0,5	»	0—1	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
v23	25 × 40 × 30 35 × 60 × 40 10 × 30 × 25	~ 2	2	—

8. Метагаббро, мелкозернистое, чаще среднезернистое, минеральный состав: альбит, эпидот, авгит, хлорит; первичная ткань породы нацело замещена агрегатами хлорита, эпидота, структура габбровая, текстура массивная; цвет серо-черный с зеленоватым оттенком

9

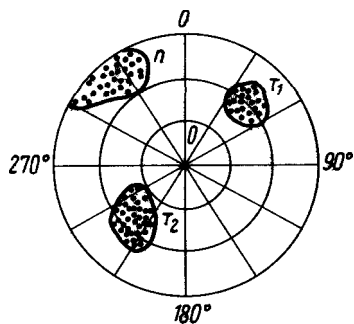
Оси	γ_s	γ_d	n	K_1	ν_p	ν	R	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	6150	—	—	—	—
y	3,10	3,07	0,97	0,06	6150	—	—	—	—
z	—	—	—	—	6150	—	—	228	205

Оси	R_{t3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,90	—	14,2	—	99,4	—	—	0,28

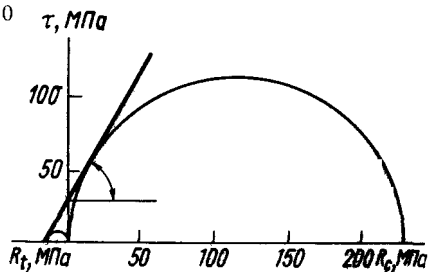
11

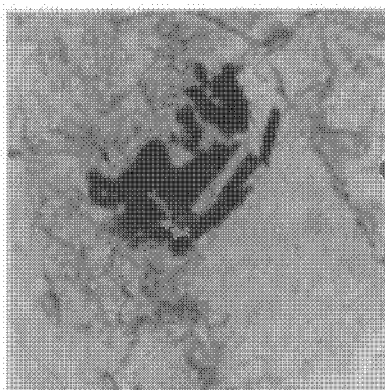
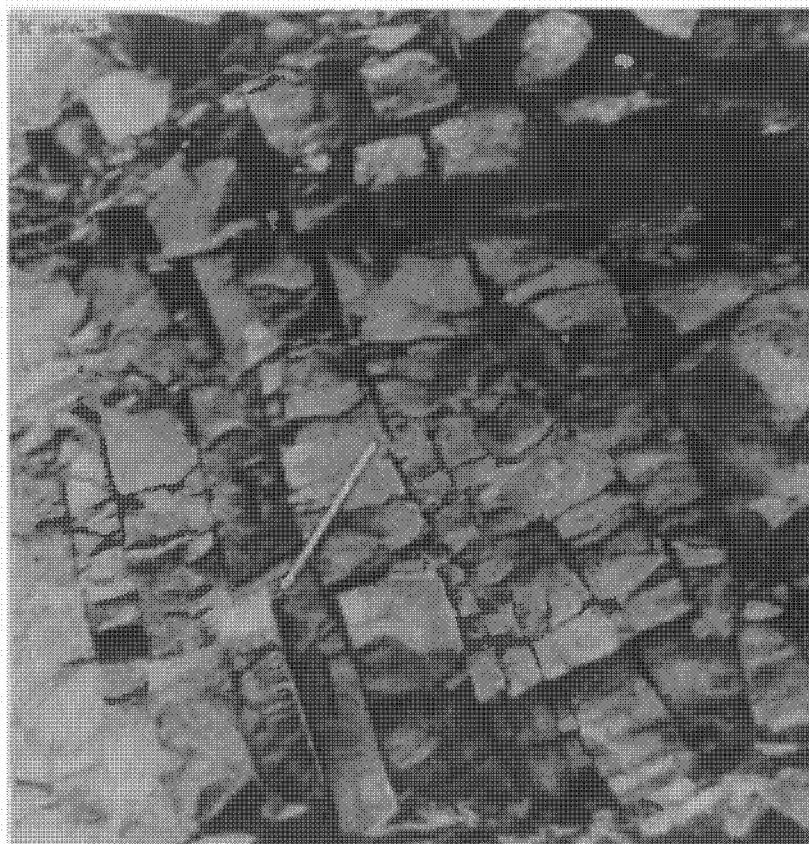
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Плитчатые блоки	v 2325	5143 31	3пх3248	1то0445	1то2245

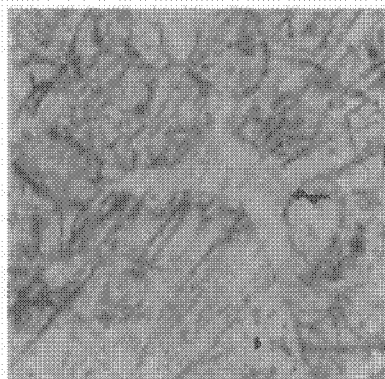
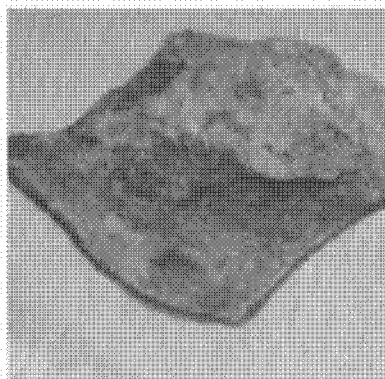
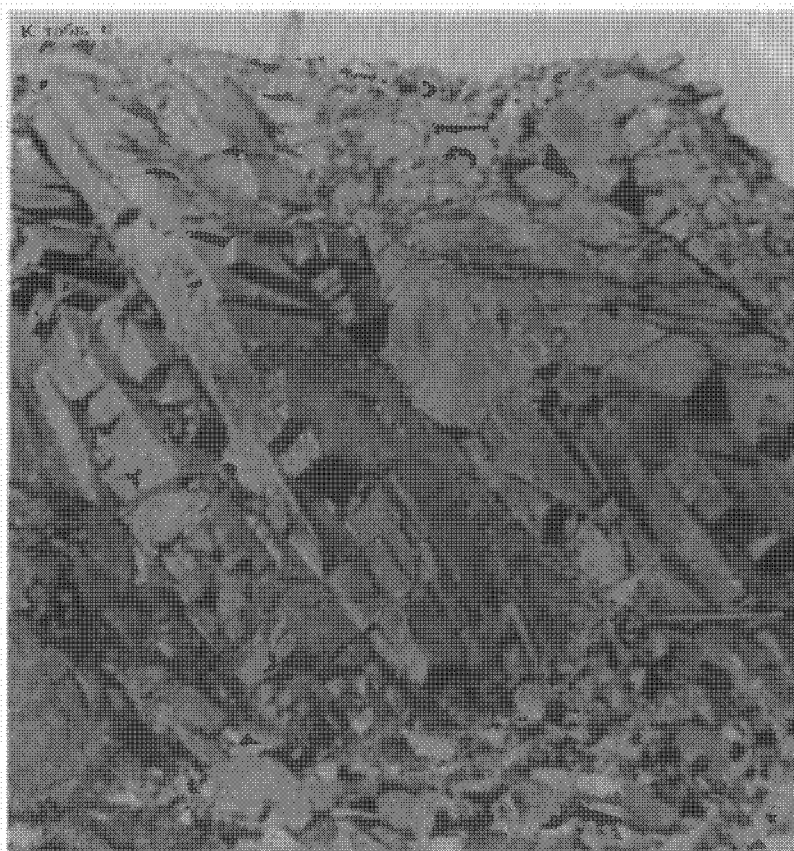
6



10







6. Апатиты III

1. Действующий карьер в центральной части массива Пильгуйarvi Печенегского рудного района. Рельеф холмистый, сильно расчлененный. Экспозиция южная
2. Массив магматических пород типа пластовой интрузии
3. Ф: гипербазитовая, К: габбро-перидотитовый; ЛТ: пироксенит (PR₂)
4. Массив состоит из плитчато-призматических блоков. Выражены одна главная система трещин напластования и две системы тектонических трещин. Трещины закрытые и открытые, без заполнителя и выполненные хлоритом, серпентином. Степень разуплотнения низкая. Массив достаточно однородный по размерам и форме блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
v 12	n	40 ± 20	45	550 ± 25	> 10
	T ₁	130 ± 5	85	60 ± 20	3
	T ₂	215 ± 15	65	75 ± 30	> 10

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель	
		форма	шероховатость, мм		
v 12	0	прямая	0—1	хлоритовый	серпентиновый
	20 ± 20	кривая	0—3	»	»
	10 ± 10	ступенчатая	0—3	»	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс. мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
v 12	40 × 80 × 60 80 × 200 × 100 30 × 60 × 40	1,6	0,3—3	1,2

8. Пироксенит мелко-, среднезернистый, равномерно-зернистый; минеральный состав: авгит, плагиоклаз, хлорит; структура габбровая; текстура массивная; цвет темно-серый до черного с желтовато-зеленоватым оттенком

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	6440	—	—	—	—
y	3,13	3,10	0,96	0,06	6440	—	—	—	—
z	—	—	—	—	6440	—	—	245	210

11

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,90	—	18	—	105	—	—	0,29

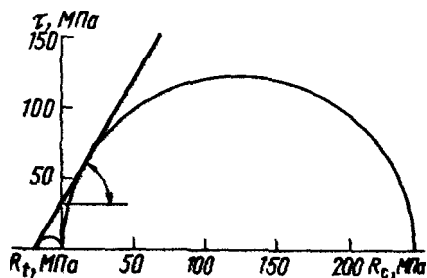
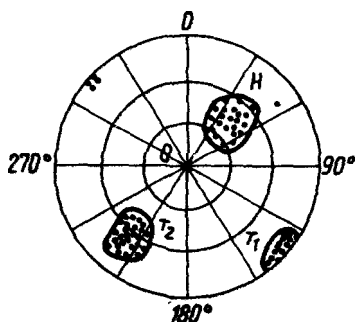
6

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
-------------	-------------	-------------------	--------------------	--	--

Плитчато-
призматические
блоки

v 1225 5154—31

4нз0445 2то1319 4то2137



7. Апатиты V

1. Действующий карьер в центральной части массива Пилыгуярви Печенгского рудного района. Рельеф холмистый, сильно расчлененный. Экспозиция южная
2. Массив магматических пород типа пластовой интрузии
3. Ф: гипербазитовая; К: габбро-перидотитовый; ЛТ: перидотит (PR₂)
4. Массив представлен блоками призматической формы. Выражены две системы плоскостей первичной отдельности и третья система тектонических трещин. Трещины открытые и закрытые, выполнены хлоритом, серпентином. Низкая степень разуплотнения. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин, м
v 23	p ₁	50 ± 20	50	45 ± 30	20 хх
	p ₂	220 ± 20	70	75 ± 50	15 хх
	t ₁	130 ± 5	80	50 ± 40	< 1 тт
	t ₂	320 ± 20	75	35 ± 30	< 1 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель	
		форма	шероховатость, мм		
v 23	0	волнообразная	0—0,5	хлоритовый	серпентинитовый
	0,1 ± 0,1	»	0—0,5	»	»
	5,0 ± 5,0	»	0,1—2,0	»	»
	3 ± 2	»	0,1—2,0	»	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
v 23	15 × 70 × 30	—	—	—
	75 × 130 × 40	1,5	1—3	1,2
	20 × 25 × 20	—	—	—

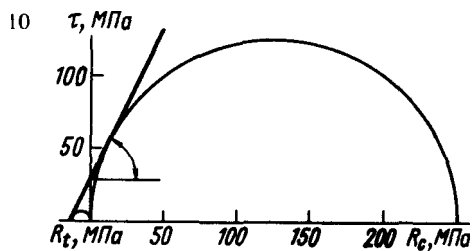
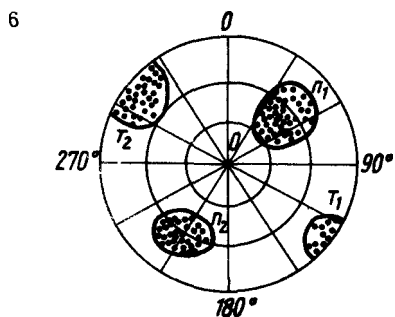
8. Перидотит серпентинизированный, мелко-, среднезернистый; минеральный состав: авгит, титано-магнетит и магнетит, оливин, хризотил-лизардит; структура петельчатая; текстура массивная; цвет темно-серый до черного, с зеленоватым оттенком

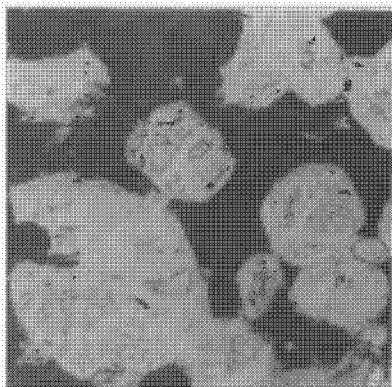
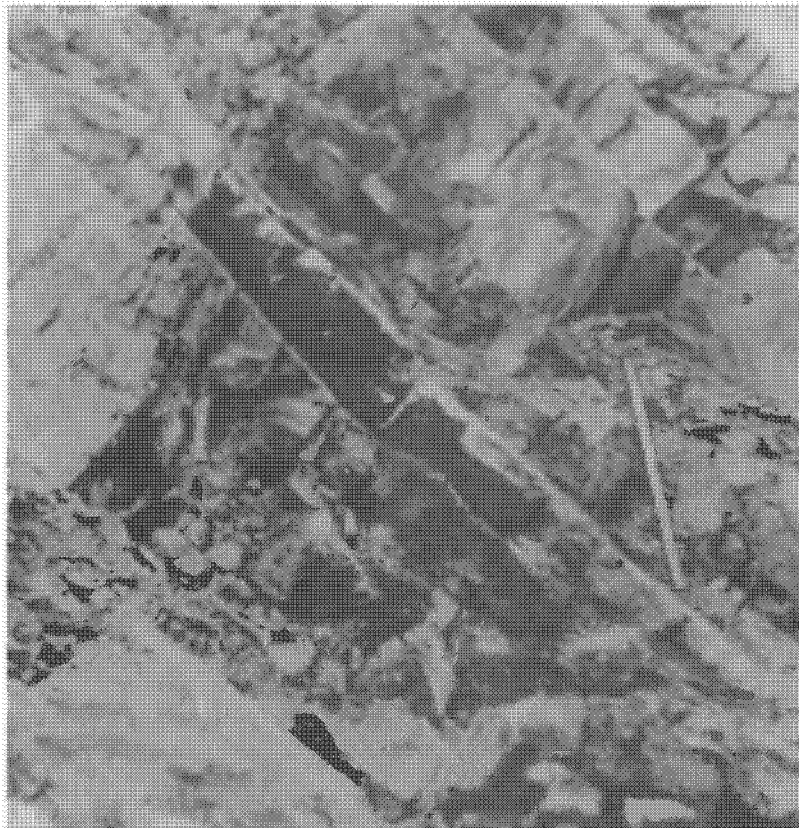
9	Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	y	2,89	2,86	1,04	0,04	—	—	—	—	—
	z	—	—	—	—	5700	—	—	250	240

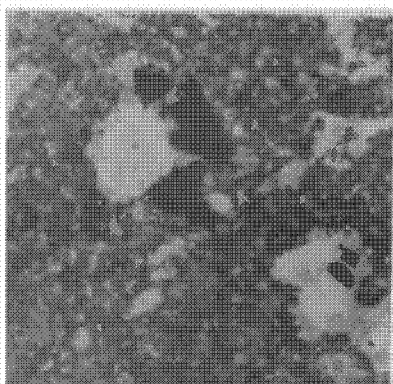
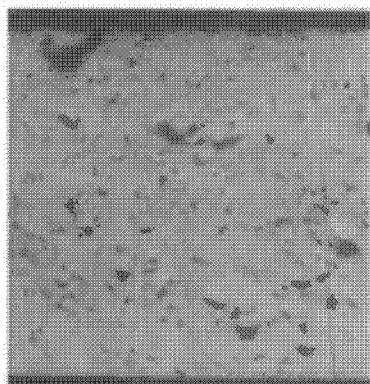
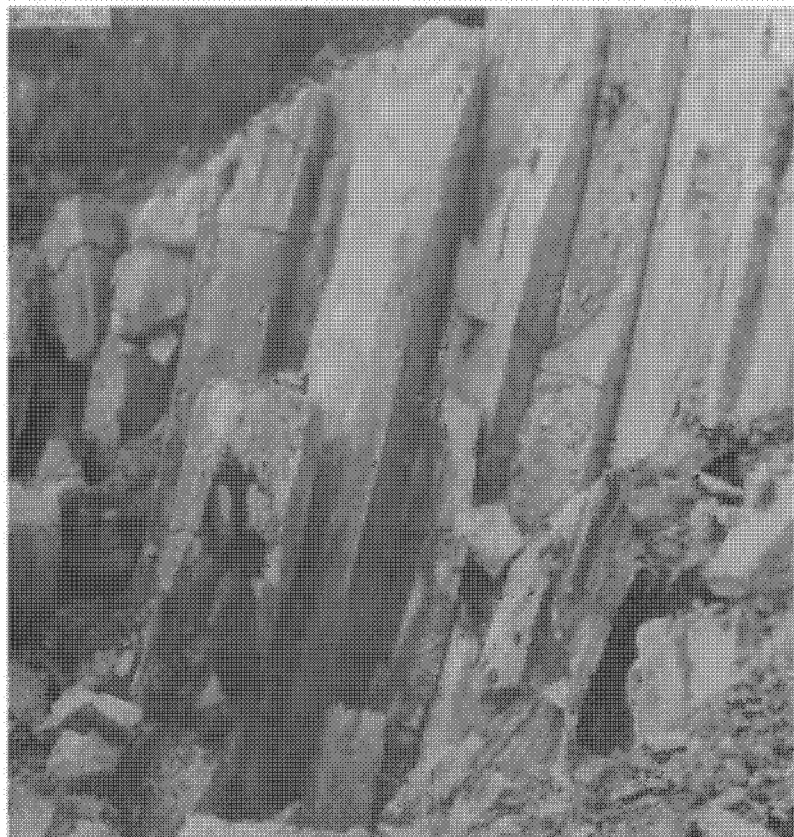
Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,95	—	12,5	—	89,8	—	—	0,25

11	Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
	Призматические блоки	v2325	5253—31	5пз 0545	4пз 2247	1то 1318 1то 3247

Примечание По данным В Н Мазаника







8. Старая Кремнишка

1. Действующий карьер в области Кремнических гор. Размер обнажения 80×20 м, экспозиция восточная. Склоны крутые, рельеф с глубоким эрозийным врезом.
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа.
3. Ф: вулканических пород, К: риолитовый; ЛТ: риолит (N_1).
4. Массив состоит из правильных призматических блоков. Выделяются две системы трещин первичной отдельности с большой протяженностью трещин. Трещины закрытые без заполнителя. Разуплотнение минимальное. Массив однородный по форме и размерам блоков. Породы сохранные. Массив не обводнен.

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
λ 23	p_1	155 ± 10	80	35 ± 15	20 хх
	p_2	70 ± 20	85	35 ± 15	20 хх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
λ 23	$0,3 \pm 0,2$	ровная	0,1—2	—
	$0,3 \pm 0,2$	»	0,1—2	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс. мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
λ 23	$35 \times 35 \times 100$	—	—	—
	$45 \times 40 \times 150$	0,3—2	5	100—90
	$20 \times 25 \times 75$	—	—	—

8. Риолит; минеральный состав: плагиоклазы, биотит, кварц, вулканическое стекло; структура порфировая, среднезернистая; текстура флюидальная, пористая, цвет белый с серым налетом; порода гидротермально измененная.

9.

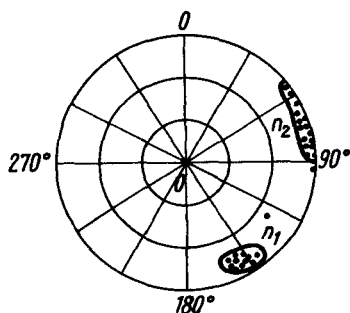
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	3580	—	320	—	—
y	2,47	1,95	19,8	7,55	1980	—	290	—	—
z	—	—	—	—	2130	—	270	67	42

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	25,0	—	—	—
y	—	—	—	—	—	7,1	—	—	—
z	37	0,63	0,55	7,7	—	8,9	13,4	13,4	0,18

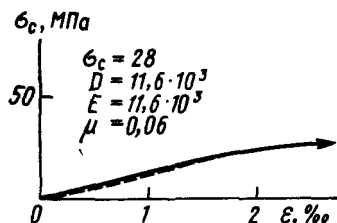
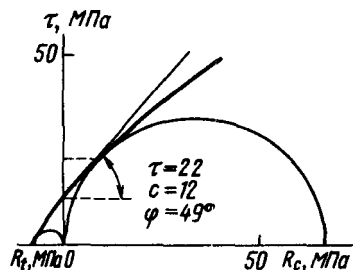
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
Столбчатые блоки	λ 2321	2432222	5пз 1528 5пз 0738

6



10



9. Глины I

1. Карьер в северной части Штявницкого рудогорья, действующий, 100 × 40 м. Склоны крутые с глубоким эрозионным врезом, экспозиция восточная
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканических пород; К: риолитовый; ЛТ: риолит (N₁)
4. Массив состоит из блоков неправильной призматической и столбчатой форм. Выделяются три-четыре системы трещин с большой дисперсией в ориентировке. Большая степень разуплотнения. Трещины открытые, без заполнителя. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Породы сохранные. В трещинах наблюдаются изменения под влиянием процессов выветривания. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
λ 3 + 3	т ₁	295 ± 20	80	50 ± 20	5—10 тт
	т ₂	145 ± 10	80	40 ± 10	5—8 хх
	т ₃	55 ± 30	80	70 ± 15	1—3 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость мм	
λ 3 + 3	0,5 ± 0,4	кривая	0,1	—
	0,8 ± 0,4		0,1	—
	0,1 ± 0,1	ровная	0,1	—

7.

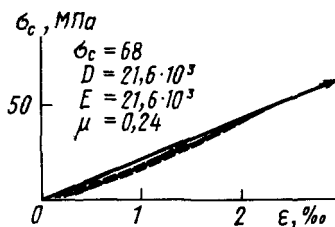
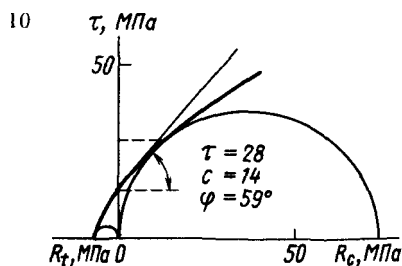
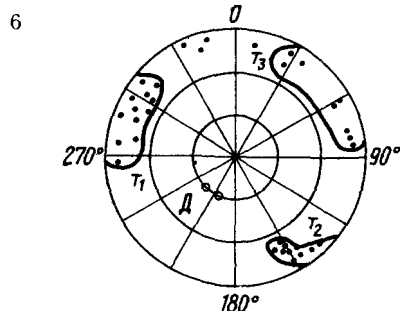
Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
λ 3 + 3	50 × 40 × 70	—	—	—
	70 × 50 × 85	5—15	9	100—90
	30 × 30 × 55	—	—	—

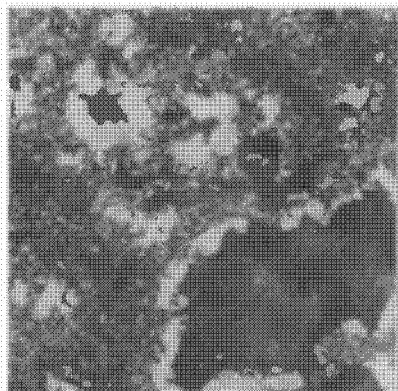
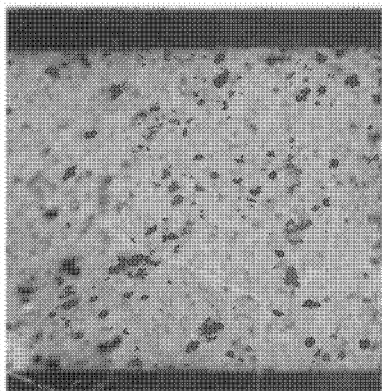
- 8 Риолит; минеральный состав: в скрытокристаллической основной массе — биотит, в незначительном количестве полевые шпаты, поры частично или целиком заполнены халцедоном; структура порфировая; текстура пористая, псевдоминдалекаменная, локально-флюидальная; цвет розоватый; порода не измененная

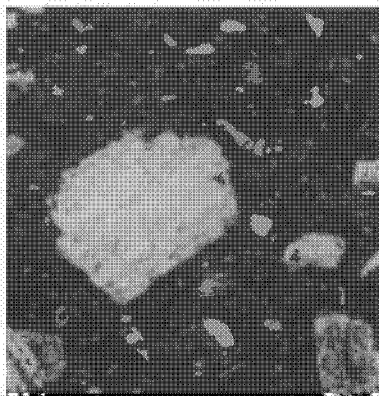
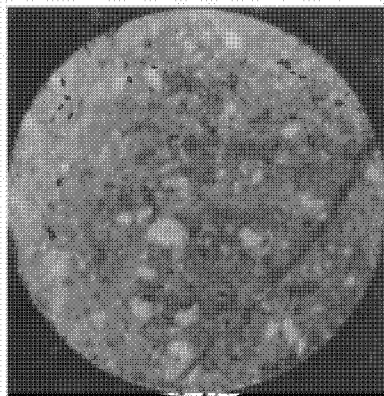
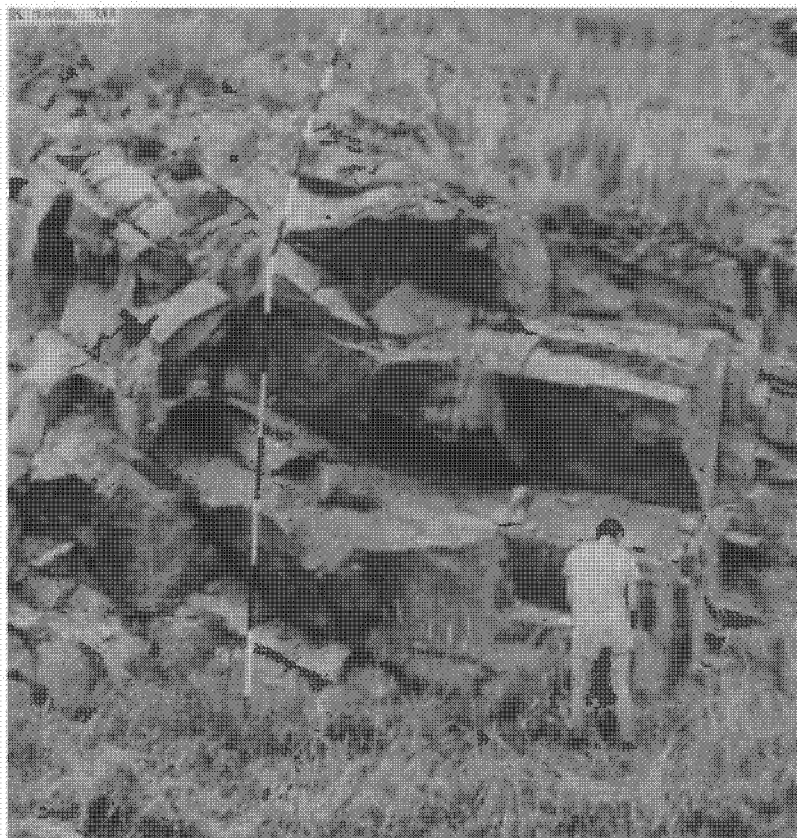
Оси	γ	γ_d	n	K_d	ν_p	ν	R_s	R_{i_1}	R_{i_2}
x	—	—	—	—	3500	—	220	—	—
y	2,60	1,95	25,34	8,45	3460	—	190	—	—
z	—	—	—	—	3480	—	150	75	70

Оси	R_{c_3}	K_1	K_2	R_{i_1}	R_{i_2}	E_d	I	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	23,8	—	—	—
y	—	—	—	—	—	23,3	—	—	—
z	65	0,93	0,87	5,3	—	23,6	21,4	21,4	0,21

Тип массива	Код массива	Код гор- ных пород	Код трещиноватости		
Призматические блоки	λ 3+ 341	2432331	2то 2948	3то 1521	2то 0668







10. Козельник

- 1 Участок дороги на северной окраине Штявницких гор. Рельеф расчлененный, с глубоким эрозийным врезом. Склоны крутые. Размер массива 50×5 м, экспозиция восточная
- 2 Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканических пород; К: андезитовый, ЛТ: амфибол-биотитовый андезит (N₁)
4. Массив состоит из кубических и призматических блоков. Выделяются одна четко выраженная система трещин первичной отдельности и одна менее четко выраженная. Трещины закрытые, без заполнителя. Массив слабо разуплотненный. По форме и размерам блоков массив однородный. Порода слабавыветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\alpha 3+3$	п	145 ± 15	30	65 ± 20	20
	T ₁	355 ± 10	70	50 ± 25	15
	T ₂	270 ± 10	80	130 ± 10	2
	T ₃	160 ± 10	70	40 ± 10	3

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\alpha 3+3$	$0,5 \pm 0,4$	ровная	0,1—1,2	суглинистый
	$0,1 \pm 0,1$	»	0,1—1,5	ожезлененный
	$0,1 \pm 0,1$	волиобразн.	0,1—1,5	»
	$0,4 \pm 0,2$	ровная	0,3—1,0	—

7:

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\alpha 3+3$	$65 \times 50 \times 130$	—	—	—
	$85 \times 75 \times 140$	0,3—2	3—4	100—90
	$45 \times 25 \times 100$	—	—	—

8. Амфибол-биотитовый андезит; минеральный состав: плагиоклаз (лабрадорит, битовинит), амфиболы, биотит, основная масса состоит из плагиоклазов, вулканического стекла, магнетита; структура порфировая; текстура массивная; цвет темно-серый, порода слабавыветрелая

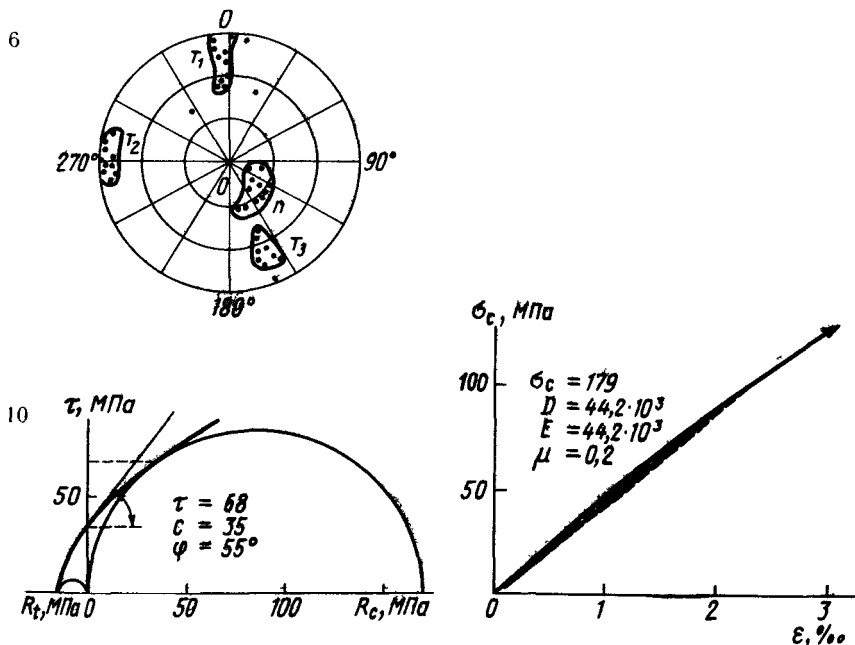
Оси	γ_s	γ_d	γ	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4040	—	360	—	—
y	2,69	2,52	6,62	1,75	4300	—	310	—	—
z	—	—	—	—	4450	—	340	170	145

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	41,1	—	—	—
y	—	—	—	—	—	46,5	—	—	—
z	130	0,85	0,76	12,8	—	50,0	44,2	44,2	0,20

11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Призматические блоки	$\alpha 3+321$	3342323	5пг1533	4тж3527	2тж2728 3то1627

6



11. Девта

1. Карьер в северной части гор Яворис, действующий, размер массива 40×6 м, экспозиция южная Рельеф пологий с глубокими долинами
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканических пород; К: андезитовый; ЛТ: пироксеновый андезит (N₁)
4. Массив состоит из крупных блоков призматической или кубической формы. Одна система трещин первичной отдельности и две системы тектонических трещин. Трещины открытые, без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков С поверхности порода интенсивно выветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещино-новатости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\alpha 3+2$	n	100 ± 15	15	90 ± 25	20 хх
	T ₁	210 ± 20	90	60 ± 20	20 хх
	T ₂	120 ± 20	80	120 ± 30	10 хт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\alpha 3+2$	$0,2 \pm 0,1$	ровная	0,2	ожелезненный
	$0,5 \pm 0,2$	»	0,3—0,5	»
	$0,8 \pm 0,2$	»	0,3—0,5	песчаный

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\alpha 3+2$	$90 \times 60 \times 120$	—	—	—
	$115 \times 80 \times 150$	0,3—2	2—3	90—65
	$65 \times 40 \times 90$	—	—	—

8. Пироксеновый андезит; минеральный состав: плагиоклазы, пироксены, вулканическое стекло; структура порфировая; текстура массивная, цвет серый; порода в сохранимом состоянии

9

Оси	γ	γ_d	ρ	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4800	—	600	—	—
y	2,75	2,64	3,91	0,64	4890	—	650	—	—
z	—	—	—	—	4930	—	650	310	250

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	60,8	—	—	—
y	—	—	—	—	—	63,1	—	—	—
z	220	0,80	0,70	12,7	—	64,1	51,8	49,5	0,18

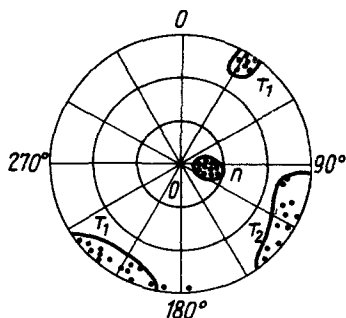
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

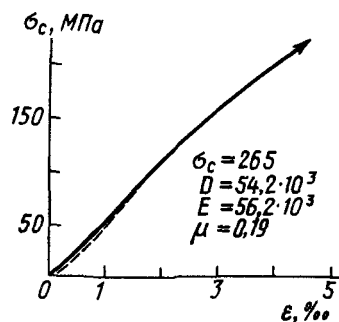
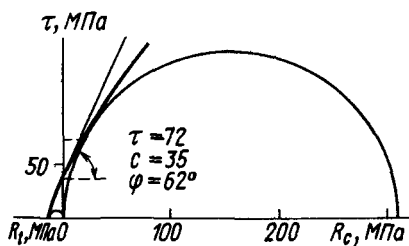
Прямоугольные
призматические
блоки

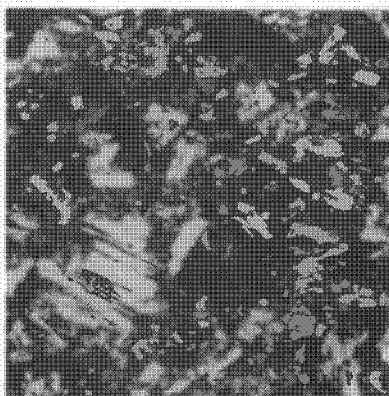
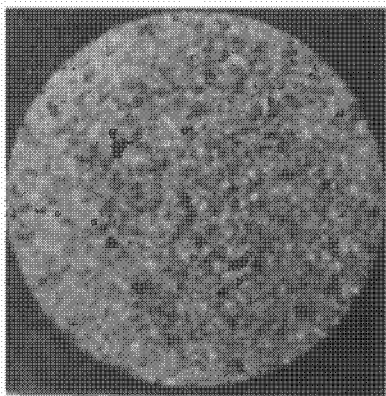
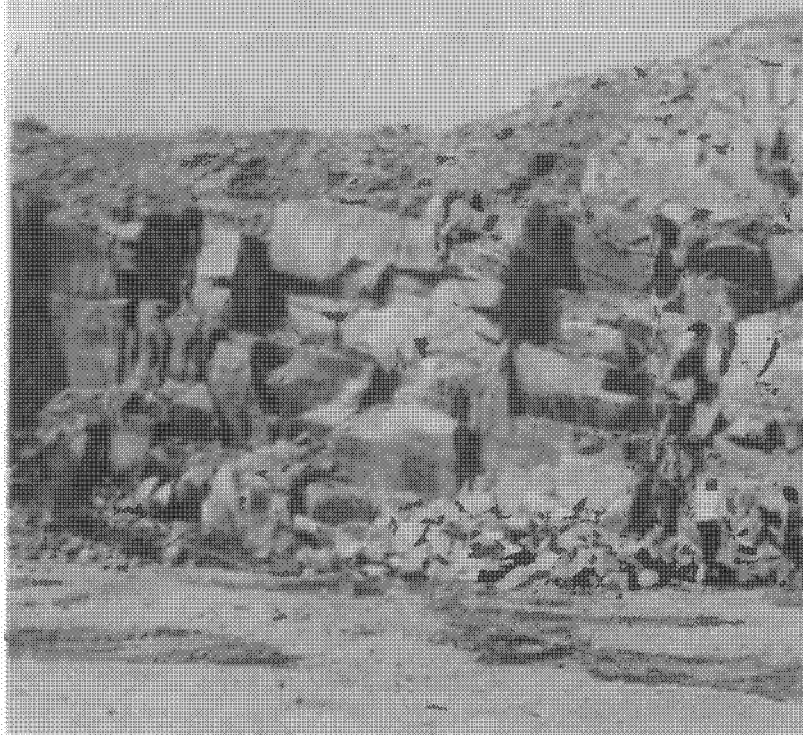
а 3т 222 353322 5пж 1031 4тж 2149 4тп 1248

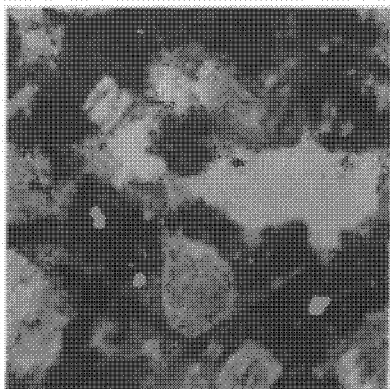
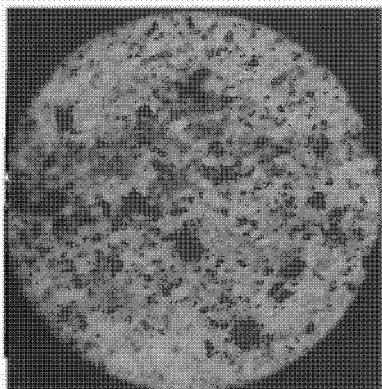
6



10







12. Брезины

- Карьер в восточной части Штявницких гор, действующий. Размер обнажений 100×50 м. Рельеф интенсивно расчлененный с глубоким эрозионным врезом. Склоны крутые, экспозиция восточная.
- Массив вулканических пород геосинклинального типа.
- Ф: вулканических пород; К: андезитовый, ЛТ: пироксен-амфиболитовый андезит (N_1).
- Массив состоит из крупных призматических и полиэдрических блоков, образованных четырьмя системами тектонических трещин. Трещины открытые, с песчано-суглинистым заполнителем. Высокая степень разуплотнения. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен.

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\alpha 3 \times 2$	T ₁	100 ± 10	70	95 ± 20	20 хх
	T ₂	235 ± 15	65	65 ± 20	20 хх
	T ₃	160 ± 20	80	85 ± 20	10 х1
	T ₄	280 ± 20	80	180 ± 20	10 х1
	Д	278	80	—	20 хх

Тип массива	Расстояние между трещинами, см	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\alpha 3 \times 2$	1—2	волнообразн.	$< 0,1$	песчано-глинистый
	7	ровная	0,5—0,8	—
	3	»	0,5—0,8	—
	10	волнообразн.	0,3—0,5	песчаный
	7	ровная	0	глинистый

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\alpha 3 \times 2$	$95 \times 65 \times 85 \times 180$	—	—	—
	$115 \times 85 \times 105 \times 200$	5—15	1—2	90—65
	$75 \times 45 \times 65 \times 160$	—	—	—

- Пироксен-амфиболитовый андезит; минеральный состав: плагиоклазы (андезин, лабрадорит), пироксены, амфиболы, в основной массе вулканическое стекло; структура: порфировая, крупнозернистая; текстура массивная; цвет светлосерый с зеленым налетом; преобразование породы связано с процессами автометаморфизма.

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4030	—	380	—	—
y	2,63	2,30	12,67	4,88	3800	—	320	—	—
z	—	—	—	—	3790	—	360	100	85

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	37,3	—	—	—
y	—	—	—	—	—	33,2	—	—	—
z	80	0,85	0,80	7,4	—	33,0	27,2	27,2	0,19

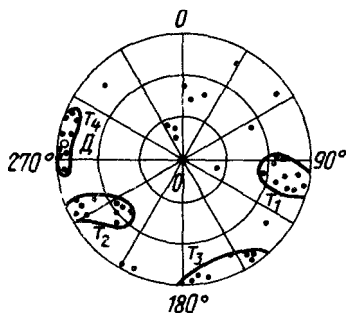
11

Тип массива	Код массива	Код основной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	---------------------	--------------------

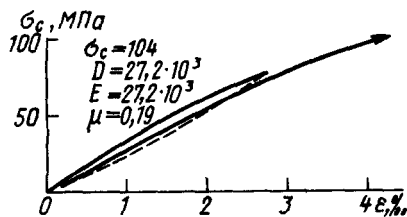
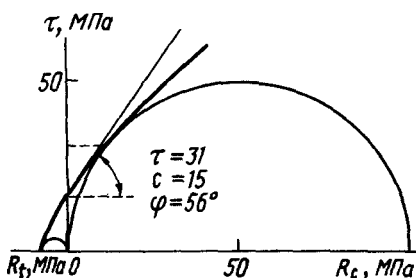
Полиэдрические
блоки

$\alpha 3 \times 242$ 3433212 5гп 1927 5то 2336 4то 1648 5гп 2815
До 2808

6



10



13. Копанице

1. Карьер в центральной части Штоявницких гор, недействующий; размер массива 30×10 м, экспозиция южная. Склоны пологие и крутые, рельеф с глубоким эрозионным врезом
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканических пород; К: андезитовый; ЛТ: амфиболит-биотитовый андезит (N_1)
4. Массив состоит из тонко-средних плитчатых блоков. Четко выражены одна система трещин первичной отдельности, две системы тектонических трещин. Трещины закрытые, без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. Массив однородный по форме и размерам блоков. Порода слабовыветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\alpha 14$	II	360 ± 10	55	12 ± 10	20 хх
	T ₁	230 ± 20	50	15 ± 10	1 тт
	T ₂	120 ± 20	50	10 ± 5	1 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\alpha 14$	$0,1 \pm 0,1$	ровная	$< 0,1$	железистый
	$2 \pm 0,8$	»	0,3	»
	$2 \pm 0,6$	»	0,3	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\alpha 14$	$12 \times 15 \times 10$	—	—	—
	$25 \times 35 \times 15$	0,3—2	10—12	100—90
	$5 \times 5 \times 5$	—	—	—

8. Амфибол-биотитовый андезит; минеральный состав: плагиоклаз, биотит, амфибол, вулканическое стекло; структура порфировая, крупнозернистая; текстура массивная; цвет светло-серый; порода в сохранном состоянии

9.

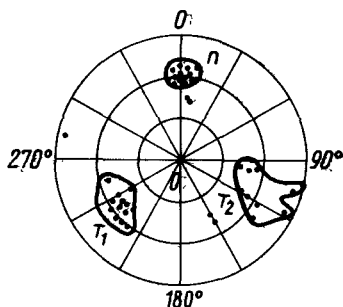
Оси	γ	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{t1}	R_{t2}
x	—	—	—	—	4270	—	380	—	—
y	2,73	2,58	5,85	1,39	4270	—	390	—	—
z	—	—	—	—	4670	—	350	180	150

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	46,9	—	—	—
y	—	—	—	—	—	46,9	—	—	—
z	140	0,83	0,78	12,8	—	56,4	43,3	41,1	0,19

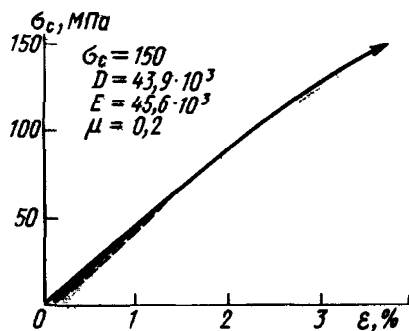
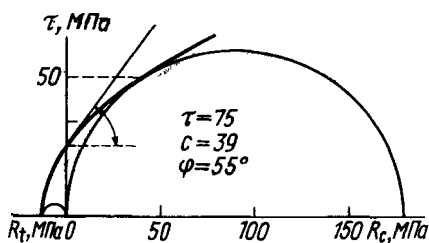
11.

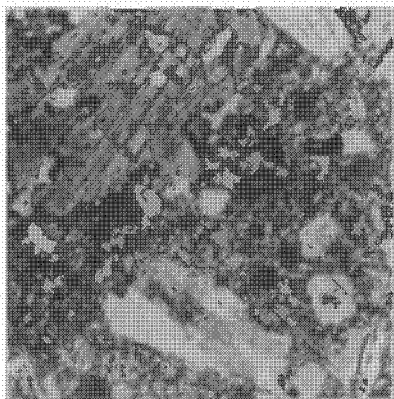
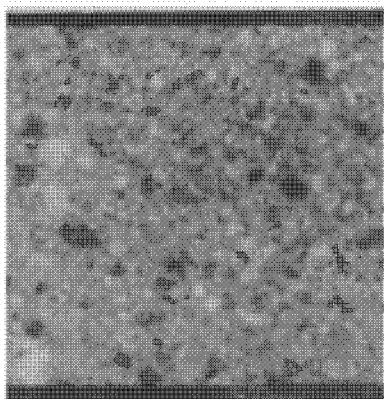
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Плитчатые блоки	α 1421	4343323	5пж 3625	2тж 2345	2тж 1245

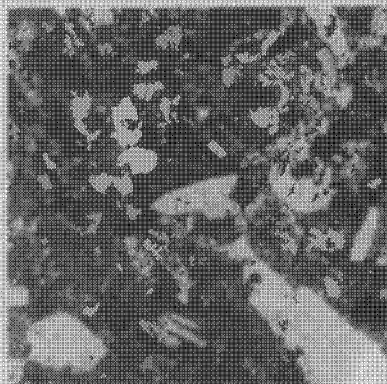
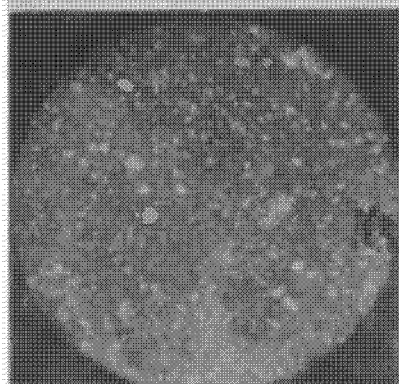
6.



10







14. Вышние Реметы

1. Карьер в юго-западной части Вигорплата, частично действующий; размер массива 50×11 м, экспозиция юго-восточная. Склоны пологие, рельеф с неглубоким эрозионным врезом
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. **Ф**: вулканических пород; **К**: андезитовый; **ЛТ**: пироксеновый андезит (N_1)
4. Массив состоит из призматических и кубических блоков с одной четко выраженной системой трещин первичной отдельности и двумя системами тектонических трещин. Трещины открытые, без заполнителя или заполнены песчано-дресвяным материалом. Повышенная степень разуплотнения. С поверхности породы выветрелые. Массив довольно однородный по форме и размерам блоков. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\alpha 3^+ 3$	п	200 ± 20	15	55 ± 35	20 хх
	t_1	135 ± 20	85	60 ± 40	15 хх
	t_2	30 ± 20	80	40 ± 10	15 хх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость	
$\alpha 3^+ 3$	$0,1 \pm 0$	ровная	4—6	железный
	$0,5 \pm 0,2$	»	0,5—2	песчаный
	$0,2 \pm 0,1$	»	0,5—1,5	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\alpha 3^+ 3$	$55 \times 60 \times 40$	—	—	—
	$90 \times 100 \times 50$	0,3—2	8	100—90
	$20 \times 20 \times 30$	—	—	—

8. Пироксеновый андезит; минеральный состав: порфиновые выделения представлены плагиоклазами (андезин, лабрадор), гиперстен, амфиболы, магнетит, основная масса состоит из вулканического стекла; структура порфировая с гналопидитовой структурой основной массы; текстура массивная; порода в сохранном состоянии

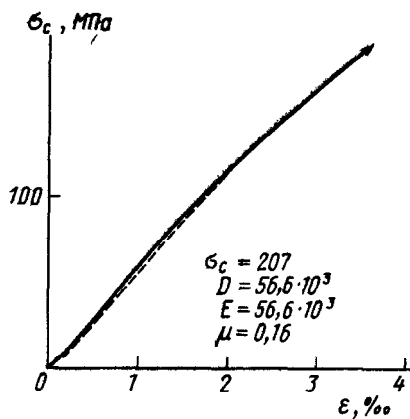
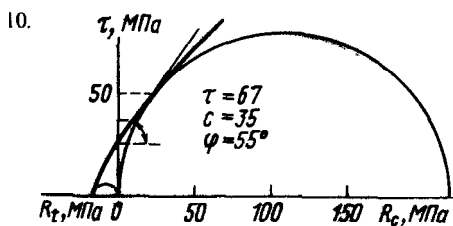
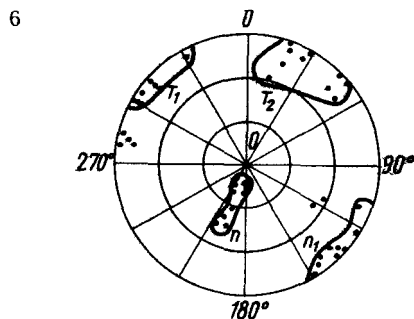
9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_u	v_p	c	R_c	R_{t1}	R_{t2}
x	—	—	—	—	5965	—	630	—	—
y	2,77	2,66	3,94	0,58	4995	—	500	—	—
z	—	—	—	—	5110	—	570	220	165

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	65,7	—	—	—
y	—	—	—	—	—	66,6	—	—	—
z	140	0,75	0,64	13,6	—	69,8	58,2	58,2	0,18

11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
Призматические блоки	$\alpha 3^+ 321$	4243422	5пж 2041
			4тп 1448
			4тп 0348



15. Крупина

1. Карьер в центральной части Крупинской верховины, недействующий; размер обнажения 100×8 м, экспозиция северо-восточная. Крутые склоны рельефа с глубокой эрозией
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканогенная; К: андезитовый; ЛТ: пироксеновый андезит (N_1)
4. Массив состоит из столбчатых призм, образованных двумя основными системами вертикальных трещин первичной отдельности и одной пологой системой тектонических трещин. Трещины открытые с песчано-глинистым заполнителем. Степень разуплотнения высокая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Породы сильновыветрелые с поверхности. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с ходом, м
α 43	π_1	160 ± 20	80	40 ± 10	20 хх
	π_2	220 ± 20	80	35 ± 10	20 хх
	τ	250 ± 15	25	70 ± 40	1 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
α 43	0,1—3	ровная	1—3	песч.-глинистый
	0,1—3	»	1—3	»
	0,1—2	кривая	1—2	ожелезненый

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс, мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
α 43	$40 \times 35 \times 70$	—	—	—
	$50 \times 45 \times 110$	5—15	3—4	65—35
	$30 \times 25 \times 30$	—	—	—

8. Пироксеновый андезит; минеральный состав: порфировые включения состоят из основных плагиоклазов (лабрадора), пироксенов (авгит), реже амфиболов (роговая обманка), основная масса состоит из плагиоклазов, вулканического стекла и магнетита; структура порфировая с гнаупилитовой основной массой; текстура массивная; цвет темно-серый; порода в сохранном состоянии

9

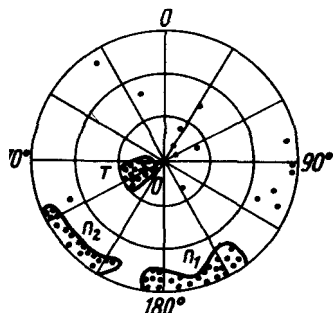
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5230	—	470	—	—
y	2,75	2,70	2,05	0,14	5460	—	470	—	—
z	—	—	—	—	5060	—	400	255	240

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	73,8	—	—	—
y	—	—	—	—	—	80,5	—	—	—
z	230	0,94	0,90	15,6	—	69,1	76,1	73,7	0,21

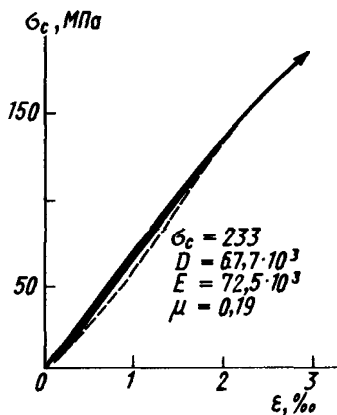
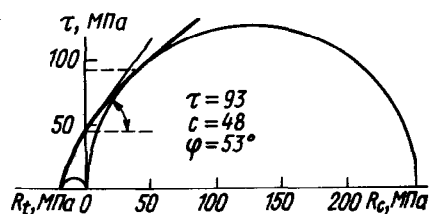
11.

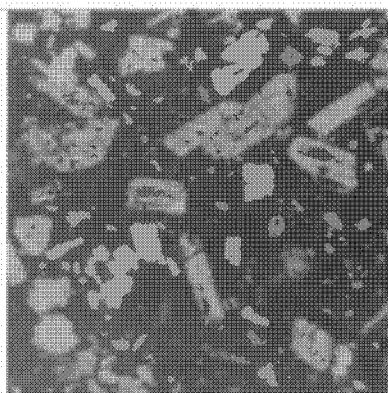
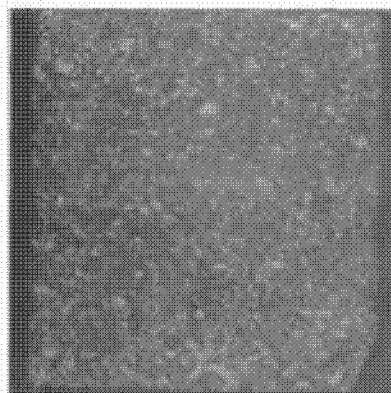
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Столбчатые блоки	α 4353	4254433	5пп 1648	5пп 2248	2тж 2532

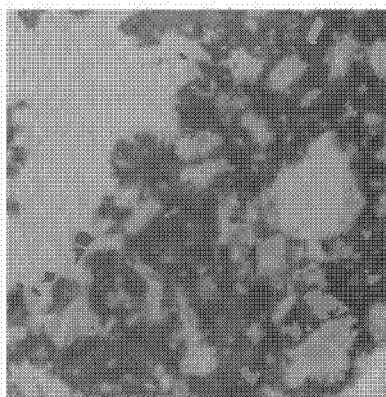
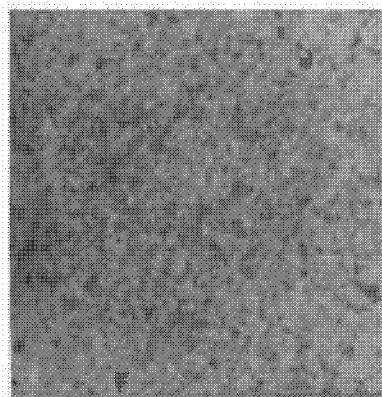
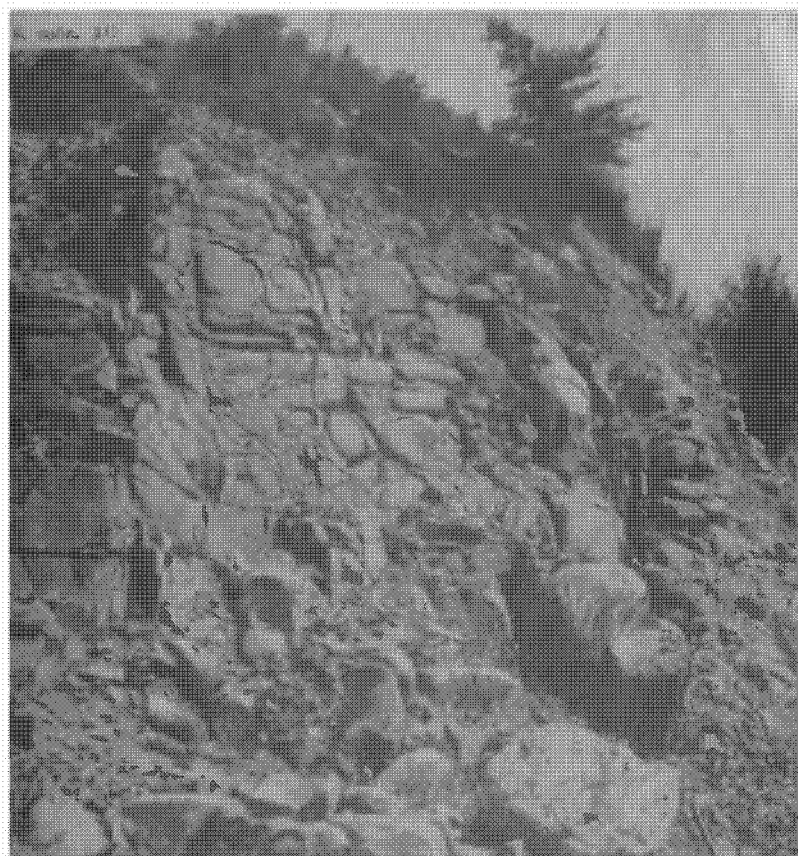
6



10.







16. Девта — Пемть

1. Карьер в северной части гор Яворы, недействующий, размер обнажения 50×5 м, экспозиция западная. Пологий рельеф с глубокими долинами.
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа.
3. Ф: вулканогенная; К: андезитовый; ЛТ: пироксеновый андезит (N_1).
4. Массив представлен блоками небольшого размера шаровой формы. Блочность обусловлена трещинами первичной отдельности и тектоническими трещинами двух систем. Под влиянием процессов выветривания вдоль этих систем трещин образовались специфическая форма блоков. Трещины открытые без заполнения. Степень разуплотнения высокая. Массив достаточно однородный по форме блоков и неоднороден по размерам блоков. Породы сильновыветрелые. Массив не обводнен.

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\alpha \ll 0 \gg 3^+ 3$	п	100 ± 15	15	30 ± 10	20 хх
	T_1	210 ± 20	90	30 ± 10	20 хх
	T_2	125 ± 20	80	50 ± 20	10 хт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\alpha \ll 0 \gg 3^+ 3$	0,5—3	ровная	0,2	—
	0,5—2	>	0,3—0,5	—
	0,5—5	>	0,3—0,5	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\alpha \ll 0 \gg 3^+ 3$	$30 \times 30 \times 50$	—	—	—
	$40 \times 40 \times 70$	> 15	6—8	100—90
	$20 \times 20 \times 30$	—	—	—

8. Пироксеновый андезит; минеральный состав: порфиновые вкрапленники представлены плагиоклазами (андезит), гиперстеном, основная масса состоит из вулканического стекла и магнетита; структура порфировая; текстура массивная; порода выветрелая.

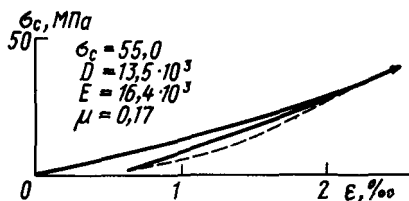
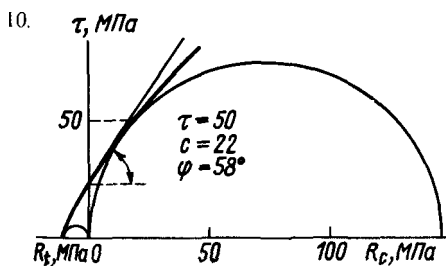
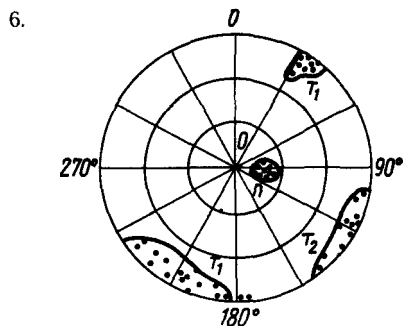
9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	2560	—	280	—	—
y	2,66	2,33	12,9	6,25	2280	—	300	—	—
z	—	—	—	—	2630	—	280	150	110

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	15,2	—	—	—
y	—	—	—	—	—	12,1	—	—	—
z	100	0,73	0,63	10,5	—	16,1	16,4	13,5	—

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Блоки шаровой формы	$\alpha \ll 0,3^+$ 351	33432-3	5по 1031	5то 2149	4то 1248



17. Конрадовце

1. Карьер в центральной части Церовой верховины, действующий, размер обнажения 100×30 м, экспозиция восточная. В районах выхода базальтовых тел рельеф имеет крутые склоны с развитыми эрозийными процессами, в остальных районах — склоны пологие
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканогенная; К: базальтовый; ЛТ: пироксен-оливиновый базальт (Q — N₂)
4. Массив состоит из блоков кубической и призматической формы, образованных горизонтальными трещинами первичной отдельности и двумя-тремя системами тектонических трещин. Трещины открытые, практические без заполнителя. Степень разуплотнения очень низкая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Породы в сохранным состоянии. Массив необводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
β 3+2	п	230 ± 20	5	70 ± 30	20 хх
	т ₁	330 ± 20	80	55 ± 15	10 хх
	т ₂	45 ± 15	75	65 ± 25	10 ту
	т ₃	110 ± 20	80	45 ± 15	1 ту

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
β 3+2	0,0	ровная	0,1	ожеженный
	0,1—0,2	»	0,3	»
	0,1—0,2	»	0,3	—
	0,1—0,5	»	0,5	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
β 3+2	70 × 55 × 65 × 45 100 × 70 × 90 × 60 40 × 40 × 40 × 30	< 0,3	6—7	100—90

8. Пироксен-оливиновый базальт; минеральный состав: порфиновые вкрапленники представлены авгитом, плагиоклазами (лабрадором, битовнитом) и оливином, основная масса состоит из плагиоклазов, пироксенов и вулканического стекла; структура порфировая, мелкозернистая с гиаопилитовой основной массой; текстура массивная; цвет серый; порода в сохранным состоянии

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5440	—	800	—	—
y	2,97	2,91	2,07	0,67	5645	—	800	—	—
z	—	—	—	—	5515	—	800	365	280

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	86,1	—	—	—
y	—	—	—	—	—	92,8	—	—	—
z	265	0,77	0,73	18,6	—	88,5	89,8	88,5	0,21

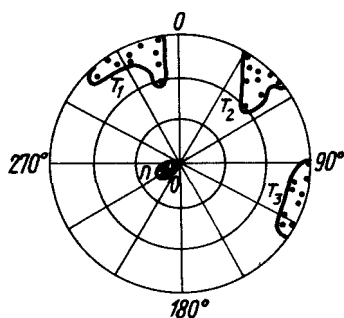
11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

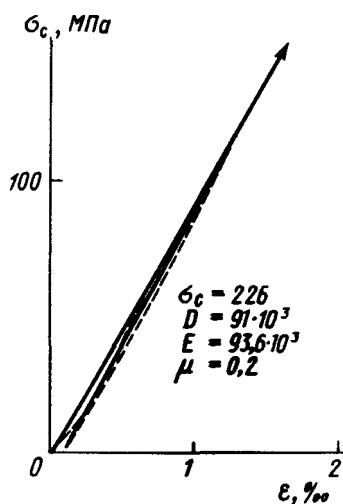
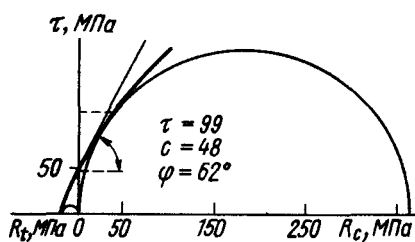
Призматические

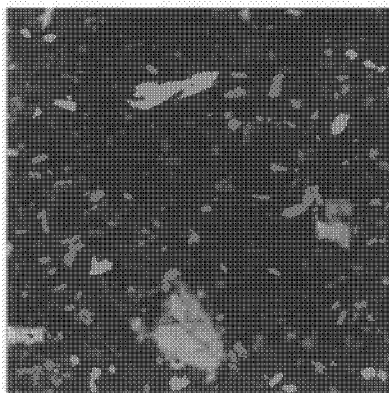
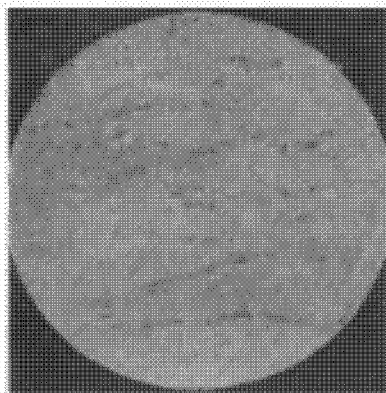
и кубические блоки $\beta 3+211$ 5254531 5пж2341 3тж3348 3то0537 1то1148

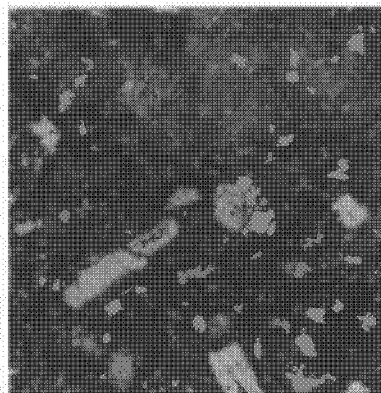
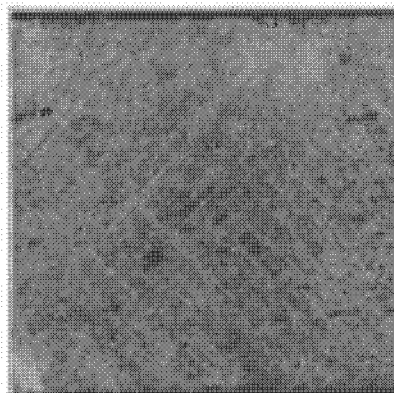
6.



10.







18. Булгари

1. Карьер в центральной части Церовых гор, действующий; размер обнажения 80×30 м, экспозиция северо-западная. Рельеф пологий, крутые склоны в местах выхода эффузивов
2. Массив вулканических пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканогенная; К: базальтовый; ЛТ: оливин-пироксеновый базальт (N₂—Q)
4. Массив состоит из столбчатых веерообразных призм. Выражены две системы трещин первичной отдельности, одна система тектонических трещин. Трещины открытые, практически без заполнителя. Степень разуплотнения высокая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Породы в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, мм	Длина трещин с кодом, м
β 24	п ₁	250 ± 20	30	15 ± 5	20 хх
	п ₂	130 ± 10	45	15 ± 5	20 хх
	т	220 ± 10	80	60 ± 20	1 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
β 24	2 ± 1,5	кривая	0,5—2	ожеженный
	4 ± 3	ровная	0,5—2	»
	2 ± 1,5	»	0,5—2	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл. макс. мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
β 24	15 × 15 × 60	—	—	—
	20 × 25 × 80	5—15	8—12	100—90
	10 × 10 × 40	—	—	—

8. Оливин-пироксеновый базальт; минеральный состав: пироксены (авгит, гиперстен), плагиоклазы и оливин; основная масса состоит из вулканического стекла и магнетита; структура порфировая, мелкозернистая; текстура массивная; цвет темно-серый; порода в сохранном состоянии

9.

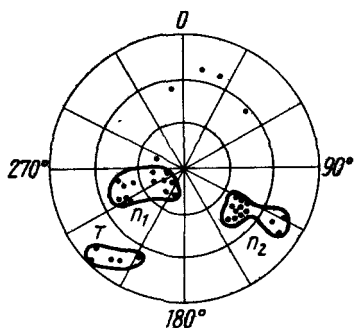
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5250	—	600	—	—
y	2,94	2,87	2,32	0,82	5160	—	650	—	—
z	—	—	—	—	5020	—	550	260	250

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	79,1	—	—	—
y	—	—	—	—	—	76,4	—	—	—
z	245	0,96	0,94	14,1	—	72,3	70,2	70,2	0,21

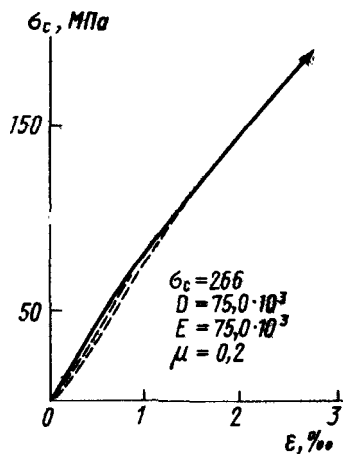
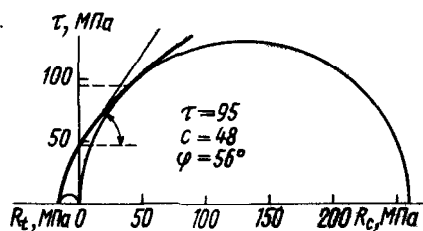
11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Столбчатые блоки	β 2431	5253431	5пж2543	5пж1325	2тж2228

6



10.



19. Талнах II

1. Естественное обнажение в правом борту ручья Каменистый, размером 40×14 м. Рельеф горный
2. Массив эффузивных пород платформенного типа; покровы базальтов
3. Ф: трапповая; К: базальтовый; ЛТ: афировый базальт ($T_1^{H_1}$)
4. Массив состоит из полиэдрических блоков. Четко выраженные системы трещин отсутствуют. Специфические формы блоков обусловлены влиянием выветривания. Трещины открытые без заполнителя. Разуплотнение средней степени. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Порода выветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
β «0» 3	b_1	300 ± 5	15	50 ± 20	0,25—1,50
	b_2	165 ± 15	70	50 ± 25	0,20—1,00
	b_3	210 ± 5	70	50 ± 25	0,20—1,00

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
β «0» 3	10 ± 5	кривые	0,5—5	нет
	15 ± 5	»	0,5—5	»
	15 ± 5	»	0,5—10	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
β «0» 3	$45 \times 40 \times 50$	—	—	—
	$60 \times 50 \times 70$	4,5	6	—
	$25 \times 20 \times 25$	—	—	—

8. Базальт афировый; минеральный состав: плагиоклаз, пироксен, стекло; структура микроклеритовая; текстура массивная; цвет темно-серый до черного; порода слабо измененная

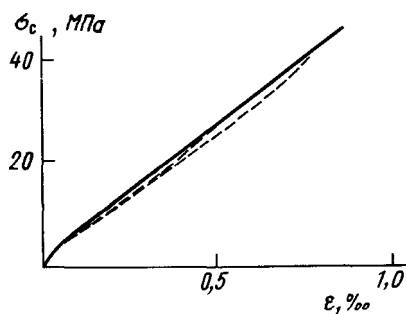
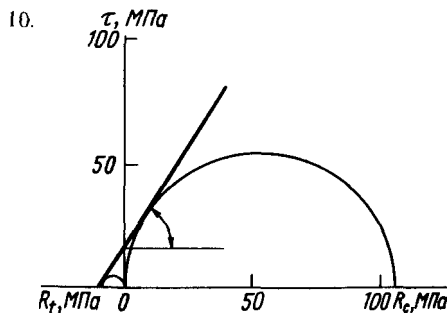
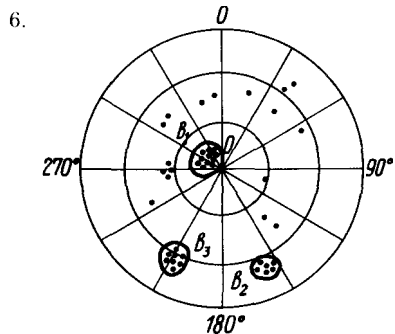
9.

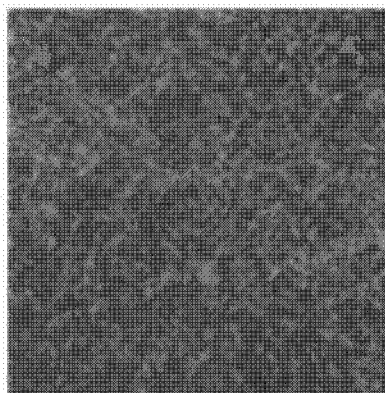
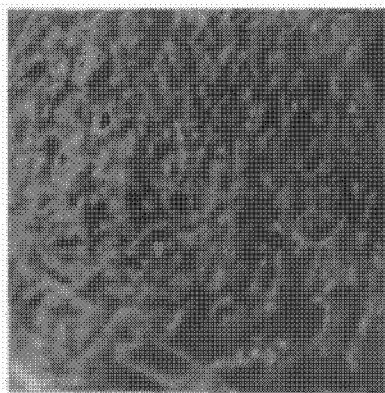
Оси	γ_s	γ_d	n	$K_{\text{ж}}$	ν_p	ν_s	R_s	R_{t1}	R_{t2}
x	—	—	—	—	5200	—	—	—	—
y	2,83	2,81	0,7	—	5200	—	—	—	—
z	—	—	—	—	5200	3150	—	105	90

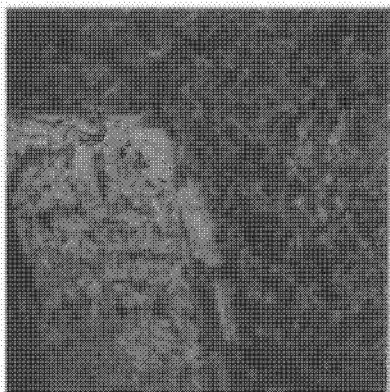
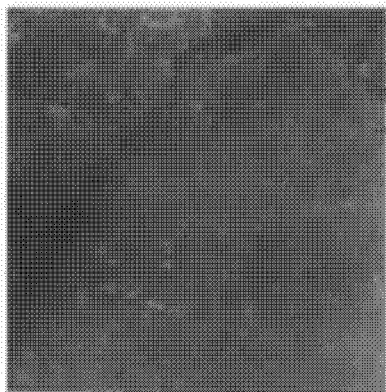
Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,85	—	8,5	4,5	50	42	40	0,21

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Полиэдрические блоки	$\beta \ll 0 \gg 331$	5132335	2во 3012	1в2о 1637	1в1о 2117







20. Талнах VI

1. Естественное обнажение в борту ручья Безымянного. Рельеф горный, интенсивно расчлененный
2. Массив эффузивных пород платформенного типа; покровы базальтов
- 3 Ф: трапповая; К: эффузивно-туфогенный; ЛТ: базальт (T_1^{mT})
- 4 Массив состоит из призматических блоков. Блочность обусловлена тремя системами первичных трещин отдельности. Трещины открытые, без заполнителя. Разуплотнение средней степени. Массив неоднородный по размерам и форме блоков. Порода в сохранимом состоянии. Массив не обводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\beta 3^+3$	n_1	30 ± 10	10	45 ± 5	0,8—1,5
	n_2	130 ± 5	85	60 ± 40	0,3—1,0
	n_3	220 ± 15	85	60 ± 40	0,2—1,0

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость	
$\beta 3^+3$	2 ± 1	кривые	0,1—2	нет
	5 ± 3	прямые	0,1—5	»
	5 ± 3	»	0,1—5	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\beta 3^+3$	$30 \times 35 \times 25$	—	—	—
	$50 \times 70 \times 50$	3,0	8	—
	$5 \times 10 \times 10$	—	—	—

8. Базальт афировый; минеральный состав: плагиоклаз, пироксен, стекло, рудный минерал; структура интерсертальная; текстура массивная; цвет темно-серый до черного

9

Оси	γ_v	γ_d	γ_n	K_a	v_p	v_v	R_v	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5450	—	—	—	—
y	2,90	2,88	0,7	—	5150	—	—	—	—
z	—	—	—	—	5190	2890	—	158	135

Оси	R_{c3}	λ_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,85	—	8,5	7,0	60	57	55	0,29

11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

Призматические
блоки

 $\beta 3^+ 331$

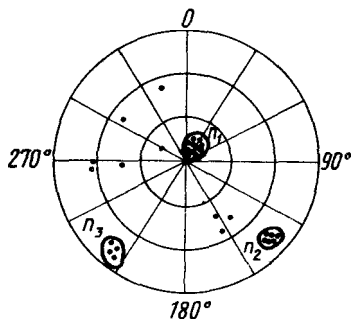
514231

1по 0321

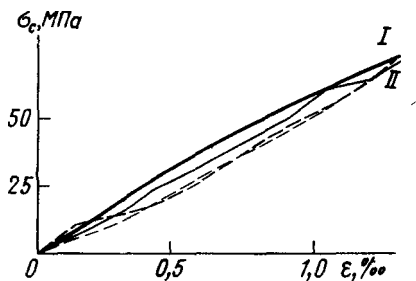
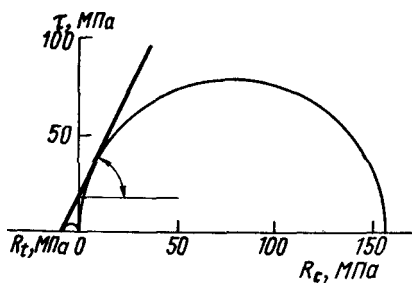
1по 1618

1по 2239

6



10



21. Талнах IV

1. Естественное обнажение на склоне горы Отдельной. Рельеф горный, интенсивно расчлененный
2. Массив эффузивных пород платформенного типа, покровы базальтов
- 3 Ф: трапповый; К: базальтовый; ЛТ: гломеропорфировый базальт (Т₁^{кд})
- 4 Массив представлен блоками призматической формы. Чисто выражены одна система пологих трещин первичной отдельности и две системы вертикальных тектонических трещин, дополненные невыразительной трещиноватостью, которые образуют призматическую форму блоков. Трещины открытые, без заполнителя. Высокая степень разуплотнения. Массив неоднороден по форме и размеру блоков. Порода выветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
β 24	п	10 ± 5	15	30 ± 5	1—1,5
	Т ₁	155 ± 5	85	15 ± 5	1,5—2
	Т ₂	250 ± 5	85	15 ± 5	1,5—2

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
β 24	5 ± 2	кривые	0,5—2	нет
	20 ± 15	»	5	»
	10 ± 5	»	5	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
β 24	10 × 15 × 8	—	—	—
	20 × 30 × 10	7,0	12	—
	5 × 10 × 5	—	—	—

8. Базальт гломеропорфировый; минеральный состав: плагиоклаз, пироксен, стекло, рудный минерал; структура микроклеритовая, текстура массивная; цвет черный; порода измененная

9

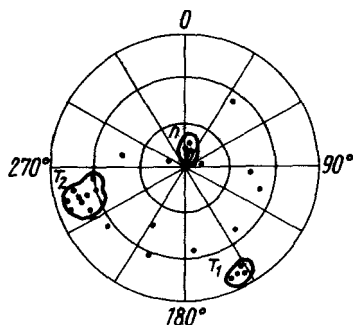
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4500	—	—	—	—
y	2,76	2,60	5,8	—	4500	—	—	—	—
z	—	—	—	—	4500	1900	—	85	75

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,88	—	4	2,5	39	38	27	0,27

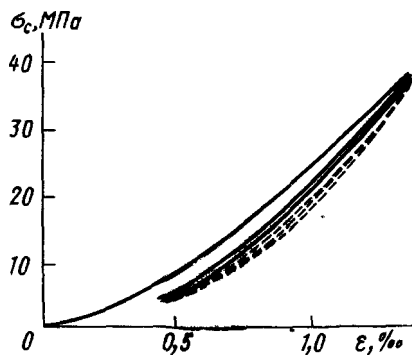
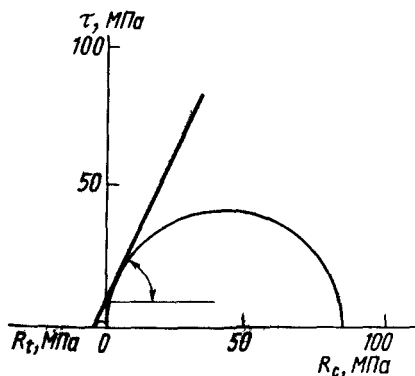
11

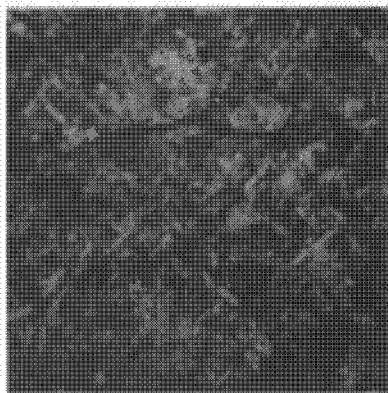
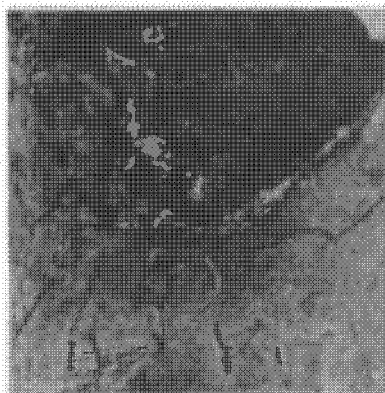
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Плитчатые блоки	β 2441	4331334	2по 0112	2то 1619	2то 2519

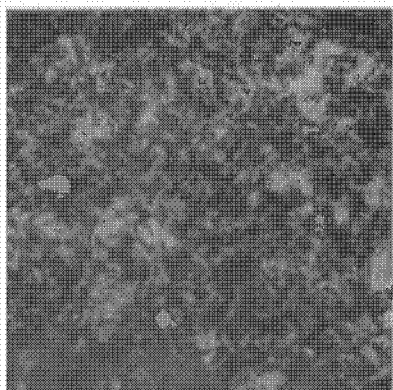
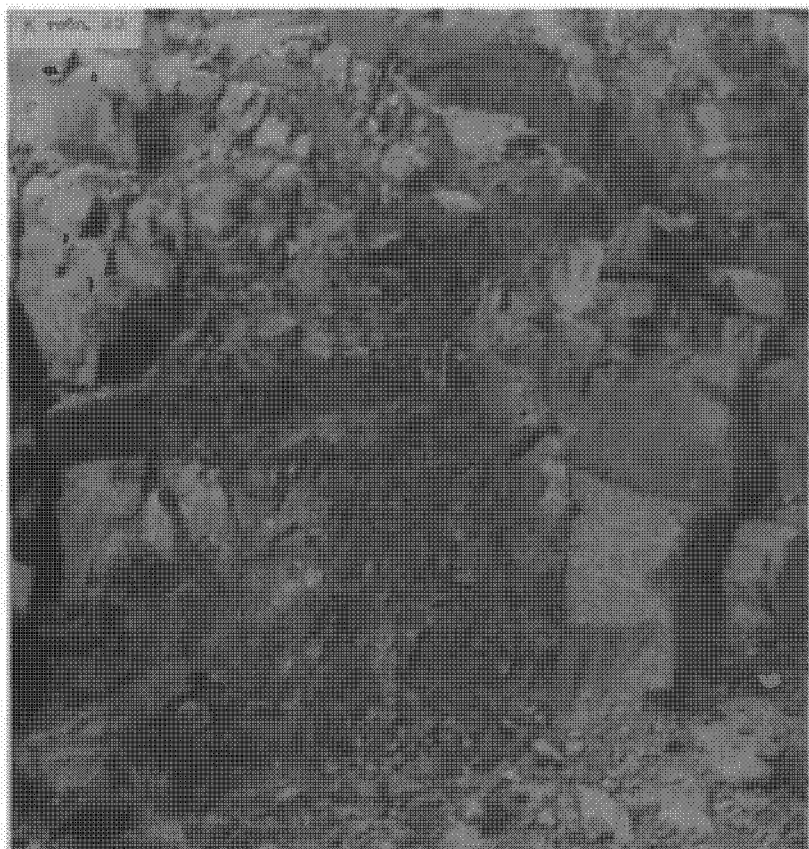
6



10







22. Таблица XI

1. Естественное обнажение в борту лога «Угольный» Ресурсы горных, интенсивно расчлененный
2. Массив эффузивных пород платформенного типа, покровы базальтов
3. Ф: трапповая; К: базальтовый; ЛТ: толеитовый базальт (T_1^{4*})
4. Массив в зоне тектонического нарушения состоит из мелких призматических блоков, образованных одной системой трещин отдельности и двумя системами тектонических трещин. Трещины открытые, без заполнителя или заполнены древесным материалом. Разуплотнение весьма сильное. Массив достаточно однородный в пределах однородных целиков. Порода слабоветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$\beta 3 \times 5$	T_1	350 ± 20	35	10 ± 5	0,1—0,3
	T_2	255 ± 15	75	15 ± 5	0,1—0,5
	T_3	295 ± 5	50	15 ± 5	0,1—0,5

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$\beta 3 \times 5$	$2 \pm 0,5$	кривая	0,2—2	—
	15 ± 5	прямая	0,1—0,2	—
	15 ± 5	»	0,1—0,2	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$\beta 3 \times 5$	$5 \times 5 \times 8$	—	—	—
	$10 \times 15 \times 10$	12,0	25	—
	$3 \times 3 \times 5$	—	—	—

8. Базальт толеитовый, минеральный состав: плагиоклаз, пироксен, стекло; рудный минерал; структура пойкилофитно-интерсертиальная; текстура массивная; цвет темно-серый до черного; порода сильно измененная.

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	3700	—	—	—	—
y	2,76	2,50	11,0	—	3700	—	—	—	—
z	—	—	—	—	3700	1200	—	38	32

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,84	—	6	2	25,8	36	34	0,30

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
-------------	-------------	-------------------	--------------------	--	--

Призматические
блоки

 $\beta 3 \times 541$

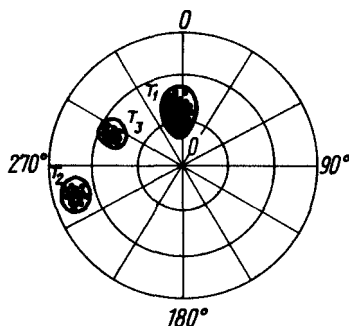
332233

1то 3544

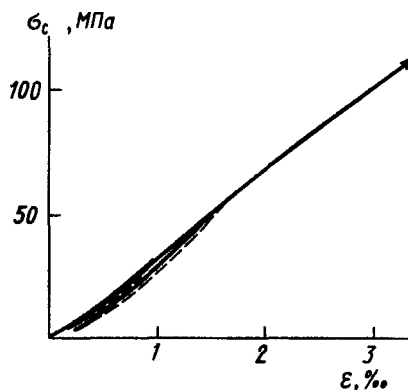
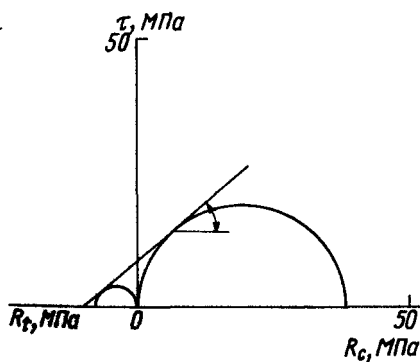
1то 2638

1то 3015

6.



10.



23. Талнах XIII

1. Естественное обнажение на склоне горы Отдельной. Рельеф горный, интенсивно расчлененный
2. Массив осадочно-вулканогенных пород платформенного типа; пирокласты
- 3 Ф: вулканогенно-осадочная; К: пирокластических пород, ЛГ туф (Т₁)
- 4 Массив имеет слоистое строение. Три системы трещин создают призматический тип блоков. Трещины открытые, без заполнителя. Разуплотнение сильное. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода частично выветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
t 3+4	T ₁	130 ± 10	85	15 ± 10	3—5 до 10
	T ₂	225 ± 10	80	15 ± 10	0,1—0,5
	T ₃	315 ± 5	10	15 ± 10	0,5 до 3

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
t 3+4	4,0 ± 1,0	прямая	0,1—1	нет
	4,0 ± 1,0	ступенчатая	0,1—2	»
	1,0 ± 1,0	волнообразная	0—0,1	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
t 3+4	25 × 20 × 20	—	—	—
	30 × 45 × 25	6,0	10—15	—
	5 × 10 × 5	—	—	—

8. Туф; минеральный состав: кальцит, плагиоклаз, обломки базальтов; текстура слоистая; цвет светло-серый

9

Оси	γ_s	γ_d	n	K_n	ν_p	ν_s	R_s	R_{11}	R_{c2}
x	—	—	—	—	3900	—	—	—	—
y	2,63	2,57	2,3	—	3900	—	—	—	—
z	—	—	—	—	3850	2050	—	78	45

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,57	—	5	1,5	30,0	—	—	0,30

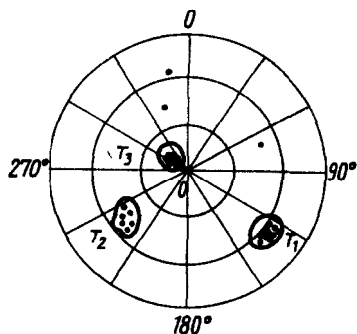
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

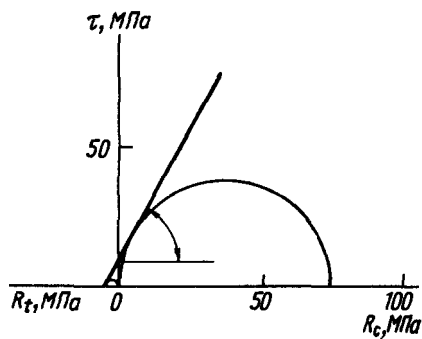
Призматические
блоки

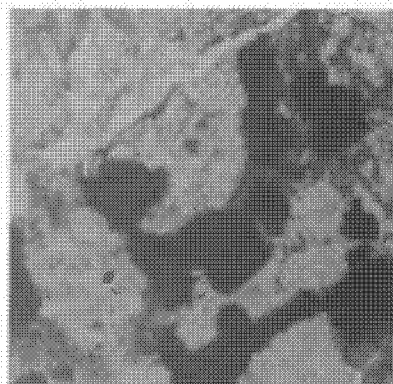
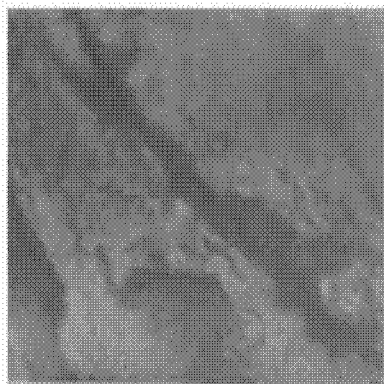
13+445 4232-33 3то 1329 1то 2328 2то 3211

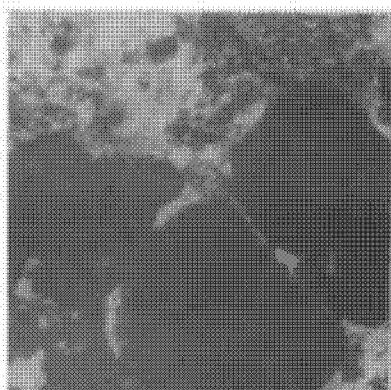
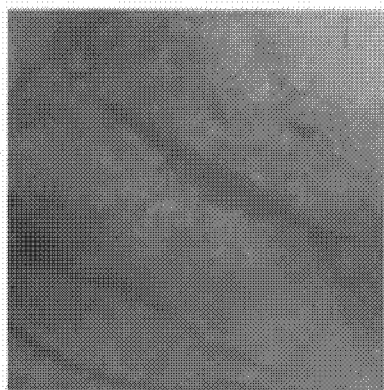
6



10







24. Талнах XV

1. Естественное обнажение в правом борту Хараелах. Рельеф равнинный
2. Массив осадочно-вулканогенных пород платформенного типа; пирокласты
3. Ф: вулканогенно-осадочная; К: пирокластических пород; ЛТ: туф (Г₁)
4. Массив имеет слоистое строение. Две наиболее четко выраженные систем трещин создают призматический тип блоков. Трещины открытые и закрытые заполненные кальцитом. Степень разуплотнения высокая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода слабовыветренная. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
Г 24	п ₁	35 ± 15	70	30 ± 20	1—3 до 10
	п ₂	215 ± 20	50	30 ± 20	1—3
	п ₃	300 ± 10	10	15 ± 10	0,5—1,0 до 3

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
Г 24	3,5 ± 1,5	прямая	0,1—0,5	кальцит
	3,5 ± 1,5	ступенчатая	0,1—0,5	»
	0,1 ± 0,1	кривая	0—0,1	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
Г 24	15 × 25 × 10	—	—	—
	25 × 50 × 30	6,0	8	60
	5 × 10 × 7	—	—	—

8. Туф; минеральный состав: кальцит, плагиоклаз, обломки базальтов; текстура слоистая; цвет темно-серый

9.

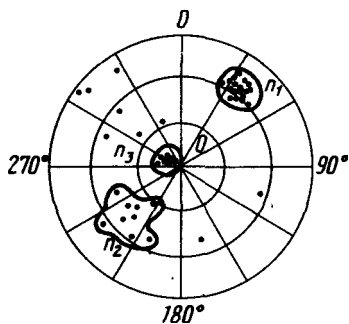
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	3900	—	—	—	—
y	2,65	2,57	8,00	—	3900	—	—	—	—
z	—	—	—	—	3850	2050	—	75	40

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,51	—	5	1,5	30,0	—	—	0,30

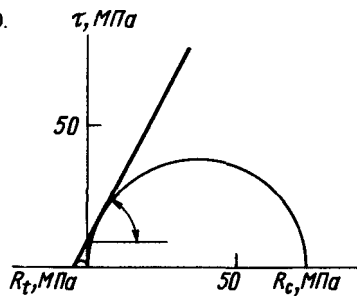
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Призматические блоки	t 2443	4332-34	2по 0437	2пз 2245	2пз 3021

6.



10.



25. Лукове

1. Карьер в юго-восточной части Зволенской котловины, недействующий, размер обнажения 50×3 м, экспозиция северо-западная. Рельеф холмистый с пологими склонами, расчлененный процессами эрозии
2. Массив осадочно-вулканогенных пород геосинклинального типа
3. Ф: вулканогенно-осадочная; К: туффовый; ЛТ: туффит (N_1)
4. Массив состоит из призматических и кубических блоков. Четко выражена одна система трещин напластования и менее выражены две системы тектонических трещин. Трещины закрытые и открытые, без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. По форме блоков массив однородный, и неоднородный по размерам блоков. Породы сильноветрелые по трещинам. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с ходом, м
t 13	н	320 ± 20	10	30 ± 20	20 хх
	т ₁	230 ± 15	85	80 ± 20	2 хх
	т ₂	30 ± 15	80	100 ± 40	2 хх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
t 13	0,1—0,2	ровная	1—2	—
	0,1—1,5	кривая	2	—
	0,3—4,0	»	2—4	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл. макс. мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
t 13	$30 \times 80 \times 100$	—	—	—
	$50 \times 100 \times 140$	0,3—2	4	100—90
	$10 \times 60 \times 60$	—	—	—

8. Псефитовый туффит, минеральный состав: окатанные зерна основных плагиоклазов (лабрадор, битовнит), кварца, пироксенов, обломки андезитов и вулканического стекла; структура скрытокристаллокластическая; текстура микрослоистая; цвет светло-серый; минералы сильно изменены

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	2540	—	50	—	—
y	2,60	1,79	30,96	15,38	2530	—	49	—	—
z	—	—	—	—	2530	—	50	26	12

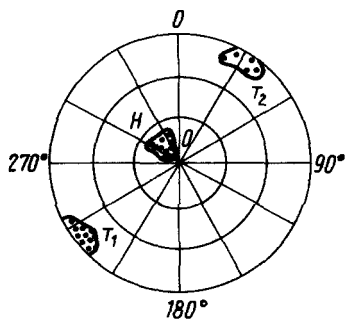
Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	28	—	—	—
y	—	—	—	—	—	31	—	—	—
z	5,8	0,46	0,22	1,2	—	33,3	4,2	4,2	0,36

11.

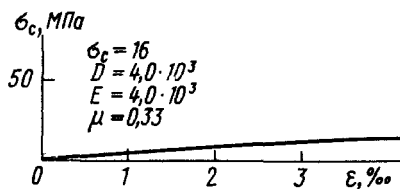
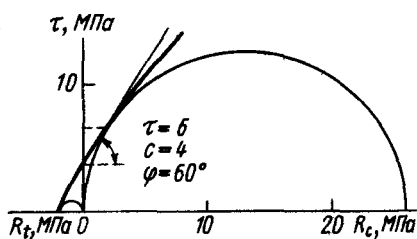
Тип массива	Код массива	Код гор- ной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	------------------------	--------------------

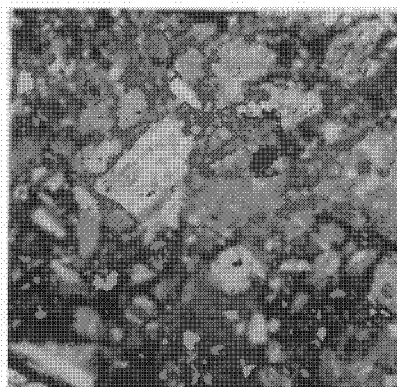
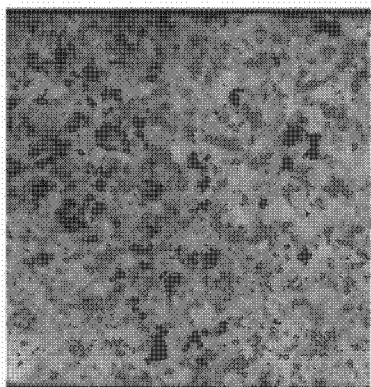
Призматические и
плитчатые блоки t 1321 1521153 5нз 3241 2тз 2338 2тз 0338

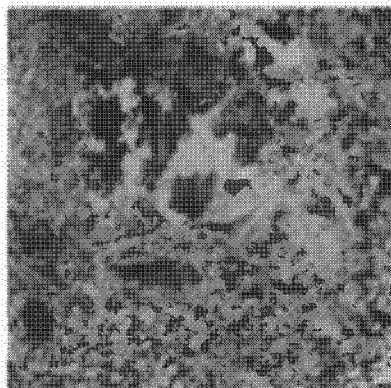
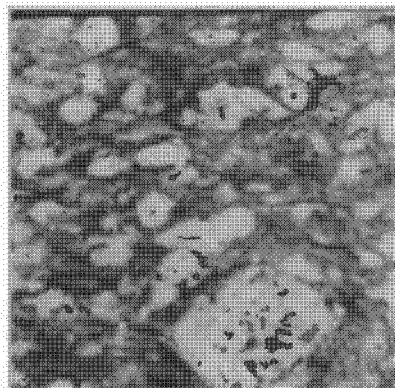
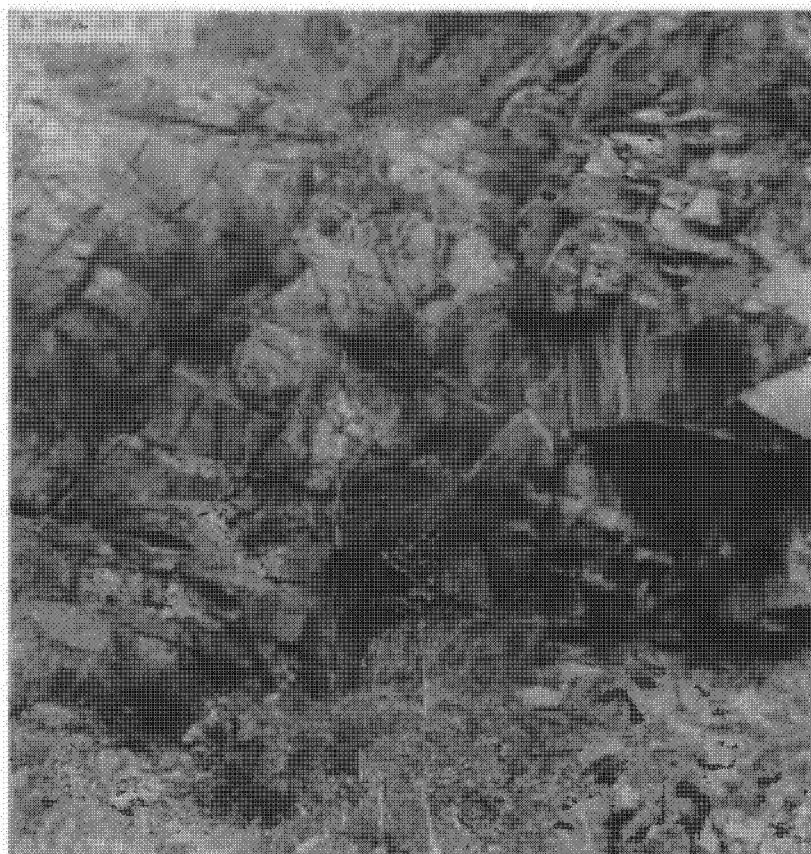
6



10.







26. Тисовец

1. Карьер в центральной части Гемерского Рудогорья, недействующий; размер обнажения 80 × 30 м, экспозиция южная. Горный рельеф со склонами средней крутизны и глубокими долинами
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: гнейсовый; ЛТ: очковый гнейс (РА)
4. Массив состоит из крупных блоков неправильной призматической или кубической формы. Выражены три системы слайцеватости с колеблющейся ориентировкой и две системы тектонических трещин. Трещины закрытые и открытые, без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. По формам и размерам блоков массив однородный. Породы в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$G_0 3 \times 2$	c_1	105 ± 20	25	50 ± 20	20 хх
	c_2	165 ± 20	25	80 ± 15	20 хх
	c_3	25 ± 20	30	50 ± 20	20 хх
	τ_1	150 ± 20	70	90 ± 30	1 тт
	τ_2	250 ± 15	65	65 ± 20	1—3 тх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$G_0 3 \times 2$	$0,7 \pm 0,1$	кривая	0,2	—
	$0,5 \pm 0,3$	»	0,3	—
	$0,2 \pm 0,1$	»	0,3	—
	$0,4 \pm 0,2$	»	0,3	—
	$0,2 \pm 0,1$	»	0,3	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$G_0 3 \times 2$	$50 \times 30 \times 90 \times 65$	—	—	—
	$70 \times 95 \times 120 \times 85$	$< 0,3$	5	100—90
	$30 \times 65 \times 60 \times 45$	—	—	—

8. Очковый гнейс; минеральный состав: порфиробласты полевых шпатов и кварца, плагиоклазы и биотит, серицит; структура гранобластовая и лепидогранобластовая; текстура очковая; цвет серый с зеленым налетом, пятнистый; порода изменена процессами посткинematической перекристаллизации

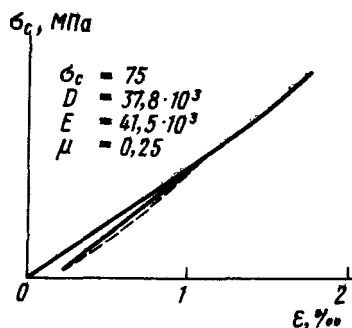
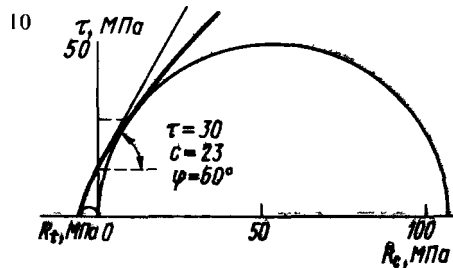
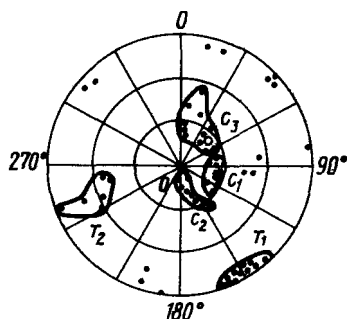
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c_1}	R_{c_2}
x	—	—	—	—	5390	—	290	130	—
y	2,74	2,68	2,02	0,41	4730	—	290	110	—
z	—	—	—	—	4580	—	290	160	100

Оси	R_{c_3}	K_1	K_2	R_{I_1}	R_{I_2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	77,8	—	—	—
y	—	—	—	5,4	—	66,0	—	—	—
z	90	0,62	0,56	6,8	—	56,3	37,0	30,3	0,25

Тип мас сива	Код мас сива	Код гор ной породы	Код трещиноватости			
-----------------	-----------------	-----------------------	--------------------	--	--	--

Непра-
вильные
призма-
тические
или куби-
ческие
блоки

$G_03 \times 211$ 4242331 5сз1043 5сз1643 5сз0243 2то1547 2то2537



27. Мурманск III

1. Горная выработка на глубине 50 м. Рельеф холмистый, сильно расчлененный
2. Гранито-гнейсовый массив геосинклинального типа
3. Ф: гранито-гнейсовая; К: гнейсовый; ЛТ: гнейс
4. Массив представлен блоками плитчатой и неправильной формы. В массиве выделяются пять систем трещин. Плоскости одной системы трещин совпадают с гнейсовидностью и сланцеватостью. Трещины сомкнутые и раскрытые с бороздами, зеркалами скольжения, с развитым по стенкам хлоритом, кальцитом, соссюритом. Высокая степень разуплотнения. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив слабо обводнен

5.

Тип массива	Тип трещино- ватости	Азимут паде- ния, град	Угол паде- ния, град	Расстояние между тре- щинами, см	Длина трещин, м
G 14	c	15 ± 5	70	10 ± 5	> 20
	T ₁	145 ± 15	75	30 ± 5	> 20
	T ₂	115 ± 5	65	30 ± 5	< 1
	T ₃	235 ± 15	55	10 ± 5	< 1
	T ₄	субгоризон- тальный	5	10 ± 5	< 1

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель	
		форма	шерохова- тость, мм		
G 14	< 1	прямая	0	хлоритовый, кальцитовый	
	сомкнутая	»	0	»	»
	»	»	0—1	»	»
	»	»	1—3	»	»
	< 1	волнистая	1—3	»	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещино- ватости	Степень заполнения, %
G 14	10 × 15 × 10	—	—	—
	10 × 25 × 10	5—7	5—10	0—10
	5 × 10 × 5	—	—	—

8. Ортогнейс биотитовый, мелкозернистый; минеральный состав: плагиоклаз, кварц, биотит, второстепенные минералы — апатит, рудный, вторичные минералы — мусковит, кальцит; структура лепидогранобластовая; текстура сланцеватая; цвет темно-серый; вторичные изменения заключаются в соссюритизации плагиоклаза и мусковитизации биотита

9

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4000	—	—	—	—
y	2,74	2,68	2,2	—	4020	—	—	—	—
z	—	—	—	—	4170	2300	—	73	70

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{l1}	R_{l2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,96	—	6	—	40	46	21,5	0,26

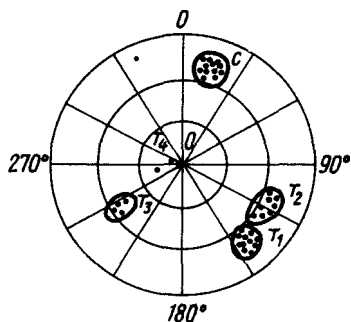
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

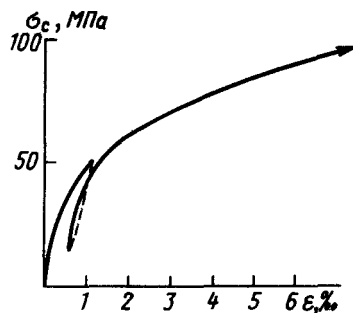
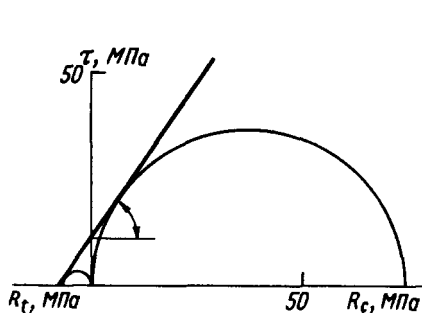
Плитчатые и
призматические
блоки непра-
вильной формы

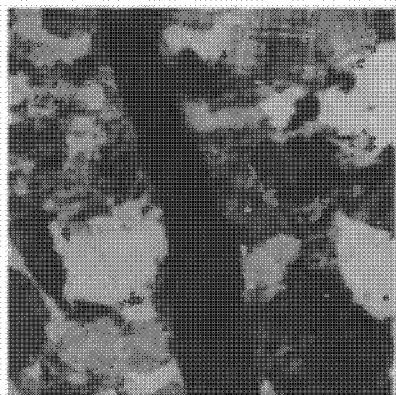
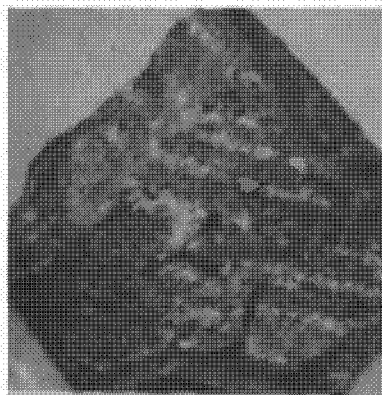
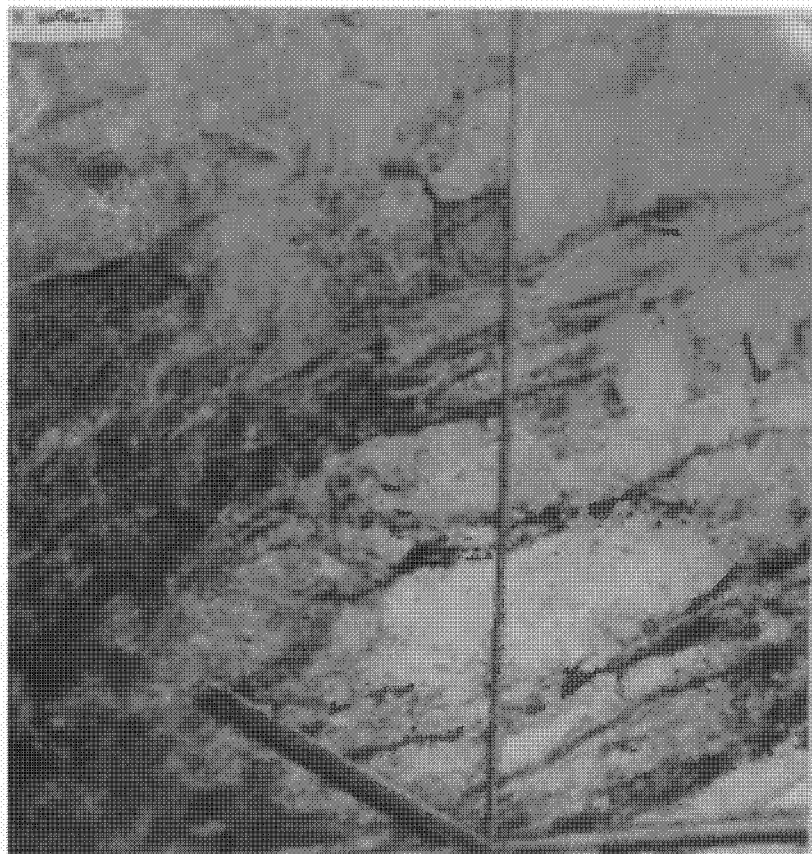
G 1441 4232331 5ск0217 5тк1538 1тк1217 1тк2436 1тз0001

6

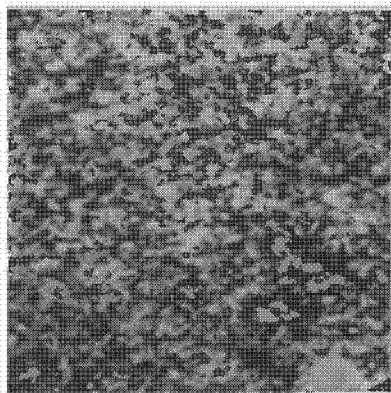
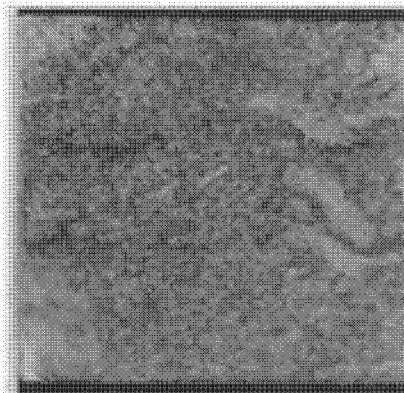


10





К-табл. 20



28. Римавака Банья

1. Карьер в центральной части Вспорского Рудогорья, действующий, размер обнажения 100×20 м, экспозиция северо-восточная. Рельеф со склонами средней крутизны. Расчлененность рельефа слабая
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: гнейсовый, ЛТ: мусковит-биотитовый гнейс (РА)
4. Массив состоит из плитчатых, прямо- или косоугольных призматических блоков. Четко выражены одна система плоскостей сланцеватости и три системы тектонических трещин. Трещины открытые или с песчано-глинистым заполнителем. Степень разуплотнения средняя. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Породы выветрелые. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$G_p 13$	с	215 ± 20	55	25 ± 5	20 хх
	T_1	160 ± 20	85	50 ± 20	3—10 ху
	T_2	320 ± 20	80	90 ± 40	2 тт
	T_3	100 ± 10	80	50 ± 20	3 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$G_p 13$	0,1—0,2	ровная	0,1	суглинистый
	0,5—1,0	кривая	0,1	песчано-суглинистый
	0,5—1,0	»	0,1	суглинистый
	0,01—0,1	ровная	0,1	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$G_p 13$	$25 \times 50 \times 90 \times 50$	—	—	—
	$30 \times 70 \times 130 \times 70$	2—5	3—4	35—65
	$20 \times 30 \times 50 \times 30$	—	—	—

8. Мусковит-биотитовый гнейс; минеральный состав: кварц, плагиоклазы, биотит, реже мусковит; структура порфиролепидобластовая, мелкозернистая; текстура сланцевая; цвет серый с розовыми пятнами; порода слабоветрелая

Оси	γ_v	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5400	—	305	200	—
y	2,77	2,74	1,18	0,24	4640	—	250	160	—
z	—	—	—	—	5030	—	295	170	140

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	80,3	57,9	49,6	—
y	—	—	—	16,5	—	59,3	69,9	65,4	0,19
z	130	0,82	0,76	—	—	69,4	50,3	47,4	0,20

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости			
-------------	-------------	-------------------	--------------------	--	--	--

Плитчатые и
призматические G_p 1333

4244422

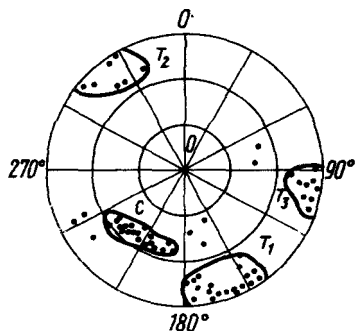
5сп2146

3тп1648

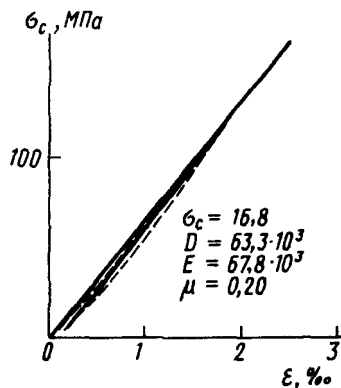
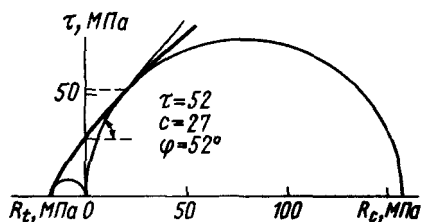
2тп3248

3то1028

6.



10



29. Черный Балог

1. Карьер в центральной части Вспорского Рудогорья, недействующий, размер обнажения 50 × 8 м. Рельеф крутой, интенсивно расчлененный, с развитыми процессами эрозии и денудации
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: гнейсовый; ЛТ: биотитовый гнейс (РА)
4. Массив состоит из блоков полиэдрической формы. Локально выражены две системы сланцеватости. Четко выделяются две системы тектонических трещин и связанные с ними дислокации. Трещины изменчивой ориентировки открытые, без заполнителя или с песчаным заполнителем. Степень разуплотнения средняя. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Породы выветрелые. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
$G_p 3 \times 3$	c ₁	140 ± 20	55	30 ± 15	20 хх
	c ₂	360 ± 20	55	30 ± 15	20 хх
	t ₁	20 ± 30	75	60 ± 20	3 тт
	t ₂	245 ± 5	58	30 ± 20	3 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
$G_p 3 \times 3$	0—0,2	ровная, кривая	< 0,1	—
	0,2—0,6	кривая	< 0,1	песчаный
	0,1—0,3	»	< 0,1	—
	0,2—0,4	ровная	0,1—0,3	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
$G_p 3 \times 3$	30 × 30 × 60 × 30	—	—	—
	45 × 45 × 80 × 50	2—5	8	100—90
	15 × 15 × 40 × 10	—	—	—

8. Биотитовый гнейс; минеральный состав: кварц, плагиоклазы, биотит, реже мусковит, вторичный хлорит и серицит; структура лепидогранобластовая, мелкозернистая; текстура сланцеватая; цвет серый; порода слабоветрелая

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4670	—	90	80	—
y	2,78	2,73	1,97	0,60	4840	—	120	110	—
z	—	—	—	—	2380	—	110	120	100

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	59,5	46,2	46,2	—
y	—	—	—	—	—	44,6	36,9	34,3	0,22
z	100	0,83	0,83	16,0	—	15,5	—	—	—

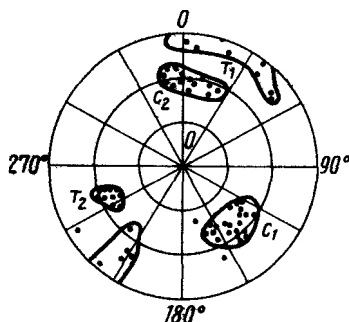
11

Тип массива	Код мас- сива	Код гор- ной породы	Код трещиноватости			
-------------	------------------	------------------------	--------------------	--	--	--

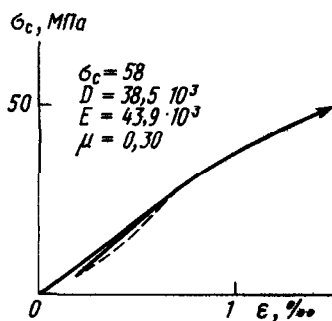
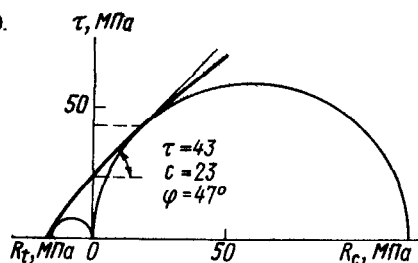
Полиэдрические
блоки.

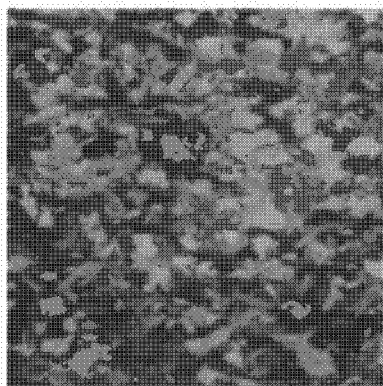
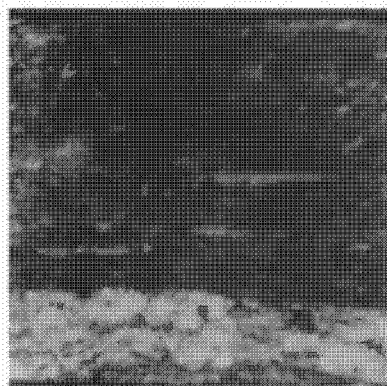
$G_p 3 \times 331$ 4234332 5с01445 5сп3645 2то0268 2то2416

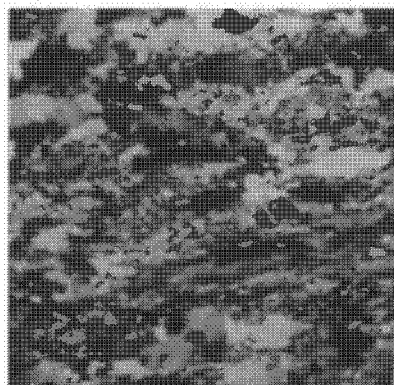
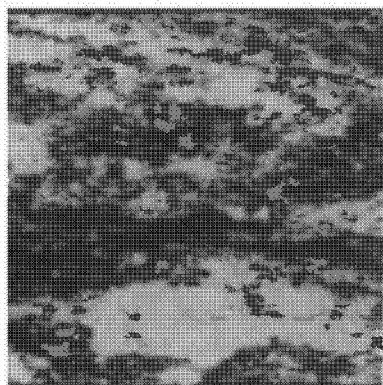
6.



10.







30. Кленовец

1. Карьер восточной части Вспорского Рудогорья, действующий, размер обнажения 150×40 м, экспозиция восточная. Рельеф пологий слабо расчлененный
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: мигматитовый; ЛТ: мигматит (Р)
4. Массив состоит из крупных призматических и полиэдрических блоков. Выражены одна система плоскости трещин по сланцеватости и две системы тектонических трещин. Трещины закрытые с песчано-суглинистым заполнителем в тектонических трещинах. Высокая степень техногенного разуплотнения от взрывов. Массив неоднородный по размерам блоков и однородный по форме блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
Mg 3 ^x 3	с	5 ± 10	20	15 ± 10	20 хх
	т ₁	195 ± 10	65	40 ± 30	3—10 тт
	т ₂	265 ± 15	80	40 ± 30	3—10 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
Mg 3 ^x 3	—	ровная	—	—
	5 ± 3	кривая	3—6	песчано-суглинистый
	5 ± 3	»	5	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс, мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
Mg 3 ^x 3	15 × 40 × 40	—	—	—
	25 × 70 × 70	≥ 15	7	100—90
	5 × 10 × 10	—	—	—

8. Мигматит; минеральный состав: кварц, плагиоклазы (альбит-олигоклаз), биотит, мусковит, гранат, акцессорные минералы, вторичные минералы, серицит, кальцит; структура лепидогранобластовая; текстура сланцеватая; цвет серый, пятнистый; породы в сохранном состоянии

Оси	γ_s	γ_d	n	K_{σ}	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4980	—	435	170	—
y	2,75	2,72	1,68	0,21	4580	—	360	150	—
z	—	—	—	—	4140	—	305	240	140

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{l1}	R_{l2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	67,5	—	—	—
y	—	—	—	14,0	—	61,6	65,2	57,9	0,22
z	140	0,58	0,58	—	—	46,7	73,3	69,4	0,20

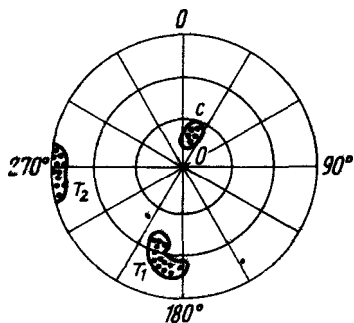
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
-------------	-------------	-------------------	--------------------	--	--

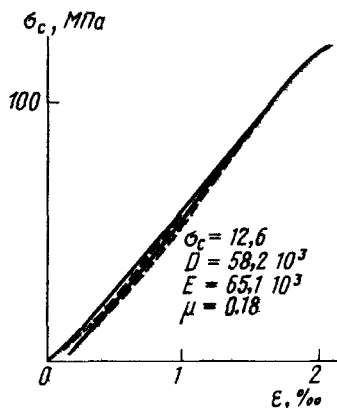
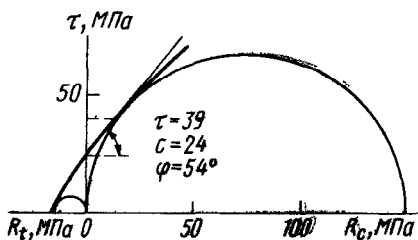
Призматические
блоки

$M_{g3} \times 341$ 4243432 5сз0122 3тп1927 3тп2638

6



10



31. Филиппово

1. Карьер в северной части Вспорского Рудогорья, недействующий; размер обнажений 50×18 м, экспозиция юго-западная. Сильно расчлененный рельеф с крутыми склонами
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: амфиболитовый; ЛТ: амфиболит
4. Массив состоит из блоков неправильной призматической формы. Интенсивно расчленен четко выраженными тремя системами тектонических трещин. Трещины закрытые. Степень разуплотнения низкая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
А 3 ^х 3	T ₁	180 ± 20	65	50 ± 30	10—20 хх
	T ₂	85 ± 20	65	40 ± 20	3—10 хт
	T ₃	340 ± 20	80	30 ± 20	3—10 хт
	д	128	70	—	20 хх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
А 3 ^х 3	0,5—5	ровная	1—5	—
	0,4—5	»	1—3	—
	0,4—5	»	1—3	—
	0,2	»	гладкая	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
А 3 ^х 3	50 × 40 × 30	—	—	—
	120 × 110 × 100	0,3—2	5	100—90
	20 × 20 × 10	—	—	—

8. Амфиболит, минеральный состав: амфиболы, плагиоклазы, вторичный серицит и хлорит, структура псевдопорфиروبластовая — гранобластовая, мелкозернистая; текстура сланцеватая; цвет темно-серый с зеленым налетом; порода слабоветрелая

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	$K_{\text{ш}}$	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5760	—	215	230	—
y	2,97	2,93	1,29	0,07	5980	—	320	245	—
z	—	—	—	—	5740	—	205	250	230

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	97,4	—	—	—
y	—	—	—	—	—	104,6	99,8	98,8	0,3
z	230	0,92	0,92	12,5	—	96,7	105,0	105,0	0,3

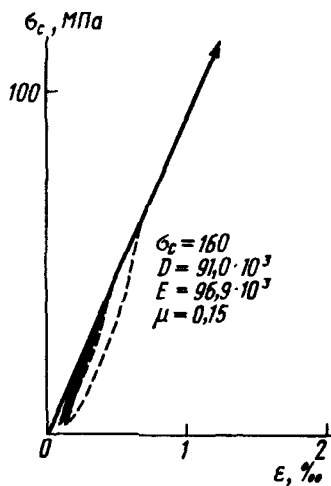
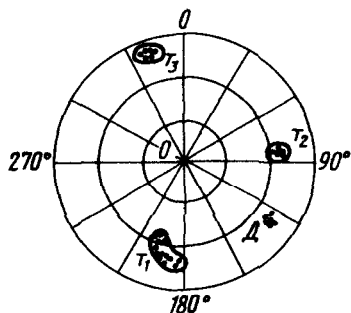
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

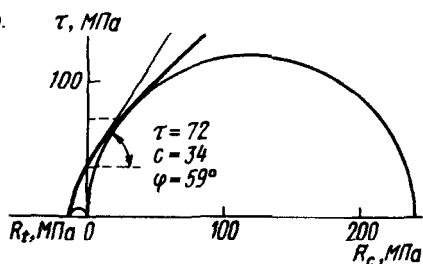
Неправильные
призматические
блоки

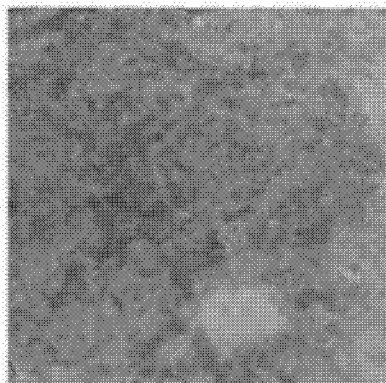
A3^x321 5253531 4то1847- 3то0846 3то3448 д1307

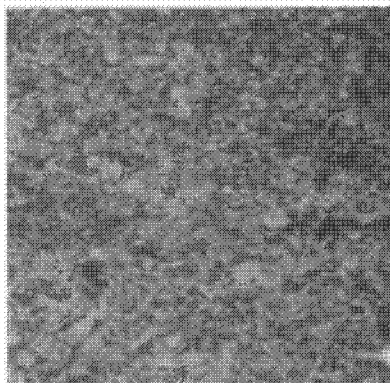
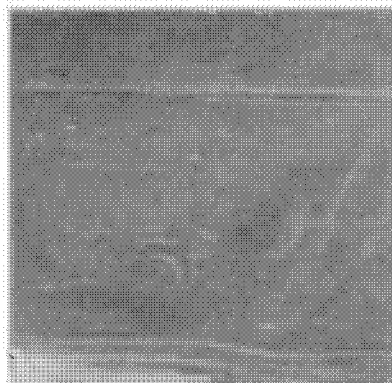
6



10.







32. Рыбичек

- 1 Дорожная выемка в центральной части Малых Карпат, размер обнажения $30 \times 1,5$ м, экспозиция юго-западная. Рельеф слабо расчлененный. Склон средней крутизны
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: амфиболитовый; ЛТ: амфиболит
4. Массив состоит из плитчатых призм. Четко выражены одна система трещин по сланцеватости и две системы тектонических трещин. Трещины закрытые, без заполнителя. Степень разуплотнения очень низкая. Массив достаточно однородный по форме и размером блоков. Породы в сохранном состоянии. Массив не ободненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
А 3+3	с	140 ± 15	70	15 ± 5	20 хх
	т ₁	60 ± 15	70	40 ± 35	10—20 х
	т ₂	320 ± 30	70	50 ± 20	1—3 тт

Тип массива	Раскрытые трещины, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
А 3+3	0	ровная	0,5	—
	0	>	0,1	—
	0	>	0—0,2	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
А 3+3	$15 \times 40 \times 50$	—	—	—
	$30 \times 75 \times 70$	< 0,2	8—9	100—90
	$10 \times 15 \times 30$	—	—	—

8. Амфиболит; минеральный состав: амфибол, плагиоклазы, эпидот, Fe-окислы, акцессорный кварц; структура гранобластовая, мелкозернистая; текстура сланцеватая; цвет темно-серый с зеленоватым оттенком; порода слабоветрелая

9

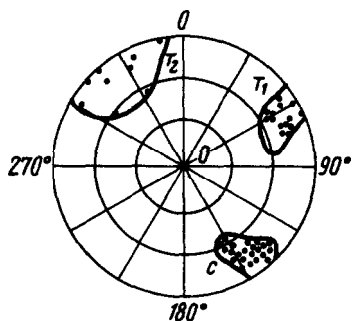
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_c	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5800	—	570	115	—
y	3,00	2,99	0,04	0,03	6460	—	500	180	—
z	—	—	—	—	6060	—	545	360	355

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	101,0	—	—	—
y	—	—	—	—	—	147,6	97,0	97,0	0,12
z	180	0,99	0,50	35	—	110,2	—	—	—

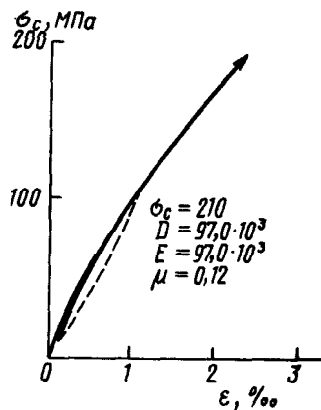
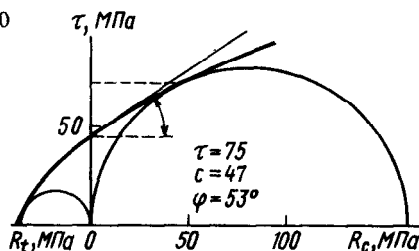
11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Призматические блоки	A3+311	5155512	5сз1437	4тз0637	2тз3267

6.



10



33. Доновалы

1. Дорожная выемка на западных склонах Низких Татр, размер обнажения 150×40 м, экспозиция восточная. Рельеф с очень крутыми склонами, интенсивно расчлененный эрозией.
2. Массив осадочных слабо динамометаморфизованных пород геосинклинального типа
3. Ф: терригенная; К: кремнистых песчаников; ЛТ: кварцит (T_1)
4. Массив состоит из призматических и кубических блоков. Выражены одна система трещин напластования и три-четыре системы вертикальных тектонических трещин. Трещины частично раскрыты на поверхности блоков, без заполнителя. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Породы выветрелые с поверхности. Массив не обводненный

Б.

Тип массива	Тип трещино- ватости	Азимут паде- ния, град	Угол паде- ния, град	Расстояние между трещи- нами, см	Длина трещин с кодом, м
Q 3+ 3	н	330 ± 20	5	25 ± 20	20 хх
	T_1	120 ± 10	65	15 ± 5	20 хх
	T_2	160 ± 20	80	15 ± 5	20 хх
	T_3	215 ± 15	80	20 ± 5	5 тт
	T_4	300 ± 20	85	40 ± 5	1—3 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шерохова- тость, мм	
Q 3+ 3	0,1—0,2	ровная	0,5	песчаный
	0,1—1	»	1—1,5	—
	0,2—1	»	1,5	—
	0,2	»	1,0	—
	0,3	»	0,8	—

Г.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс. мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещинова- тости	Степень заполнения, %
Q 3+ 3	$25 \times 15 \times 15$	—	—	—
	$45 \times 20 \times 30$	2—5	4	100—90
	$5 \times 10 \times 10$	—	—	—

8. Кварцевый песчаник (кварцит); минеральный состав: кварцит, обломки кварца, цемент кварцевый; структура крупнопсаммитовая, текстура не ясно ориентированная (только локально); цвет серый; порода в сохранным состоянии

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5170	—	510	—	—
y	2,65	2,62	1,15	0,43	5020	—	550	—	—
z	—	—	—	—	5010	—	490	220	210

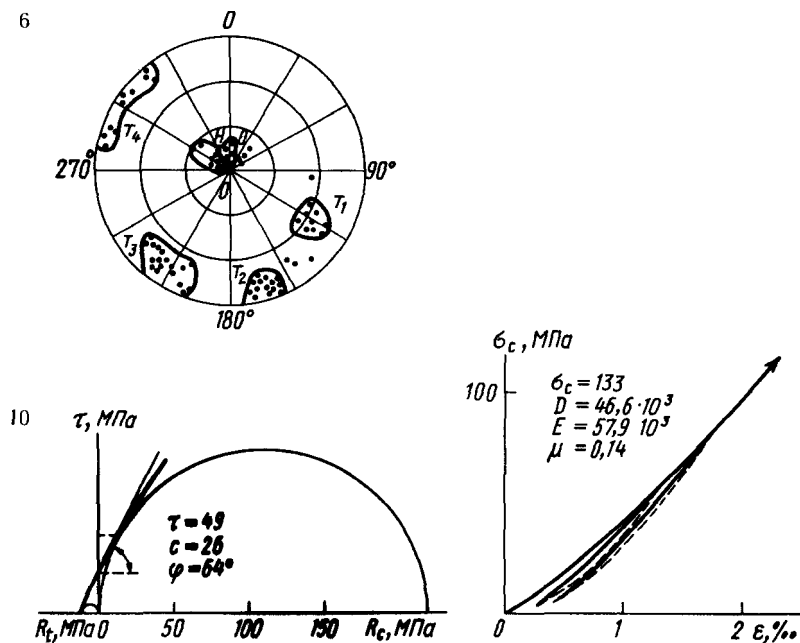
Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	70,0	—	—	—
y	—	—	—	—	—	66,0	—	—	—
z	170	0,95	0,77	10,9	—	65,8	50,3	39,2	0,14

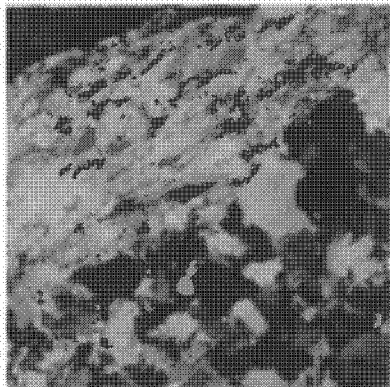
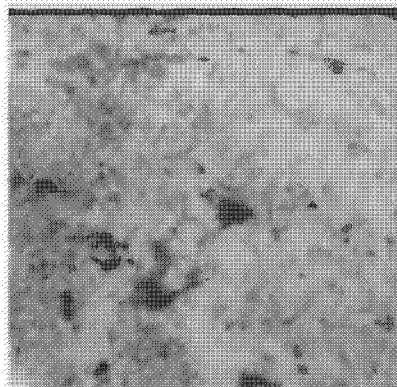
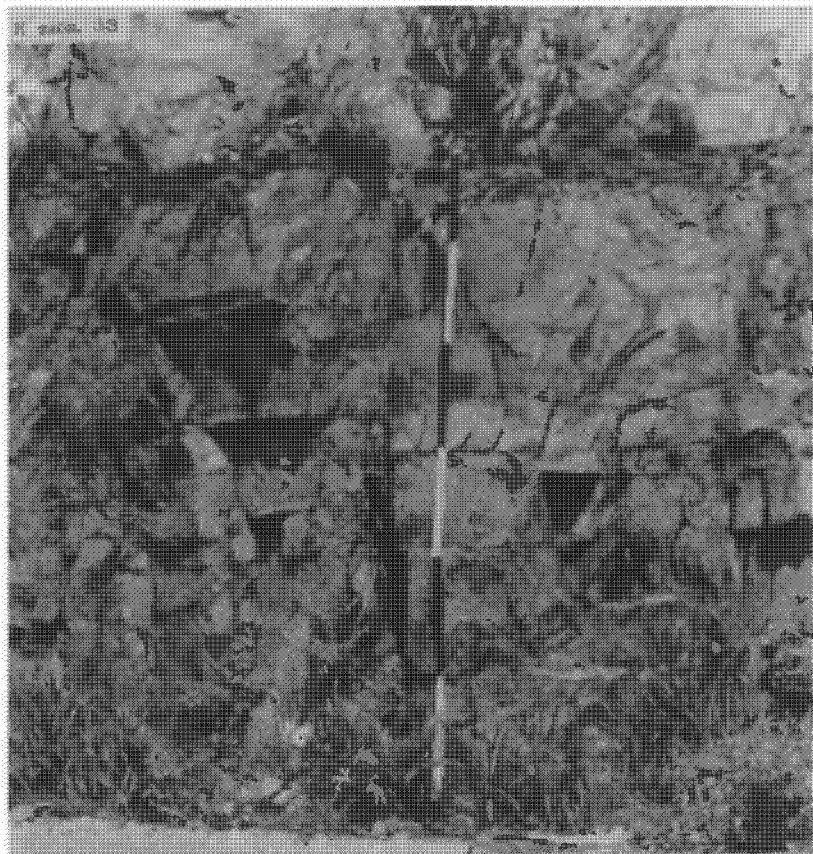
11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости				
-------------	-------------	-------------------	--------------------	--	--	--	--

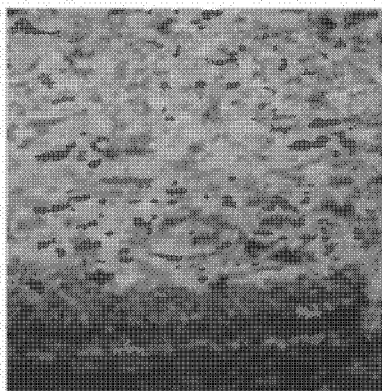
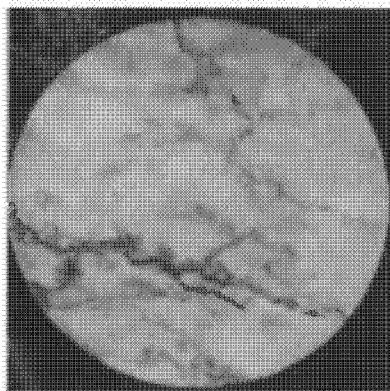
Прямоугольные призматические блоки и кубы $Q3^+$ 4243411 5но3341 5то1226 5то1648 3то2138 2то3048 331

6





X. 100x 244



34. Тугар

1. Карьер в южной части Веспорского Рудогорья, размер обнажения 80×10 м, экспозиция западная. Рельеф интенсивно расчлененный с крутыми склонами и глубоким эрозионным врезом
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: мраморов; ЛТ: мрамор (J)
4. Массив состоит из призматических и досковидных блоков. Первичный характер изменен процессами метаморфизма и тектонической нарушенностью. Плоскости напластования отсутствуют. Выражены три системы тектонических трещин. Трещины открытые с суглинистым заполнителем. Степень разуплотнения большая. Массив относительно однородный по форме и размерам блоков. На блоках наблюдаются признаки псевдокарста. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
C 3 ⁺ 3	T ₁	20 ± 15	55	30 ± 15	1—3 тт
	T ₂	120 ± 20	80	50 ± 20	1 тт
	T ₃	220 ± 20	70	35 ± 15	2—3 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
C 3 ⁺ 3	0,8—1,5	ровная	1—2	суглинистый
	1,0—3,0	кривая	1—5	»
	0,5—2,0	»	1—5	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
C 3 ⁺ 3	30 × 50 × 35	—	—	—
	45 × 70 × 50	5—15	4	10—35
	15 × 30 × 20	—	—	—

8. Кристаллический известняк (мрамор); минеральный состав: кальцит (зерна $d = 0,2$ мм), акцессорные минералы — кварц и эпидот; структура гранобластовая, тонкозернистая; текстура плоскопараллельная; цвет светло-серый, розоватый. Перекристаллизация глинисто-суглинистых включений. Порода в сохранном состоянии

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5870	—	140	140	—
y	2,70	2,69	0,28	0,09	5930	—	190	135	—
z	—	—	—	—	5860	—	150	160	150

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_n	μ
x	—	—	—	—	—	93,1	78,0	76,0	—
y	—	—	—	—	—	95,1	73,0	73,0	—
z	130	0,94	0,81	10,2	—	92,7	80,7	80,7	0,21

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

Призматические и
кубические блоки

C3+324

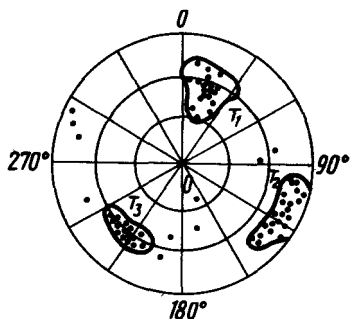
414341

2тп0236

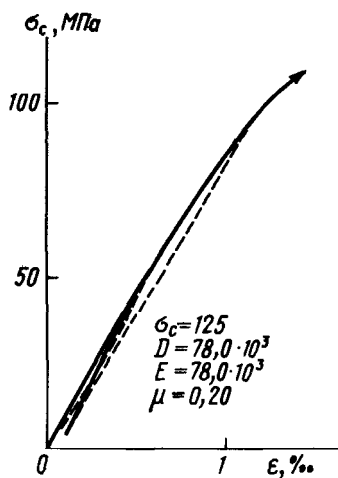
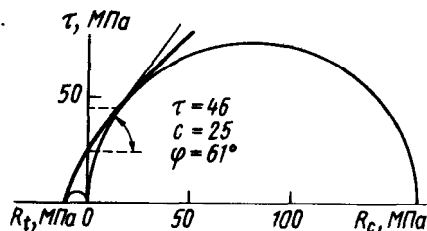
2тп1248

2то2247

6.



10.



35. Хармония

1. Карьер в юго-восточной части Малых Карпат, действующий, размер обнажения 40×7 м, экспозиция западная. Рельеф с пологими и средними склонами, слабо расчлененный
2. Массив метаморфических пород геосинклинального типа
3. Ф: метаморфическая; К: известняков; ЛТ: известняк (Т)
4. Массив без значительного расчленения — блоки представляют собой плохо выраженные призмы и плиты. Одна система трещин плоскости сланцеватости и одна система тектонических трещин. Трещины без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив необводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
I 14	с	150 ± 10	40	25 ± 20	10 хх
	т	85 ± 10	70	100 ± 50	3—5 хт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
I 14	$0,2 \pm 0,1$	волнообразная кривая	1—4	—
	$0,5 \pm 0,3$		5	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мм)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
I 14	$25 \times 100 \times 50$	—	—	—
	$45 \times 150 \times 100$	$< 0,3$	10	100—90
	$5 \times 50 \times 30$	—	—	—

8. Известняк перекристаллизованный; минеральный состав: кальцит, глинисто-суглинистый материал перекристаллизован; структура гетеробластовая, мелкозернистая; текстура направленная; цвет светло-серый; порода слабавыветрелая

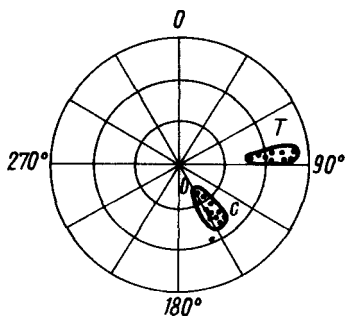
Оси	γ_s	γ_d	μ	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5550	—	190	70	—
y	2,77	2,74	0,90	0,28	5480	—	220	105	—
z	—	—	—	—	5760	—	170	145	90

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	84,4	—	—	—
y	—	—	—	—	—	82,2	26,6	26,6	—
z	70	0,62	0,48	9,5	—	90,9	—	—	—

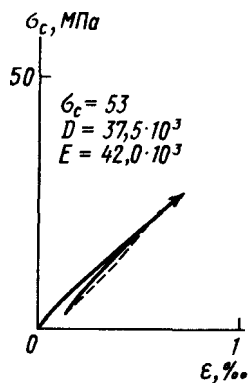
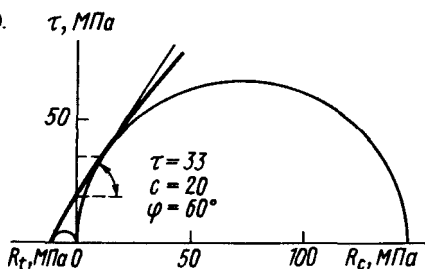
11

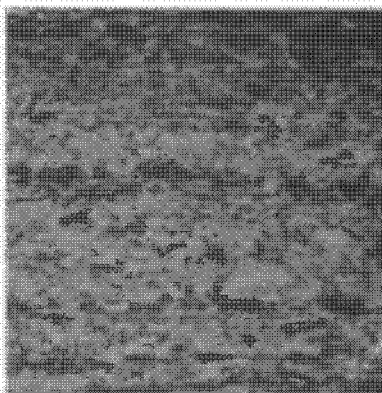
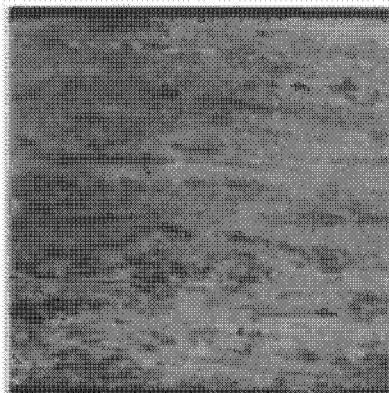
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
Плитчатые блоки	11411	41323-2	5сз1524
			3то0827

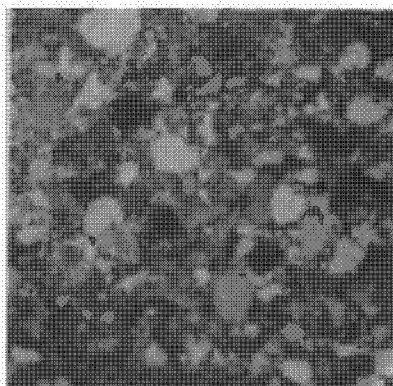
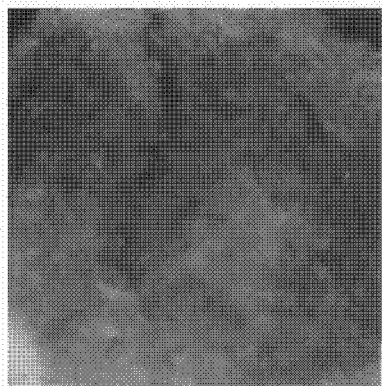
6



10.







36. Таллах XVI

1. Естественное обнажение в борту лога «Угольный». Рельеф горный, интенсивно расчлененный
2. Массив осадочно-терригенных пород платформенного типа; пласты
3. Ф.: терригенная; К: обломочных пород; ЛТ: песчаник (C_1-P_2)
4. Массив состоит из толстоплитчатых блоков. Выражены одна главная система трещин напластования и системы тектонических трещин. Трещины закрытые и открытые. Разуплотнение сильное. Массив однородный по форме и размерам блоков. Порода сохраняющая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
п 14	н	350 ± 15	20	25 ± 10	3—5 до 10
	T_1	175 ± 5	65	30 ± 10	0,2—0,5
	T_2	265 ± 5	75	40 ± 10	0,2—0,5

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
п 14	0—3,5	прямая	0—1	нет
	0—2	»	0,2—2	»
	0—2	»	0,2—2	»

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
п 14	$20 \times 25 \times 30$	—	—	—
	$25 \times 30 \times 35$	1,2	5	—
	$15 \times 20 \times 25$	—	—	—

8. Песчаник полимиктовый, крупнозернистый; минеральный состав: кварц, калиевый полевой шпат, обломки базальтов, рудный минерал; цемент карбонатный; текстура массивная; цвет серый

9

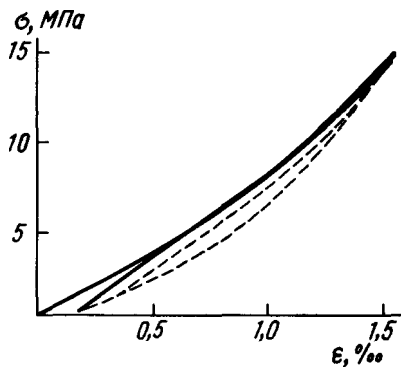
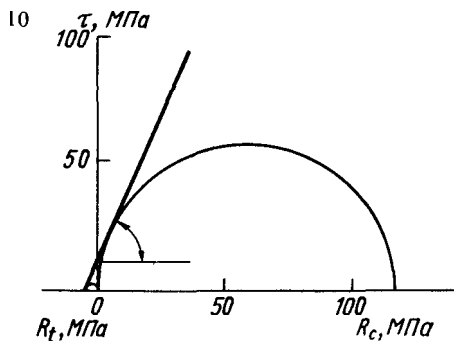
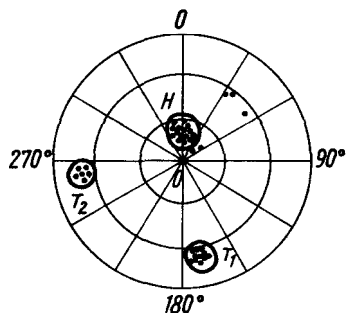
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4050	—	—	—	—
y	2,79	2,65	5,0	3,0	4050	—	—	—	—
z	—	—	—	—	4000	2550	—	115	60

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E_0	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,52	—	10	3,0	43	11	9	0,18

11

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Плитчатые блоки	п 1421	4332221	Знз3532	1то1817	1то2718

6



37. Томашовце

1. Карьер в южной части Левочских гор, частично действующий, размер обнажения 100×40 м, экспозиция южная. Рельеф холмистый с пологими склонами и неглубокой эрозонной расчлененностью
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: флишевая; К: обломочных пород; ЛТ: песчаник (PG₂)
4. Массив состоит из призматических и кубических блоков, образованных одной системой трещин напластования и двумя системами тектонических трещин. Трещины закрытые, без заполнителя. Степень разуплотнения — очень низкая. Массив однородный по форме блоков и неоднородный по размерам. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
п 3+3	н	190 ± 10	5	40 ± 20	20 хх
	т ₁	95 ± 20	90	40 ± 20	20 хх
	т ₂	220 ± 30	80	50 ± 10	20 хх
	т ₃	90 ± 30	20	60 ± 20	5 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
п 3+3	0,1—0,2	ровная	$< 0,1$	—
	0,1—0,3	кривая	гладкая	—
	0,2—0,3	»	»	—
	0,2—0,3	»	»	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
п 3+3	$40 \times 40 \times 50 \times 60$	—	—	—
	$60 \times 60 \times 60 \times 80$	$< 0,3$	5	100—90
	$20 \times 20 \times 40 \times 40$	—	—	—

8. Песчаник; минеральный состав: кварц, обломки известняков, незначительная примесь мусковита и полевых шпатов, цемент карбонатный; структура мелкопсаммитовая, текстура неяснослоистая; цвет светло-серый; порода в сохранном состоянии

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5150	—	220	—	—
y	2,75	2,73	0,61	0,29	5260	—	210	—	—
z	—	—	—	—	4960	—	210	210	190

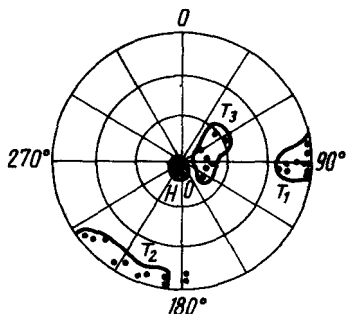
Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	72,6	—	—	—
y	—	—	—	—	—	75,8	—	—	—
z	170	0,90	0,81	11,5	—	67,4	52,1	47,7	0,18

11.

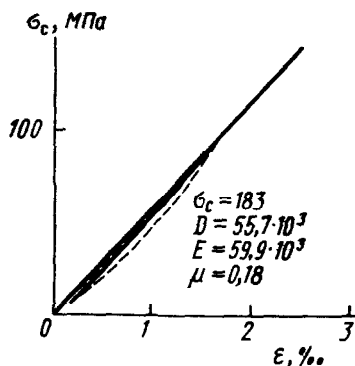
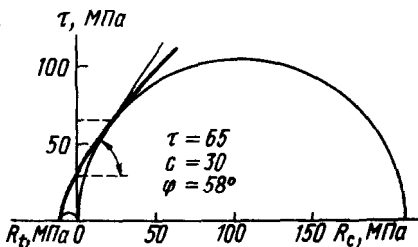
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	-------------------	--------------------

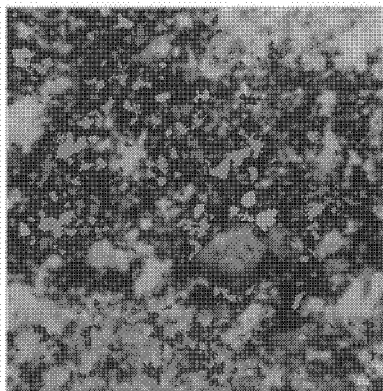
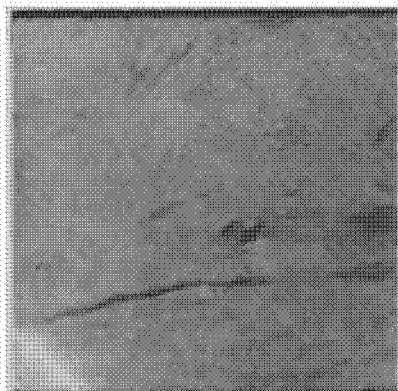
Призматические и кубические блоки и 3+311 4143321 5нз1921 5тз0949 5тз2268 3тз0962

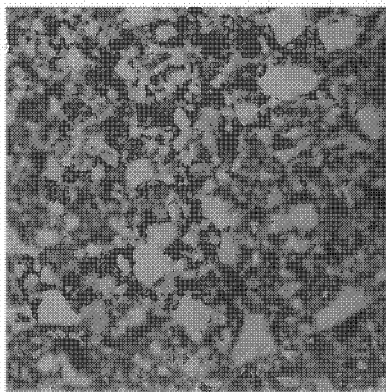
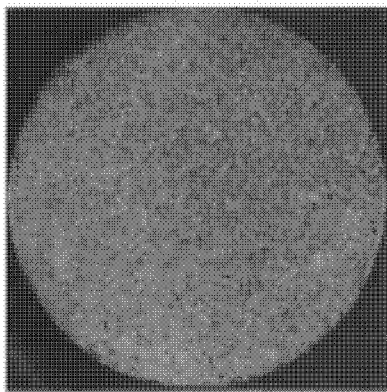
6.



10.







38. Топоречи

- 1 Карьер в восточной части Левочских гор, недействующий, размер обнажения 50×5 м, экспозиция южная. Пологий рельеф со слабой расчлененностью
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: флишевая; К. обломочных пород, ЛТ: песчаник (PG₂)
4. Массив представлен толщей переслаивания плитчатых песчаников и сланцеватых алевролитов. Четко выражены одна система трещин напластования и две системы тектонических трещин. Трещины закрытые и открытые, иногда с песчано-глинистым заполнителем. Степень раскрытия средняя. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Породы выветрелые. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
п. «ф» 14	н	145 ± 10	40	15 ± 10	20 хх
	т ₁	315 ± 20	65	25 ± 15	0,5 тт
	т ₂	45 ± 5	80	25 ± 15	0,5 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
п. «ф» 14	0	ровная	0	—
	$0,5 \pm 0,4$	»	0,1—1	—
	$0,5 \pm 0,4$	»	0,2—1	—

7.

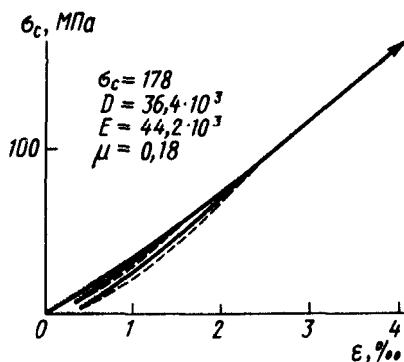
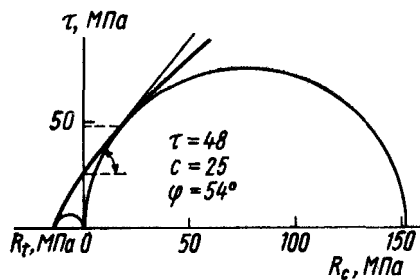
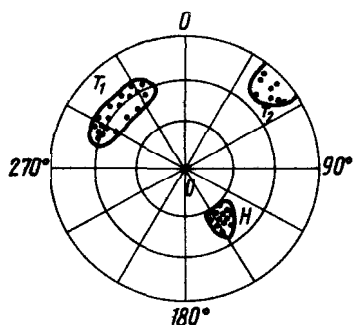
Тип массива	Блочность, см (преобл., макс. мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
п. «ф» 14	$15 \times 25 \times 25$	—	—	—
	$35 \times 60 \times 60$	0,3—2	6	100—90
	$5 \times 10 \times 10$	—	—	—

- 8 Песчаник: минеральный состав: зерна и обломки кварца, карбонатов, слюдяные минералы, обломки кварцитов, роговиков, полевых шпатов, цемент карбонатный; структура мелкопсаммитовая, текстура неясно слоистая; цвет серый; порода в сохранившем состоянии

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4070	—	260	—	—
y	2,72	2,64	2,99	0,97	4020	—	220	—	—
z	—	—	—	—	4070	—	280	150	140

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{11}	R_{12}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	52,0	—	—	—
y	—	—	—	—	—	53,0	—	—	—
z	130	0,93	0,87	12,5	—	52,0	45,4	38,5	0,17

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
Тонкоплитчатые блоки	п «Ф»1421	4243321	5нз1424
			1то3146
			1то0418



39. Кежмарок

1. Карьер в восточной части Левочских гор, недействующий, размер обнажения 120×8 м, экспозиция восточная. Рельеф пологий с широкими долинами и со слабой эрозией расчлененностью
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: флишевая; К: обломочных пород; ЛТ: песчаник (PG₂)
4. Массив представлен чередованием плитчатых песчаников и сланцеватых алевролитов. Четко выражены одна система трещин напластовая и две системы тектонических трещин. Трещины неравномерно раскрыты, без заполнителя. Массив однородный по форме блоков и неоднородный по размерам. Породы выветрелые с поверхности. Массив необводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
п. «Ф» 13	н	320 ± 10	5	50 ± 20	20 хх
	т ₁	270 ± 30	80	60 ± 20	10 хх
	т ₂	10 ± 25	80	60 ± 20	10 хх

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
п. «Ф» 13	0—0,1	ровная	0,1—2	—
	0—0,4	кривая	2—5	—
	0,1—0,6	»	1—3	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
п. «Ф» 13	$50 \times 60 \times 60$	—	—	—
	$70 \times 80 \times 80$	2—5	3	100—90
	$30 \times 40 \times 40$	—	—	—

8. Песчаник; минеральный состав: кварц, кварцит, полевые шлаты, бнотнт, карбонаты, цемент карбонатный; структура среднеспаммитовая; текстура неясно-слоистая; порода слабыветрелая; цвет серый

4

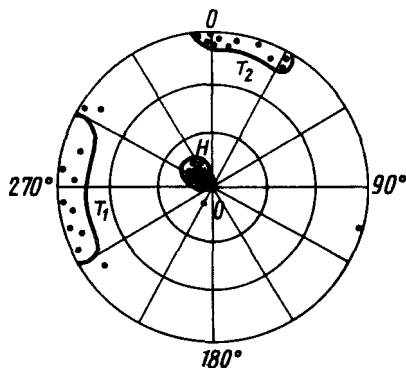
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c_1}	R_{c_2}
x	—	—	—	—	3100	—	200	—	—
y	2,71	2,49	8,17	2,71	3060	—	130	—	—
z	—	—	—	—	3070	—	170	80	60

Оси	R_{c_3}	K_1	K_2	R_{t_1}	R_{t_2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	23,9	—	—	—
y	—	—	—	—	—	23,3	—	—	—
z	55	0,75	0,69	6,8	—	23,4	19,0	12,9	0,17

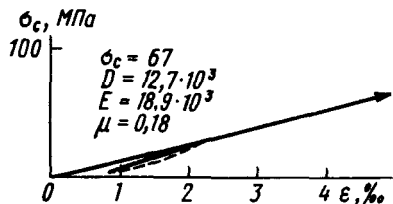
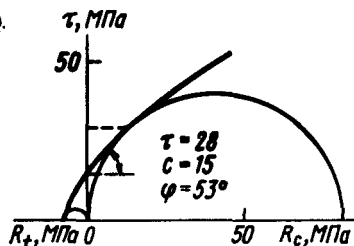
11.

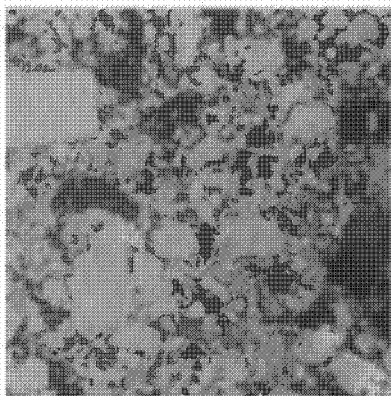
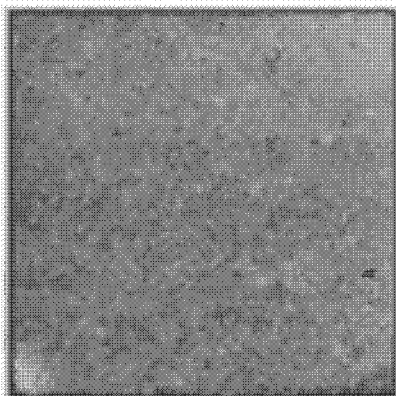
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Крупноплиточные блоки	п«ф»1331	3332222	5нз3220	4то2768	4то0158

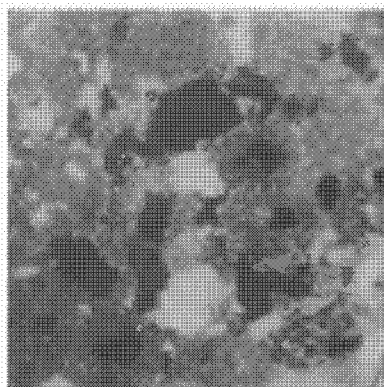
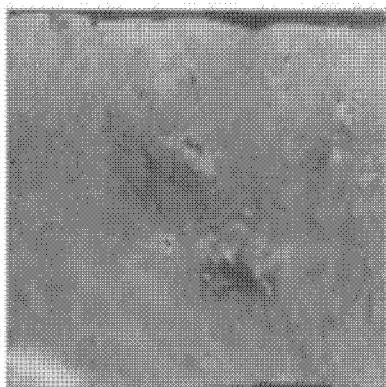
6.



10.







40. Богучаны II

1. Естественное обнажение в правом борту среднего течения Ангары, у пос. Кодинская заимка. Рельеф холмистый, умеренно расчлененный
2. Массив осадочных пород платформенного типа; пласты пород
3. Ф: терригенно-карбонатная; К: переслаивающихся пород: песчаников, аргиллитов и алевролитов; Т: песчаник (0)
4. Массив имеет плитчатое строение и состоит из чередования толстоплитчатых песчаников и тонкоплитчатых алевролитов и аргиллитов. Четко выражены одна система плоскостей напластования и две системы крупнопадающих трещин. Трещины неравномерно раскрытые. Заполнитель дресвяно-щебнистый, супесчано-суглинистый. Разуплотнение большое — по характеру материала породы. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода выветрелая с поверхности. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
р «фс» 14	н	135 ± 10	5	20 ± 19	3—10
	т ₁	45 ± 10	80	35 ± 25	1—3
	т ₂	305 ± 15	80	35 ± 25	1—3

Тип массива	Раскрытие трещины, мм	Поверхность трещины		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
р «фс» 14	3,5 ± 3,5	прямая	0—2	Супесчано-суглинистый, следы ожелезнения дресвяно-щебнисто-супесчано-суглинистый дресвяно-щебнистый, супесчано-суглинистый
	15,5 ± 4,5	кривая	1—3	
	15,5 ± 4,5	»	1—3	

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс, мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
р «фс» 14	15 × 25 × 45	—	—	—
	40 × 60 × 60	5,5	6	10—25
	1 × 10 × 10	—	—	—

8. Песчаник полминеральный, мелко-, среднезернистый; минеральный состав: кварц, полевые шпаты, плагиоклазы, обломки пород. Размер зерен — от 0,1 до 0,3 мм, обломки округлые, плохо- и среднеокатанные, изометричные; тип цемента — базальный карбонатный, намечаются элементы перекристаллизации; цвет серый

9

Оси	γ_s	γ_d	n	K_d	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4600	—	—	—	—
y	2,75	2,60	5,5	1,65	4680	—	—	—	—
z	—	—	—	—	4820	2550	—	100	90

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,90	—	5,5	—	—	—	—	0,30

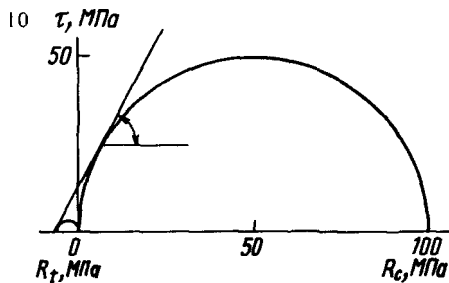
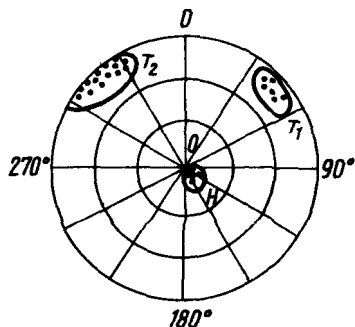
11.

Тип массива	Код мас- сива	Код свойств горной породы	Код трещиноватости
-------------	------------------	---------------------------------	--------------------

Плитчатые блоки
флишевочередующихся пород изогнутой формы

р«фс»1444 4332-33 3нг1421 2т1г0528 2т2г3138

6.



41. Днестр I

1. Естественное обнажение в бечевнике правого борта Днестра на участке при-
мыкания плотны. Рельеф слабо расчлененный
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: терригенно-карбонатная; К: обломочный; ЛТ: песчанник (РР)
4. Массив состоит из относительно крупных плитчатых и кубических блоков. Четко
выражена одна главная система плоскостей напластования и две системы текто-
нических трещин. Трещины закрытые и открытые, заполнитель — супесчано-
суглинистый материал с дресвой. Степень разуплотнения низкая. Массив одно-
родный по форме блоков и неоднородный по размерам блоков. Порода частично
выветрелая. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещи- новатости	Азимут паде- ния, град	Угол паде- ния, град	Расстояние между тре- щинами, см	Длина трещин с кодом, м
р 22	н	245 ± 5	2	25 ± 15	10—15
	т ₁	325 ± 5	80	150 ± 50 до 1000	
	т ₂	60 ± 5	85	150 ± 50 до 1000	

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шерохова- тость, мм	
р 22	4 ± 3	прямые	0	супесчано- суглинистый с дресвой
	6 ± 4	»	0	—
	6 ± 4	»	0	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещинова- тости	Степень заполнения, %
р 22	30 × 100 × 80	—	—	—
	40 × 150 × 100	1,4	1—5	—
	5 × 10 × 10	—	—	—

8. Песчанник кварцитовидный, мелко- и среднезернистый, неравномернозернистый;
минеральный состав: кварц, полевые шпаты, окатанность зерен значительная,
тип цемента — поровый; цвет серый

9.

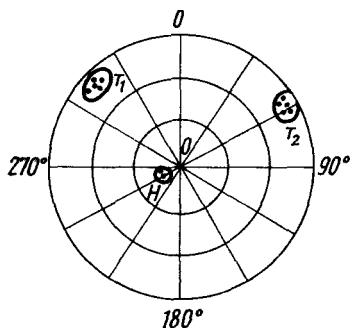
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	2,65	2,30	13,6	—	—	—	—	—	—
z	—	—	—	—	3430	1820	—	20	—

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{f1}	R_{f2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	—	—	9	—	—	27	26	0,12

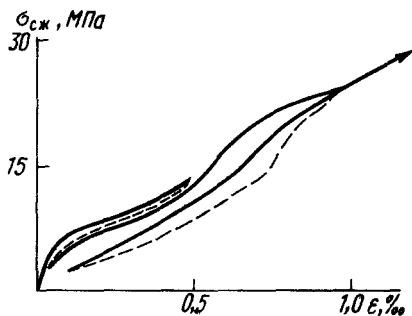
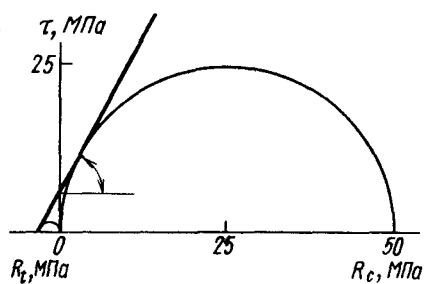
11.

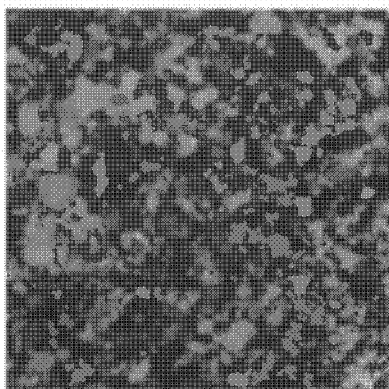
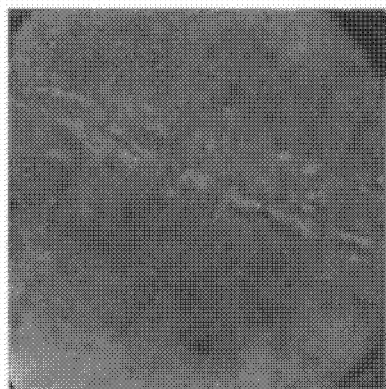
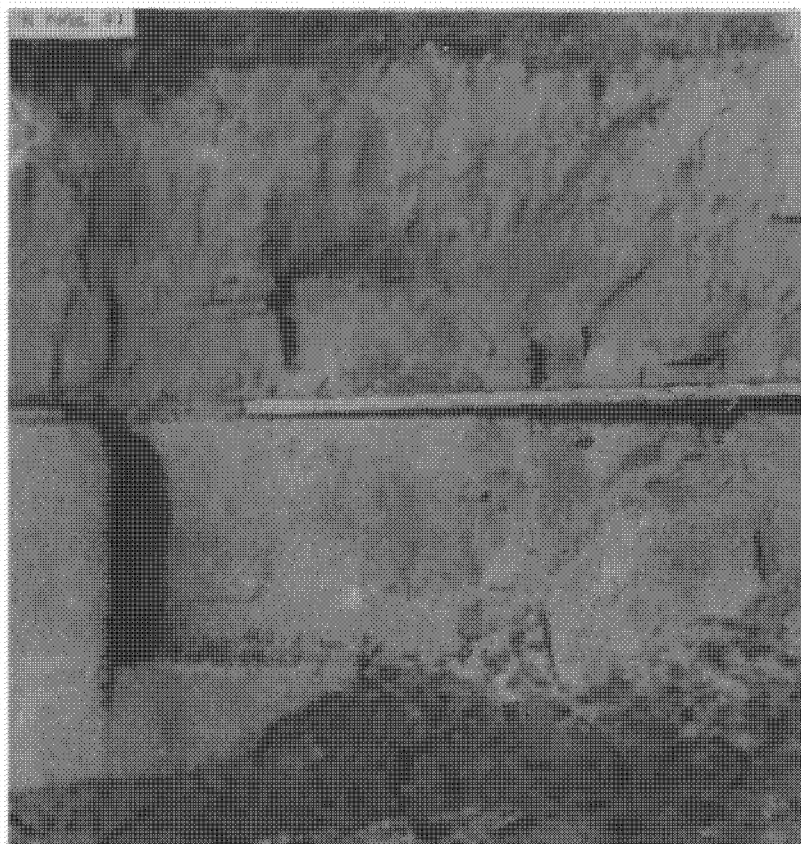
Тип массива	Код массива	Код свойств горной породы	Код трещиноватости
Плитчатые формы блоков	p2221	3322313	4нз2511 2т1г3318 2т2г0619

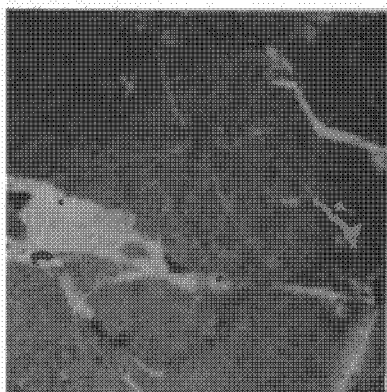
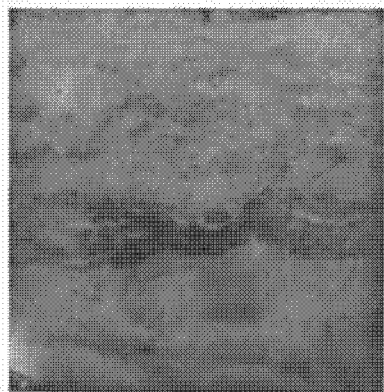
6.



10.







42. Молча

1. Карьер в северо-восточной части Зволенской верховины, действующий, размер обнажения 50 × 30 м, экспозиция южная. Рельеф с крутыми склонами, развиты процессы эрозии
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: карбонатная; К: органогенных пород; ЛТ: известняк (Т₂)
4. Массив состоит из блоков призматической, плитчатой и кубической формы. Четко выражены одна система трещин напластования и две-три системы тектонических трещин с колеблющейся ориентировкой. Трещины закрытые и открытые, частично заполнены песчано-суглинистым минералом. Степень разуплотнения низкая. Массив однородный по форме блоков и размером блоков. Породы слабовыветрелые. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
I 3 + 3	н	70 ± 15	25	45 ± 40	20 хх
	Т ₁	80 и 260 ± 10	85	40 ± 20	20 хх
	Т ₂	325 ± 5	80	25 ± 10	2 тт
	Т ₃	125 ± 5	85	70 ± 30	2 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
I 3 + 3	0,4 ± 0,4	ровная	0—1	песчано-суглинистый
	0	»	1—2	—
	0,3 ± 0,1	»	30—40	кальцитовый
	0,5 ± 0,1	»	0—1	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
I 3 + 3	45 × 40 × 25 × 70	—	—	—
	85 × 60 × 35 × 100	0,3—2	4—6	90—65
	5 × 20 × 15 × 40	—	—	—

8. Известняк; минеральный состав: кальцит и кальцитовые скелетные остатки организмов; структура органогеннопелитоморфная; текстура массивная; цвет светло-серый; порода в сохранном состоянии; заполнитель микротрещин — кальцит

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4100	—	250	—	—
y	2,76	2,49	9,47	4,87	3630	—	250	—	—
z	—	—	—	—	3840	—	260	110	90

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_s	E	μ
x	—	—	—	—	—	45,0	—	—	—
y	—	—	—	6,6	—	45,0	—	—	—
z	85	0,82	0,77	—	—	46,0	29,9	23,5	0,17

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости			
-------------	-------------	-------------------	--------------------	--	--	--

Прямоугольные
призматические
блоки

13+322

3332321

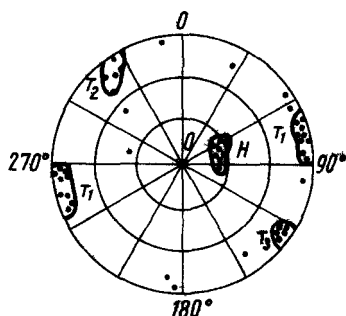
5нп0732

5тп0828

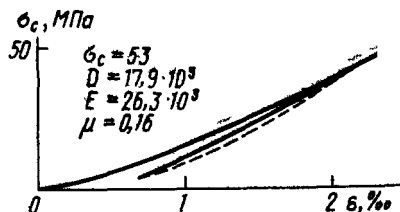
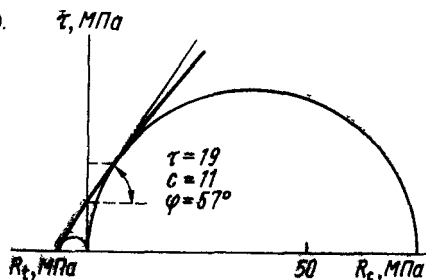
2тз3218

2то1219

6.



10.



43. Зазрива

1. Участок дороги в северо-восточной части Малой Фатры, размер обнажения 30×8 м, экспозиция северо-восточная. Рельеф интенсивно расчлененный с крутыми склонами
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: карбонатная; К: органогенных пород; ЛТ: известняк (J_2)
4. Массив состоит из плитчатых и призматических блоков. Выражены одна главная система трещин напластования и две системы тектонических трещин. Трещины закрытые, без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. Массив однородный по форме блоков и неоднородный по размерам блоков. Породы слабовеетрелые. Массив не обводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
I 13	и	330 ± 10	40	30 ± 20	20 хх
	т ₁	190 ± 15	70	90 ± 60	3—10 тт
	т ₂	60 ± 10	80	60 ± 30	3—10 тт
I 14	и	330 ± 10	40	15 ± 10	20 хх
	т ₁	190 ± 15	70	25 ± 10	0,5 тт
	т ₂	60 ± 10	80	25 ± 10	0,5 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
I 13	0—0,1	ровная	0	—
	0—0,2	кривая	0,1	—
	0—0,05	ровная	0,1	—
	0—0,1	»	0	—
I 14	0—0,2	кривая	0,1	—
	0—0,05	ровная	0,1	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл. макс. мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
I 13	$30 \times 90 \times 60$	—	—	—
	$50 \times 150 \times 90$	0,3—2	5	100—90
	$10 \times 30 \times 30$	—	—	—
	$15 \times 25 \times 25$	—	—	—
I 14	$25 \times 35 \times 35$	0,3—2	10	100—90
	$5 \times 15 \times 15$	—	—	—

8. Известняк; минеральный состав: кальцит, незначительная примесь доломита и глинистого вещества; структура органогенно-пелитоморфная; текстура неясно-слоистая; цвет светло-серый; порода в сохранном состоянии

9.

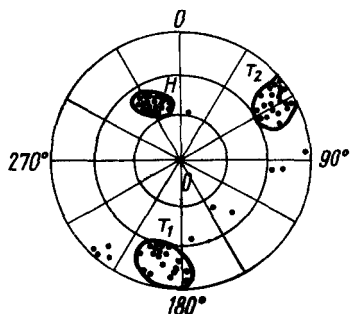
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	d_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	6100	410	—	105	—
y	2,71	2,69	0,58	0,09	6050	390	—	120	—
z	—	—	—	—	5570	510	—	190	150

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{I1}	R_{I2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	100,1	—	—	—
y	—	—	—	—	—	98,4	—	—	—
z	145	0,79	0,76	13,7	—	83,4	73,2	73,2	0,17

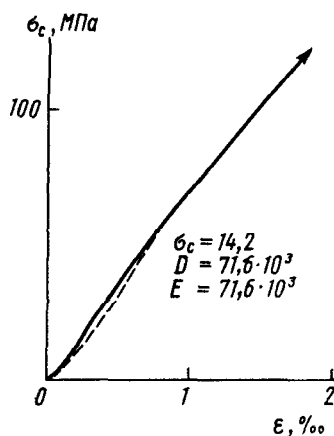
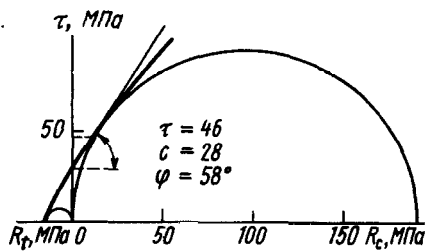
11.

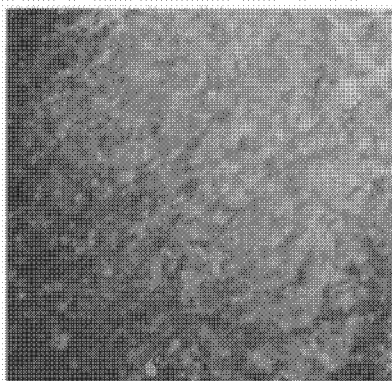
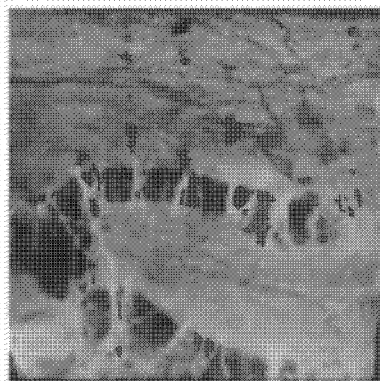
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
Плитчатые блоки	1 1331	4143421	5из33324 3тз1937 3тз0628
Тонкоплитчатые блоки	1 1431	—	5из33324 1тз1937 1тз0628

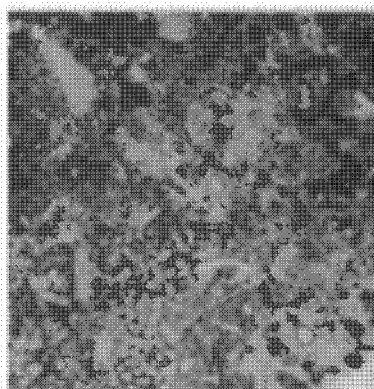
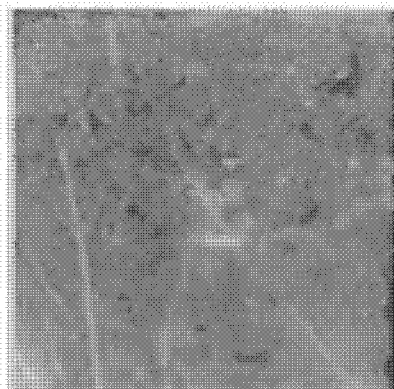
6.



10.







44. Штупец

1. Карьер в западной части Низких Татр, недействующий, размер обнажения 50×20 м, экспозиция юго-западная. Рельеф с крутыми склонами, интенсивно расчлененный
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: карбонатная; К: органогенных пород; ЛТ: известняк (T_2)
4. Массив состоит из крупных плитчатых и призматических блоков. Четко выражены одна система трещин напластования и одна система тектонических трещин. Трещины закрытые и открытые, иногда с глинистым заподнителем. Степень разуплотнения низкая. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Породы сохранные. Массив не обводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
-------------	--------------------	----------------------	--------------------	--------------------------------	-------------------------

$I 13$	н т	310 ± 5 125 ± 5	40 75	60 ± 40 50 ± 40	20 хх 1 тт
--------	--------	----------------------------	----------	----------------------------	---------------

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заподнитель
		форма	шероховатость, мм	

$I 13$	$0,6 \pm 0,4$ $0,1 - 0,3$	ровная »	3—10 0,3—2	глинистый —
--------	------------------------------	-------------	---------------	----------------

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
-------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------	-----------------------

$I 13$	$60 \times 50 \times 50$ $100 \times 90 \times 80$ $20 \times 10 \times 20$	— 0,3—2 —	— 2 —	— 35—65 —
--------	---	-----------------	-------------	-----------------

8. Известняк; минеральный состав: кальцит, структура органогенно-детритовая; текстура массивная; цвет темно-серый; порода в сохранном состоянии, тектонические микротрещины заполнены кристаллическим кальцитом

9

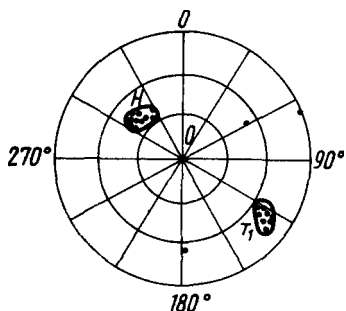
Оси	γ_s	γ_d	μ	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5790	—	310	—	—
y	2,71	2,70	0,14	0,10	5690	—	230	—	—
z	—	—	—	—	5730	—	270	135	115

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	90,9	—	—	—
y	—	—	—	—	—	87,7	—	—	—
z	110	0,85	0,81	9,2	—	89,1	44,5	44,5	0,15

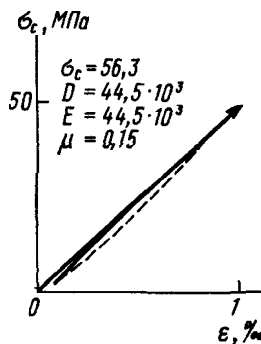
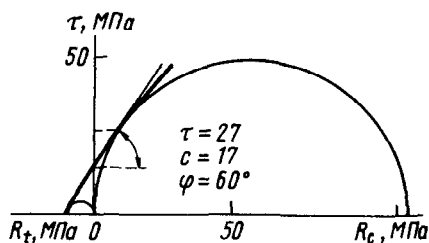
11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости
Крупноплитчатые блоки	11323	4132321	5нп3114 2то1218

6.



10.



45. Парница

1. Карьер в северо-восточной части Малой Фатры, действующий, размер обнажения 100×50 м, экспозиция западная. Рельеф с крутыми склонами, интенсивно расчлененный
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: карбонатная; К: органогенных пород; ЛТ: известняк (К₁)
4. Массив состоит из призматических и плитчатых блоков. Выражены одна основная система трещин напластования и две системы тектонических трещин с большой дисперсией азимутов и углов падения. Трещины закрытые и открытые, без заполнителя или с глинистым заполнителем. Степень разуплотнения средняя. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
I 3+3	н	330 ± 10	30	45 ± 15	20 хх
	т ₁	240 ± 20	80	40 ± 15	3 тх
	т ₂	165 ± 15	75	80 ± 40	3 хт

I 14	н	330 ± 10	30	15 ± 10	20 хх
	т ₁	240 ± 20	80	15 ± 10	0,5 тт
	т ₂	165 ± 15	75	20 ± 10	0,5 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
I 3+3	$0,2 \pm 0,2$	ровная	—	—
	0	кривая	—	—
	$0,5 \pm 0,4$	»	—	—
I 14	$0,2 \pm 0,1$	волнообразн.	—	—
	$0,2 \pm 0,2$	ровная	—	—
	$0,5 \pm 0,4$	»	—	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
I 3+3	$45 \times 40 \times 80$	—	—	—
	$60 \times 55 \times 120$	2—5	6—7	100—90
	$30 \times 25 \times 40$	—	—	—
I 14	$15 \times 15 \times 20$	—	—	—
	$25 \times 25 \times 30$	2—5	10	100—90
	$5 \times 5 \times 10$	—	—	—

8. Известняк глинистый; минеральный состав: кальцит, незначительная примесь доломита и глинистых минералов; структура органогенно-пелитоморфная; текстура слоистая; цвет темно-серый; порода слабыветрелая

9.

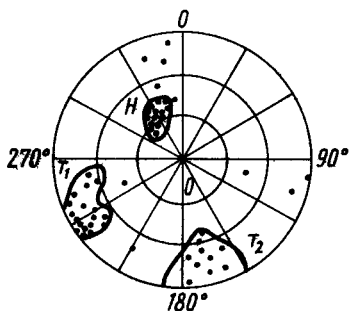
Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	5180	—	280	145	135
y	2,72	2,71	0,62	0,18	5170	—	280	—	—
z	—	—	—	—	5130	—	275	—	—

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	110	0,93	0,76	7,8	—	74,0	56,0	50,0	—
y	—	—	—	8,6	—	73,0	—	—	—
z	—	—	—	—	—	72,0	—	—	—

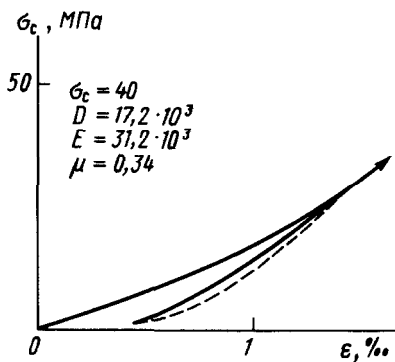
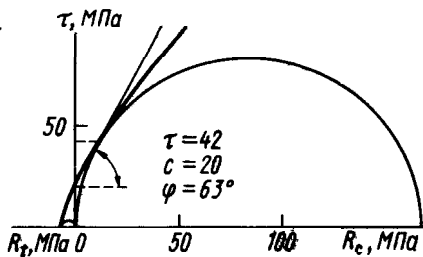
11.

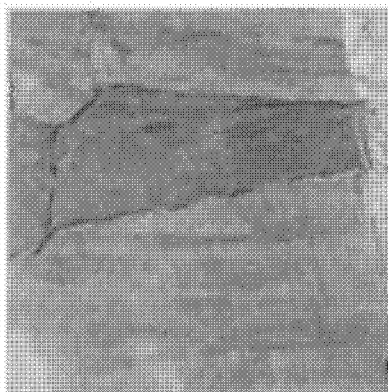
Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Призматические блоки	13+331	41422-2	5но3323	2тз2448	2то1638
Плитчатые блоки	11431	—	5но3323	2тз2448	2то1638

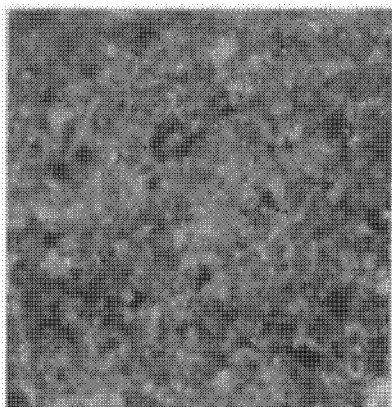
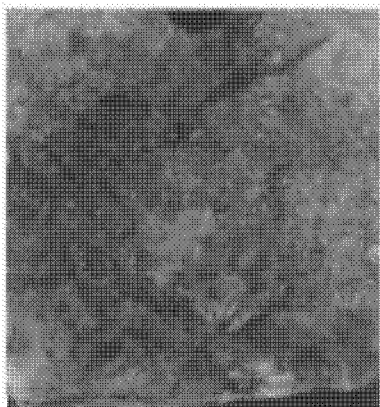
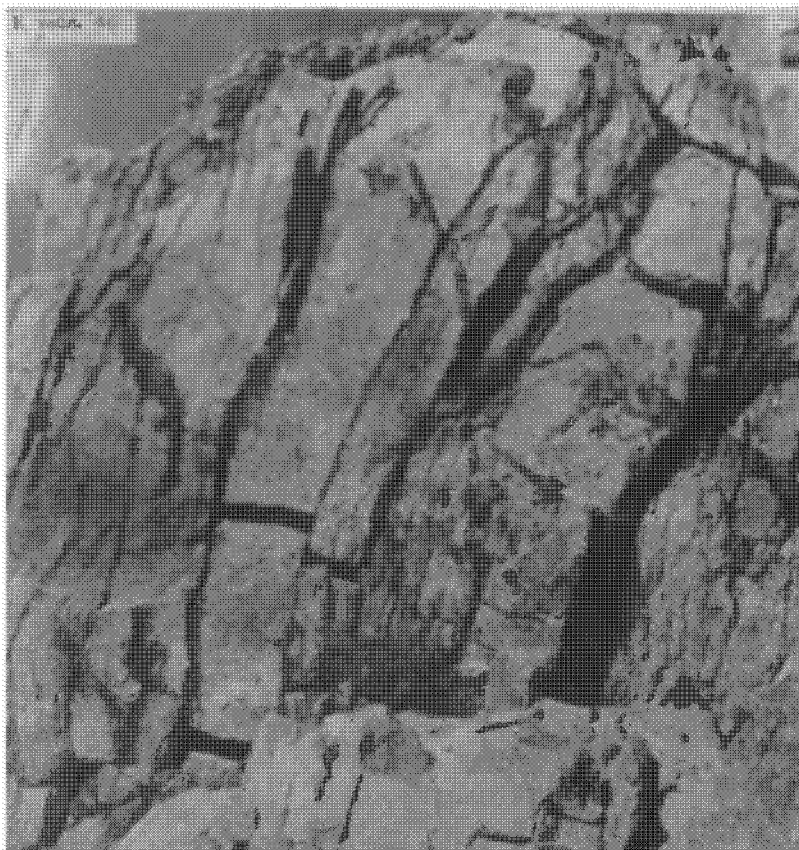
6.



10.







46. Богучаны

1. Естественное обнажение в правом борту среднего течения Аигары. Рельеф холмистый, расчлененный
2. Массив осадочных пород платформенного типа
3. Ф: карбонатная; К: известняковый; ЛТ: известняк (O_1)
4. Массив состоит из плитчатых блоков. Четко выражена одна система плоскости напластования и две системы субвертикальных трещин. Трещины закрытые и открытые, без заполнителя или заполненные грубозернистым и супесчано-суглинистым материалом. Разуплотнение средней степени. Массив достаточно однородный по форме блоков и неоднородный по размерам блоков. Порода выветрелая поверхности. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
I 22	н	170 ± 10	10	20 ± 15	5—7
	π_1	320 ± 15	80	200 ± 100	> 20
	π_2	135 ± 15	70	200 ± 150	> 20

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
I 22	5 ± 5	кривая	0—2	супесчано-суглинистый
	11 ± 9	ступенчатая	0—5	супесчано-суглинистый
	11 ± 9	»	0—5	с дрсвой то же

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс, мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
I 22	$15 \times 100 \times 150$	—	—	—
	$30 \times 200 \times 300$	5—7	5—10	0—10
	$5 \times 20 \times 50$	—	—	—

8. Известняк пелитоморфный, слоистый вследствие чередования различных по крупности зерен; минеральный состав: основная масса представлена кальцитом, в качестве примеси — обломки кварца, доломита; структура мелкозернистая; текстура массивная; цвет серый

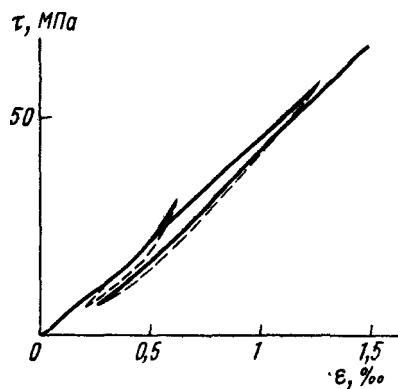
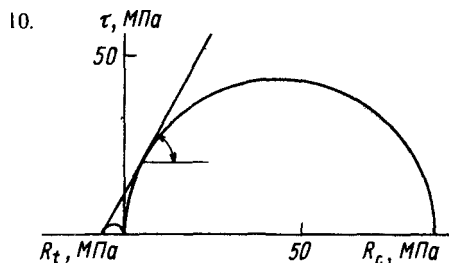
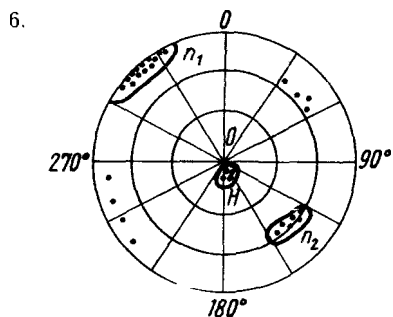
9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	ν_p	ν_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	4685	—	—	—	—
y	2,73	2,60	4,75	1,1	4650	—	—	—	—
z	—	—	—	—	4945	2980	—	86	85

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{I1}	R_{I2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	0,99	—	7,5	7,3	55,8	57,5	44,5	0,23

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
Плитчатые блоки	1 22235	4232334	3нз1721	5п1г3238	5п2г1437



47. Ингури 1

1. Естественное обнажение в правом склоне р. Ингури, нижний бьеф плотины Ингури ГЭС, южный склон Большого Кавказа. Рельеф горный, интенсивно расчлененный
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: карбонатная; К: известняково-доломитовый; ЛТ: известняк (К)
4. Массив состоит из плитчатых блоков. Выделено шесть основных систем трещин. Наибольшим распространением пользуется первая система трещин, развитая по напластованию пород. Трещины открытые и закрытые. Заполнитель — кальцит, дресва, глинистый материал. Разуплотнение средней степени. Массив достаточно однородный по форме и размерам блоков. Порода выветрелая с поверхности. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
124	T ₁	120 ± 10	60	15 от 5 до 140	> 10
	T ₂	320 ± 10	80	150 ± 50	> 10
	T ₃	260 ± 5	20	300 ± 200	> 10
	T ₄	280 ± 10	30	350 ± 150	> 10
	T ₅	80 ± 10	70	300 ± 200	> 10
	T ₆	180 ± 15	75	450 ± 250	> 10

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
124	50 ± 50 до 400	прямые	0—3	глинистый кальцит, дресва
	25 ± 25	кривые	0—5	дресва, кальцит
	25 ± 25	»	0—5	нет
	15 ± 15	»	3—10	дресва, кальцит
	5 ± 5	»	0—5	« »
	25 ± 25	»	0—3	нет

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс, мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
124	15 × 15 × 10	—	—	—
	20 × 5 × 30	4,5	6—10	80
	5 × 10 × 5	—	—	—

8. Известняк доломитистый, плотный, мелкозернистый; минеральный состав: основная масса представлена кальцитом—60%, кристаллы доломита составляют около 40%; цвет светло-серый

9.

Оси	γ_s	γ_d	n	K_{1w}	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	2,78	2,73	1,8	0,18	—	—	—	—	—
z	—	—	—	—	5000*	—	—	115	—

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	—	—	—	—	—
y	—	—	—	—	—	—	—	—	—
z	—	—	—	7	—	40*	15*	13*	0,30*

* Данные Гидропроекта по массиву пород.

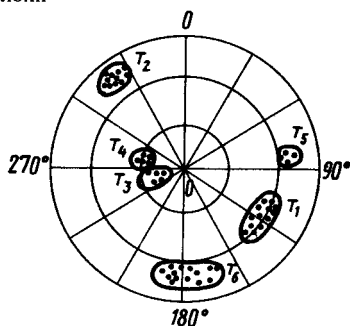
11.

Тип массива	Код массива	Код свойств горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	---------------------------	--------------------

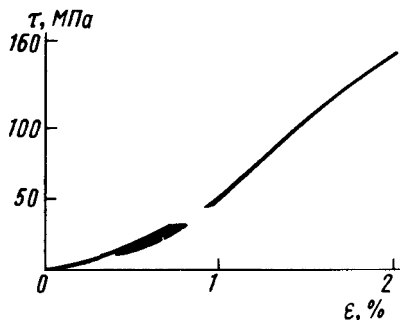
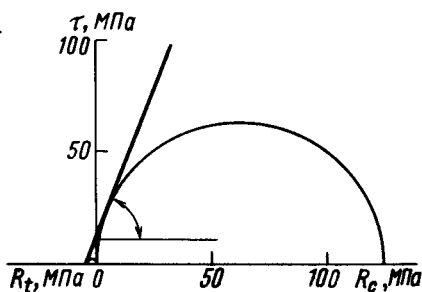
Плитча-
тые и
призма-
тические
блоки

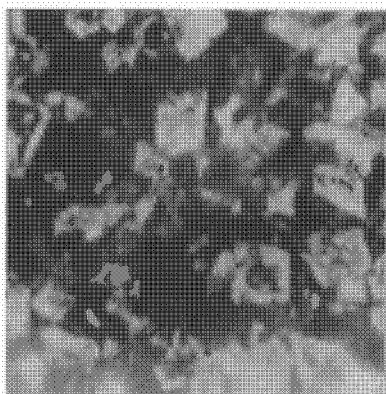
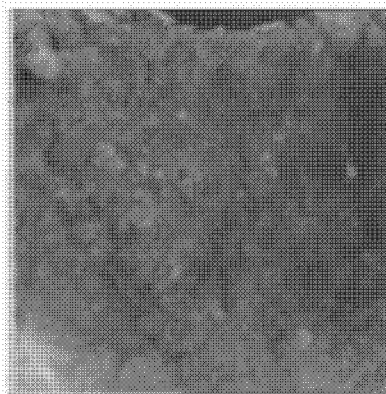
I2435 423—234 4тз1226 4тз3228 4тз2612 4тз0827 4тз1838

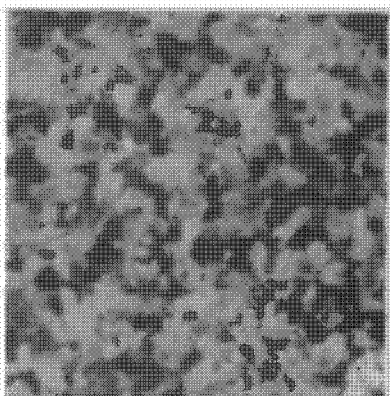
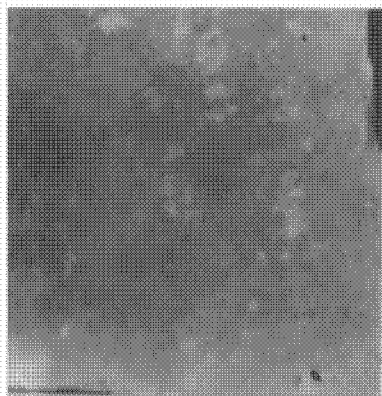
6.



10.







48. Ингури 2

1. Естественное обнажение на южном склоне Большого Кавказа, в нижнем бьефе плотины Ингури ГЭС. правый берег р. Ингури. Рельеф горный интенсивно расчлененный
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа; пласты пород
3. Ф: карбонатная; К: известняково-доломитовый; ЛТ: доломит (К)
4. Массив состоит из призматических и полиэдрических блоков. Наибольшим распространением пользуется первая система трещин, ориентированных по напластованию пород. Четко выражены две пологонаклонные и три крутопадающих системы трещин. Трещины открытые и закрытые. Заполнитель дресва, глина, кальцит. Разуплотнение средней степени. Массив неоднородный по форме и размерам блоков. Породы выветрелые с поверхности. Массив обводненный

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
d 24	T ₁	115 ± 15	55	20 от 7 до 150	> 10
	T ₂	15 ± 5	75	150 ± 50	> 10
	T ₃	210 ± 20	25	300 ± 200	> 10
	T ₄	325 ± 25	15	350 ± 150	> 10
	T ₅	75 ± 10	65	300 ± 200	> 10
	T ₆	180 ± 10	70	450 ± 250	> 10

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
d 24	50 ± 50 до 400	прямая	0—3	глина, дресва, кальцит
	25 ± 25	кривая	0—5	дресва, кальцит
	25 ± 25	»	3—10	дресва, суглинистый материал
	15 ± 15	»	3—10	дресва, кальцит, глина
	5 ± 5	»	0—5	кальцит
	25 ± 25	»	0—5	дресва, кальцит

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин.)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
d 24	15 × 20 × 15	—	—	—
	20 × 60 × 40	2,5—5	8—10	80
	5 × 10 × 5	—	—	—

8. Доломит среднезернистый; минеральный состав: основная масса представлена зернами доломита ромбоэдрической формы. В кристаллах доломита заметны включения тонкодисперсного вещества. Наблюдаются пересекающиеся трещинки, выполненные прозрачным кальцитом

9

Оси	γ_s	γ_d	n	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x					4500				
y	2,78	2,67	3,95	—	4600				
z					4500	—	—	90	75

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	R_{t2}	E_d	E_c	E	μ
x									
y									
z	—	2,85	—	5	4	42,5*	16,4*	13,8*	0,30*

* Данные Гидропроекта по массиву пород.

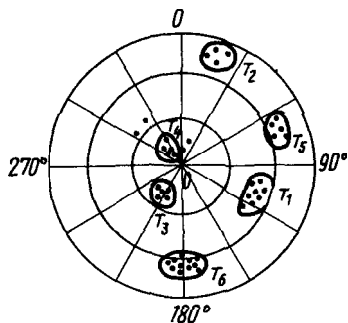
11.

Тип массива	Код массива	Код свойств горной породы	Код трещиноватости
-------------	-------------	---------------------------	--------------------

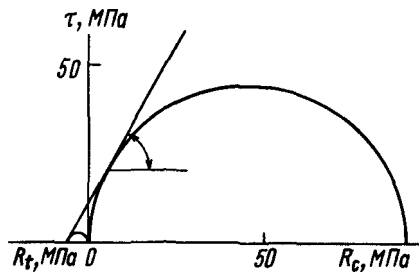
Плитчатые и призматические блоки

d2435 4232234 4тз1236 4тз0218 4тз2143 4тз3352 4тз0827 4тз1827

6.



10.



49. Татранская котловина

1. Карьер в восточной части Высоких Татр, действующий, размер обнажения 100×40 м, экспозиция южная. Рельеф интенсивно расчлененный
2. Массив осадочных пород геосинклинального типа
3. Ф: карбонатная; К: известняково-доломитовый; ЛТ: доломит (T_2)
4. Массив состоит из плитчато-призматических блоков, четко выражены одна система трещин напластования и две системы тектонических трещин. Трещины открытые, без заполнителя. Степень разуплотнения низкая. Массив однородный по форме блоков и неоднородный по размерам блоков. Порода в сохранном состоянии. Массив не обводнен

5.

Тип массива	Тип трещиноватости	Азимут падения, град	Угол падения, град	Расстояние между трещинами, см	Длина трещин с кодом, м
d 13	и	70 ± 10	50	50 ± 30	20 хх
	T_1	290 ± 10	40	50 ± 30	1 тт
	T_2	170 ± 20	80	45 ± 25	1 тт

Тип массива	Раскрытие трещин, мм	Поверхность трещин		Заполнитель
		форма	шероховатость, мм	
d 13	5 ± 5	ровная	—	суглинистый
	4 ± 3	»	—	—
	3 ± 2	»	—	—

7.

Тип массива	Блочность, см (преобл., макс., мин)	Коэффициент трещинной пустотности, %	Модуль трещиноватости	Степень заполнения, %
d 13	$50 \times 55 \times 45$	—	—	—
	$70 \times 90 \times 70$	0,3—2	2—3	100—90
	$25 \times 20 \times 15$	—	—	—

8. Доломит; минеральный состав: доломит; структура мелкокристаллическая с более крупными очевидными включениями; текстура массивная; цвет темно-серый; порода в сохранном состоянии

9.

Оси	γ_s	γ_d	π	K_w	v_p	v_s	R_s	R_{c1}	R_{c2}
x	—	—	—	—	6150	450	—	—	—
y	2,85	2,84	0,31	0,17	6000	480	180	—	—
z	—	—	—	—	6010	—	230	140	140

Оси	R_{c3}	K_1	K_2	R_{t1}	E_d	E_c	E	μ
x	—	—	—	—	108	86	86	0,20
y	—	—	—	—	102	—	—	—
z	0,60	0,60	9,0	—	103	—	—	—

11.

Тип массива	Код массива	Код горной породы	Код трещиноватости		
-------------	-------------	-------------------	--------------------	--	--

Плитчатые и призматические блоки

d 1321

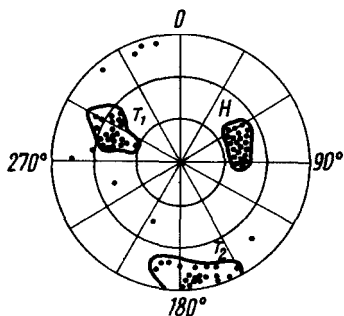
5152522

5но0725

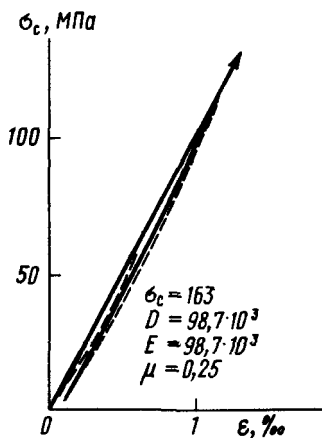
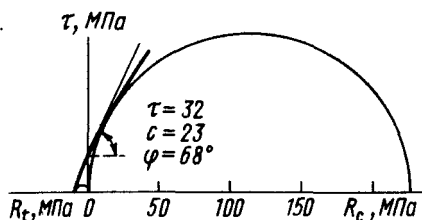
2то2925

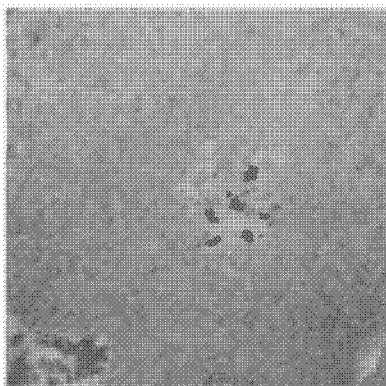
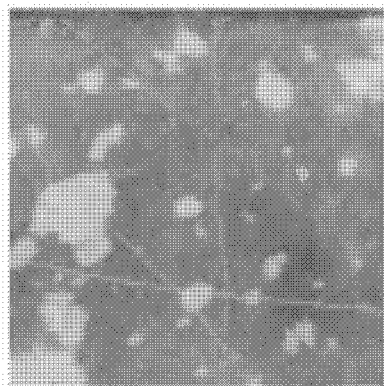
2то1748

6.



10.





ЛИТЕРАТУРА

- Амусин Б. З., Фадеев А. В. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики.—М., 1975.
- Белый Л. Д. Геологическая природа свойств скальных массивов как оснований и среды для инженерных сооружений//Инженерная геология скальных массивов.—М., 1976.
- Белый Л. Д. Основные вопросы теории и практики инженерной геологии в гидроэнергостроительстве.—М., 1957.
- Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Ю. Г. Системный подход в современной науке//Проблемы методологии системного исследования.—М., 1980.
- Бондарнк Г. К., Горальчук М. И., Сироткин Г. В. Закономерности пространственной изменчивости лёссовых пород.—М., 1976.
- Варга А. А. Методические рекомендации по изучению мелкой трещиноватости скальных пород при изысканиях для гидротехнического строительства.—М., 1981.
- Варга А. А. Некоторые вопросы применения метода симметрии к инженерно-геологическому изучению трещиноватости//Инженерная геология.—1980.—№ 3.
- Волков М. А., Ромм Е. С. Опыт классификации горных пород по фильтрационным свойствам//Инженерная геология скальных массивов.—М., 1976.
- Гзовский М. В. Математика в геотектонике.—М., 1971.
- Гзовский М. В. и др. Напряженное состояние земной коры по данным измерений в горных выработках и тектонофизического анализа//Напряженное состояние земной коры.—М., 1973.
- Гзовский М. В. Основы тектонофизики.—М., 1975.
- Голодковская Г. А., Шаумян Л. В. К природе прочности массивов скальных горных пород//Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол.—1974.—№ 1.
- Голодковская Г. А., Шаумян Л. В. Экспериментальные исследования природы прочности трещиноватых скальных массивов//Тр. ВНИИГ. Л.—1971.
- Гуреев А. М. Принципы инженерно-геологического районирования скальных массивов на участках строительства высоких плотин//Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. 2.—М., 1968.
- Джегер Ч. Механика горных пород и инженерные сооружения.—М., 1975.
- Евдокимова А. Д., Сапегин Д. Д. Прочность, сопротивляемость сдвигу и деформируемость оснований сооружений на скальных породах.—М., 1964.
- Зеленский Б. Д. О методе учета влияния трещиноватости на деформационные свойства массивов.—Л., 1967.
- Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике.—М., 1975.
- Золотарев Г. С., Минервин А. В., Калинин Э. В. Учебное пособие по инженерной геологии.—М., 1970.
- Инженерная геология скальных массивов.—М., 1976.
- Исследования по общей теории систем.—М., 1969.
- Каякин В. В. К вопросу методики построения инженерно-геологических моделей скального основания высоких плотин//Тр. Гидропроекта.—1976, № 50.
- Кереселидзе С. Б. Структурно-тектонические особенности и трещиноватость карбонатных пород горно-складчатых областей как основа их инженерно-геологической оценки (на примере ИнгуриГЭС): Автореф. дис. . . канд. геол. наук.—М., 1972.
- Комаров И. С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях.—М., 1972.

- Красилова Н С О причинах, обуславливающих зависимость прочности скальных пород от размера и формы кристаллов//Вопросы инженерной геологии и грунтоведения Вып 3—М, 1973
- Кропоткин П Н Тектонические напряжения в земной коре по данным непосредственных измерений//Напряженное состояние земной коры—М, 1973
- Кузнецов Г Н Экспериментальные методы исследования вопросов горного давления//Труды совещания по управлению горным давлением—М, 1948
- Кузнецов Г Н, Слободан М А Определение методом разгрузки напряжений, действующих в межкамерных целиках каменной соли Артемовских рудников//Исследование по вопросам горного и маркшейдерского дела Т 22—М, 1950
- Ладыгин В М Влияние геолого-минералогических факторов на физико-механические свойства эффузивов основного—среднего состава Автореф дис канд геол.-мин наук—М, 1974
- Логика и методология системных исследований Киев—Одесса, 1977
- Ломтадзе В Д Инженерная петрология—Л, 1975
- Марков А Н Влияние блокового строения скальных массивов на условия строительства гидротехнических сооружений Автореф дис М, 1976
- Марков Г А Тектонические напряжения и горное давление в рудниках Хибинского массива—Л, 1977
- Матула М, Хиянкова А Петрогенетическая обусловленность инженерно-геологических свойств магматических пород Чехословацких Карпат//Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород М, 1975
- Мюллер Л Инженерная геология. Механика скальных массивов—М, 1971
- Нейштадт Л Л, Пирогов И А Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород—М, 1969
- Нестеренко Г Т, Матвеев Б В Натурные методы изучения механических свойств структурно нарушенного массива для управления горным давлением и движением горных пород//Современные проблемы механики горных пород—Л, 1972
- Нестеренко Г Т и др Методические указания по применению метода разгрузки для измерения напряжений в массивах горных пород—Л, 1972
- Нестеренко Г Т, Шаманская А Т, Егоров П В Приблизительный метод оценки напряженного состояния горных пород//Измерение напряжений в массиве горных пород—Новосибирск, 1970
- Панасьян Л Л Исследование структуры поля напряжений расчетными методами Автореф дис канд геол наук—М, 1979
- Панюков П Н Инженерная геология—М, 1962
- Панюков П Н Инженерная геология—М, 1978
- Проблемы методологии системного исследования—М, 1970
- Протодьяконов М М и др Паспорта прочности горных пород—М, 1964
- Рац М В Неоднородность горных пород и их физических свойств—М, 1968
- Рац М В Структурные модели в инженерной геологии—М, 1973
- Рац М В, Чернышев С Н Трещиноватость и свойства трещиноватых скальных пород—М, 1970
- Ржевский В В Классификация и паспортизация горных пород по их физическим свойствам—М, 1966
- Роза С А, Зеленский Б Д Исследование механических свойств скальных оснований гидротехнических сооружений—М, 1967
- Розовский Л Б Информационно-поисковые системы в инженерной геологии—М, 1975
- Ром Е С О возможном механизме теплопереноса в трещиноватых и слоистых горных породах//Инженерная геология скальных массивов—М, 1976
- Савич А И, Коптев В И, Григорянц Э А Изучение естественных напряжений в массиве горных пород сейсмоакустическими методами//Тр ин-та Гидропроект,—1974—Сб 33
- Савич А И и др Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород—М, 1969
- Савич А И, Ященко З Г Исследование упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами—М, 1979
- Садовский В Н Основания общей теории систем—М, 1974

- Сергеев Е М Инженерная геология — М 1978
- Сетров В А Принцип системности и его основные понятия//Проблемы методологии системного исследования — М, 1970
- Скворцов Г Г, Тимонина М С Влияние вторичных изменений в скальных породах на инженерно-геологические условия разработки полезных ископаемых при разведке — Апатиты, 1975
- Скворцов Г Г, Фромм В В Инженерно-геологическое изучение глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых при разведке — М, 1970
- Слободов М А Руководство по применению метода разгрузки для определения напряженного состояния в глубине горных массивов на породах слабой и средней прочности//Тр ВНИМИ — Л, 1965
- Трумбаев В Ф, Молодцова Л С Применение оптического метода для исследования напряженного состояния пород вокруг выработок — М, 1963
- Трумбаев В Ф, Катков Г А Измерение напряжений и деформаций методом фотоупругих покрытий — М, 1966
- Турчанинов И А, Иофис М А, Каспарьян Э В Основы механики горных пород — Л, 1977
- Уемов А И Системный подход и общая теория систем — М, 1978
- Ухов С Б Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов — М, 1973
- Фисенко Г Л Прочностные характеристики массивов горных пород//Механика горных пород и маркшейдерское дело — М, 1959
- Фисенко Г Л Устойчивость бортов карьеров и отвалов — М, 1965
- Шаумян Л В Физико механические свойства массивов скальных горных пород — М, 1972
- Barton N et al Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support//Rock Mechanics 1974 — № 6
- Bieniaswski Z T Rock mass classifications in rock engineering Explor in rock Proceed of Symp on engineer — Johannesburg, 1976
- Dearman W R Characterization of rocks for civil engineering practice in Britain La Geologie de l'Ingenieur — Liege, 1974
- Debreuille P J et al Auscultation fine d'un glissement de terrain a l'aide d'instrumentation nouveaux//4th Congr ISRM Vol 2 — Montreaux, 1979
- Deere D U, Miller R P Engineering classification and index properties for intact rock Techn report, Illinois, 1966
- Franklin J A Use of test and monitoring in design and construction Gen report//4th Congr ISRM Vol 2 — Montreaux, 1979
- IAEG Rock and soil description and classification for engineering geological mapping//Bul IAEG — 1981 — № 24
- ISRM Recommendations on site investigation techniques//Report by Commission on recommend on site investig techniques — 1975 — 55 p
- ISRM Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses//Report by Commission on standardization of laborat and field tests Int/Journ Rock Mechan, Mining Scien and Geomech, Abstr — 1978 — Vol 95 — P 319—368
- ISRM Suggested methods for the quantitative description of rock masses and discontinuities Document, — 1977 — № 2
- Golodkovskaya Y A, Matula M, Shaumian L V Engineering geological classification of rock masses//Proc of the 4-th Congress of IAEG — 1982 — Vol 11
- Hast N The measurement of rock pressure in mines//Sver Geol Undersokn Ser C — 1958 — № 3 — P 183
- Hast N The state of stresses in the upper part of the earth's crust//Tectonophysics — 1969 — Vol 8, № 3 — P 169—211
- Leeman E R The determination of the complete state of stress in rock in a single borehole — laboratory and underground measurements//International J Rock Mechanics and Mining Sci — 1968 — Vol 5, № 1 — P 31—56
- Leeman E R The measurement of stress in rock//J South African Inst Min Metall — 1964 — Vol 65, № 2 — P 45—81
- Matula M Problemy inzynierskogeologicznych klasyfikacyjnych systemow hornin //Acta geologica — 1973 — № 25

- Matula M., Holder R. Návrh metodiky inž. geol. typizácie masívov hornín//Acta geologica Univ. Comen.,—1976.—№ 29.
- Matula M., Holz er R. Engineering geological typology of rock masses. Grundlagen und Anwendung der Felsmechanik. Trans. Tech. Publications.—Clausthal, 1978.
- Matula M. Engineering geological evaluation for regional and urban development. General report, section I./3rd Congr. IAEG.—Madrid, 1978.
- Matula M. System approach in the rock mass investigation//Acta geologica.—1982.—№ 38.
- Panek L. A. Criterion of failure for design of rock mass structure for as determined by borehole tests//4th Congr. ISRM. Vol. 2.—Montreaux, 1979.
- Riffault M. Catalogue des caractéristiques géologiques et mécaniques de quelques roches françaises. Labor. cont. des ponts et chaussées.—Paris, 1969.
- Tesař O. Návrh klasifikace skalních hornin pro podzemní stavby Praze. Věsth. Zpravoda j Metro L.—Praha, 1977.
- Wuerker R. G. Annotated of strength and elastic properties of rocks. Petrol. Branch.—AIME, 1956.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение <i>Г. А. Голодковская</i>	3
Системный подход к изучению массивов горных пород <i>М. Матула</i>	6
Общие положения	6
Выделение систем в зависимости от целей изучения	8
Определение системных элементов в массивах пород	10
Определение системных структур в массивах горных пород	11
Возможности использования системных моделей	14
Применение формализованных количественных моделей	15
Инженерно-геологическое изучение и классификация горных пород	15
<i>А. Матула, Г. А. Голодковская, Л. В. Шаумян</i>	
Общие положения	15
Петрогенетическая обусловленность инженерно геологических свойств горных пород	17
Рациональный комплекс методов определения свойств грунтов	30
Инженерно-геологические классификации геологических тел и горных пород	34
Типизация массивов горных пород как иерархических систем <i>М. Матула, Г. А. Голодковская, Л. В. Шаумян</i>	38
Инженерно геологическая типологическая классификация массивов скальных горных пород	40
Типизация основных классификационных характеристик массивов скальных горных пород	49
Статические модели породных массивов и изучение их параметров <i>М. Матула, Л. Шаумян, Г. А. Голодковская</i>	62
Общие положения	62
Важнейшие характеристики массивов скальных горных пород и методы их изучения	64
Вещественный состав, структура и текстура горных пород, слагающих массив	64
Строение массивов	65
Трещиноватость	67
Основные закономерности развития трещиноватости	73
Неоднородность и анизотропность	75
Обводненность	83
Выветрелость и вторичная измененность <i>Н. А. Румянцев</i>	86
Напряженное состояние	90
Температурный режим	98
Показатели физико механических свойств массивов скальных пород	100
Паспортизация массивов	107
Значение паспортизации горных пород и их массивов	107
Структура типологического Атласа массивов горных пород и паспортные определения их характеристик	110
	271

Атлас массивов скальных горных пород	М Матула, Л В Шаумян	
Н А Румянцева Р Хольцер, А Хиянкова		119
1 Ческа Брезово		120
2 Лесковец		124
3 Смерековица		126
4 Доброц		130
5 Апатиты I		132
6 Апатиты III		136
7 Апатиты V		138
8 Старая Кремнича		142
9 Глиник I		144
10 Козелник		148
11 Детва		150
12 Брезины		154
13 Копанице		156
14 Вышние Реметы		160
15 Крупина		162
16 Детва Пемть		166
17 Конрадовце		168
18 Булгары		172
19 Талнах II		174
20 Талнах VI		178
21 Талнах IV		180
22 Талнах XI		184
23 Талнах XIII		186
24 Талнах XV		190
25 Лукове		192
26 Тисовец		196
27 Мурманск III		198
28 Римавска Банья		202
29 Черный Балог		204
30 Кленовец		208
31 Филиппово		210
32 Рыбничек		214
33 Доиовалы		216
34 Тугар		220
35 Хармония		222
36 Талнах XVI		226
37 Томашовце		228
38 Топорец		232
39 Кежмарок		234
40 Богучаны II		238
41 Днестр I		240
42 Молча		244
43 Зазрива		246
44 Штупец		250
45 Парница		252
46 Богучаны		256
47 Ингури I		258
48 Ингури 2		262
49 Татранская котловина		264
Литература		267