

Н. И. ЛЮБИМОВ  
Л. И. НОСЕНКО

СПРАВОЧНИК  
ПО ФИЗИКО-  
МЕХАНИЧЕСКИМ  
ПАРАМЕТРАМ  
ГОРНЫХ ПОРОД  
РУДНЫХ РАЙОНОВ

Н. И. ЛЮБИМОВ,  
Л. И. НОСЕНКО

624/031

СПРАВОЧНИК  
ПО ФИЗИКО-  
МЕХАНИЧЕСКИМ  
ПАРАМЕТРАМ  
ГОРНЫХ ПОРОД  
РУДНЫХ РАЙОНОВ

2793



МОСКВА «НЕДРА» 1978



Любимов Н. И., Носенко Л. И. Справочник по физико-механическим параметрам горных пород рудных районов. М., «Недра», 1978, 285 с.

В справочнике отражен обзор исследований физико-механических свойств горных пород. Особое внимание обращено на те свойства, которые представляют наибольший интерес для геологов-разведчиков. Параметры физико-механических свойств даны для каждой генетической группы пород отдельно, что является существенным отличием от известных литературных источников. Такое деление позволяет производить сравнение параметров одних и тех же типов пород из различных районов страны и делать соответствующие выводы для решения многих геологических и технических задач.

Табл. 110, ил. 22, список лит — 92 назв.

Исследования физико-механических свойств горных пород для целей техники разведки месторождений полезных ископаемых, горнодобывающей промышленности позволили установить многие закономерные связи между свойствами пород, с одной стороны, и производственными показателями, с другой. Накопленные данные дали возможность перейти к их обобщению и составлению справочников для практического пользования. Однако процесс познания и обобщения будет продолжаться, ибо с развитием техники геологоразведочных работ и добычи полезных ископаемых известные свойства горных пород приобретут еще большее значение и может возникнуть необходимость открытий неизвестных нам физических и иных свойств горных пород для объяснений новых процессов в технике и геологических исследованиях.

Настоящий справочник, в отличие от справочников по физическим и механическим свойствам горных пород, появившихся за последние годы с уклоном в сторону геофизики и горного дела, имеет свою направленность, связанную с техникой разведки и геологоразведочными работами. В нем сделана попытка систематизировать полученные авторами экспериментальные данные с использованием опубликованных материалов применительно к задачам, поставленным перед геологической службой на десятую пятилетку с перспективой на ближайшие 15—20 лет в отношении увеличения эффективности геологоразведочных работ.

Фактические материалы изложены с учетом конкретных месторождений и регионов развития геологоразведочных работ.

Положив в основу генетическую классификацию горных пород и современные представления о рудных месторождениях СССР, мы рассмотрели около 170 рудных месторождений, относящихся к 50 регионам и горнорудным районам.

Ввиду того что полезные ископаемые залегают в различных генетических комплексах горных пород, в работе дана идентификация месторождений и регионов их распространения по преимущественному тяготению к тому или иному генетическому комплексу пород.

Указанная идентификация месторождений по близости генетических типов рудовмещающих пород позволяет до некоторой степени распространять экспериментальные физико-механические данные, полученные по конкретным месторождениям, на другие месторождения, залегающие в аналогичных генетических разностях пород.

Практическое значение такого подхода очевидно. Зная параметры физико-механических свойств определенных генетических разностей пород одного месторождения или района, можно примерно определить параметры этих свойств для аналогичных пород другого месторождения или района.

Такие прогнозы могут служить ориентировочным представлением при планировании буровой техники, расчете перспективных скоростей бурения и др.

При сборе и анализе материала обращалось внимание на те свойства, которые представляют наибольший интерес для геологов-разведчиков.

Материал справочника не повторяет больших разделов существующих руководств и монографий. Однако такие сведения, как содержание химических элементов в главнейших типах горных пород, физические свойства горных пород при высоких давлениях, основы физики горных пород и др. даются по материалам опубликованных монографий и сборников (Б. П. Беликов, А. П. Виноградов, М. П. Воларович, В. В. Ржевский, Г. Я. Новик, Л. А. Шрейнер), содержащих экспериментальные данные по различным разделам физики и физико-химии горных пород и минералов.

Помимо справочного материала в работе приведены результаты экспериментальных исследований (влияние температуры на образование трещин в горных породах, сжимаемость горных пород в раздробленном состоянии с учетом их вещественного состава и условий залегания) с целью изучения условий образования геологических структур, благоприятных для локализации оруденения, и др.

В справочнике использованы также результаты исследований, выполненных в ВИМСе, ЦНИГРИ и СКБ НПО «Геотехника», материалы многих исследователей, полученные при разрешении различных вопросов геологической службы и горнодобывающей промышленности. Естественно, что при обобщении имеющихся данных, полученных при использовании различных методик, возникали известные трудности. Однако ссылки на методики позволили упростить многие вопросы в процессе работы над справочником.

Для обозначения физико-механических свойств горных пород были использованы наиболее употребительные для каждого конкретного свойства пород единая техническая система и размерности.

Авторство использованных в справочнике опытных данных ряда исследователей защищено ссылкой на источник использованной литературы.

Разделы справочника написаны: Н. И. Любимовым—Предисловие, глава I, глава III (§ 1 п. 2, § 2, § 3 п. 2), глава IV (§ 1), глава V, VI; Л. И. Носенко— глава III (§ 1 п. 1, 3); Н. И. Любимовым и Л. И. Носенко совместно— глава II, глава III (§ 3 п. 1), глава IV (§ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Авторы будут благодарны всем, кто прочтет эту книгу и выскажет свои замечания и пожелания по улучшению методики выполненных работ.

## КРАТКИЙ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Исследование физических свойств горных пород в СССР привело к развитию нескольких направлений или школ с различной тематикой. Так, в институте физики Земли АН СССР (М. П. Воларович, Г. Н. Петрова и др.) исследование физических свойств приобрело экспериментальное направление и состоит в изучении упругих, электрических, магнитных и других характеристик различных горных пород в естественном их состоянии и при различного рода воздействиях (давление, температура, магнитное поле и т. д.).

В связи с организацией при данном институте отдела горных проблем тематика исследований горных пород расширилась. Эти исследования в 1975 г. завершились составлением кадастра горных пород, в основном для горнодобывающей промышленности.

Во ВНИИГеофизике (руководитель Г. М. Авчян) в последние годы проводится экспериментальное исследование физических свойств осадочных пород с использованием этих свойств при решении вопросов физики нефтяного пласта.

В ИГЕМе (Б. П. Беликов, Б. В. Залесский, Ю. А. Розанов и др.) исследования сосредоточены главным образом на изучении изменений физических параметров горных пород и минералов в связи с гидротермально-метасоматическими процессами и решением вопросов условий формирования месторождений, а также поведение горных пород при высоких термодинамических параметрах. Необходимо отметить, что решение практических задач проводилось параллельно с разработкой методических вопросов как по методам исследования, так и по интерпретации полученных материалов.

Работы во ВСЕГЕИ, проводимые под руководством Н. Б. Дортман, направлены на выявление общих закономерностей изменения ряда физических свойств в связи с изучением тектоно-магматических формаций. Составляемые при этом петрофизические карты мелких масштабов способствуют пониманию геологического строения различных регионов.

В ВИМСе при проведении исследований физических и механических свойств горных пород основное внимание уделялось разработке методик и аппаратуры для определения плотности, объемной массы, пористости, твердости, механической прочности и абразивности горных пород в связи с изучением:

- а) абразивного сырья;
- б) разработки новых типов породоразрушающих инструментов и классификации горных пород;
- в) физико-механических свойств рудовмещающих горных пород.

В настоящее время здесь успешно ведутся исследования физических свойств минералов.

В ЦНИГРИ исследования проводились в направлении:

- а) разработки некоторых методов и аппаратуры для определе-

ния физико-механических свойств горных пород в геологоразведочных партиях и экспедициях и их классификации по механическим свойствам для целей геологоразведочных работ и техники разведки месторождений полезных ископаемых;

б) изучения физических свойств рудовмещающих горных пород для решения различных геологических вопросов.

В НПО «Геотехника» исследования физико-механических свойств пород организованы с целью типизации их по генезису, составу и физико-механическим свойствам для дальнейшей разработки и совершенствования новой буровой техники и определения областей ее рационального применения. В итоге наметились следующие основные направления исследований и использования значений физико-механических свойств горных пород.

### **Использование физико-механических свойств горных пород при изучении условий образования геологических структур, благоприятных для локализации оруденения**

Использование физико-механических свойств горных пород в данном случае касается разработки гипотез формирования структур различного характера, в частности выделения среди них благоприятных для оруденения. При решении этих вопросов наибольшее значение имеют упругие характеристики. Имеющиеся данные о характере упругих параметров пород в пределах рудных полей [58] позволяют понять причины различной интенсивности тектонических процессов. Например, по значениям модуля упругости (модуля Юнга), коэффициента Пуассона и других механических свойств пород можно судить о благоприятных и неблагоприятных условиях для развития в них тех или иных деформаций.

Примером практического использования указанных механических свойств для объяснения деформационных свойств горных пород являются исследования В. Н. Титова о влиянии физико-механических свойств пород на локализацию апатитовых руд в Хибинском массиве [74]. На основании геологических предпосылок становление апатитовых месторождений представляется весьма сложным последовательно развивающимся метасоматическим процессом. Полученные данные по физико-механическим свойствам пород и руд апатитовых месторождений согласуются с таким представлением о генезисе месторождений.

Коническая взбросо-сдвиговая зона, контролирующая размещение апатитовых руд, закономерно образовалась в трахитоидных ийолитах, которые по значению коэффициента Пуассона являются более хрупкими ( $\mu = 0,22-0,29$ ) по сравнению с вмещающими их нефелиновыми сиенитами ( $\mu = 0,27-0,32$ ). Нефелиновые сиениты также отличаются более высоким модулем упругости ( $E \cdot 10^{-10} = 5,99-7,07$ ), в связи с чем они на определенном этапе формирования месторождения могли экранировать апатитообразующие флюиды, что отчетливо наблюдается на месторождениях.

Исследованиями доказано также, что из всех пород, развитых

в конической зоне, мелкозернистые ийолиты наименее прочны ( $\mu = 0,06-0,22$ ) и более подвержены деформации.

Не менее показательные примеры использования коэффициента Пуассона и модуля упругости для объяснения деформационной способности горных пород получены В. И. Рехарским [55]. Исследованиями, выполненными им совместно с Ю. А. Розановым, доказано, что преимущественное развитие тектонических нарушений и оруденения на одном из объектов разведки приурочено к монцонитам, отличающимся от других пород (гранодиориты, гранодиорит-порфиры) меньшими модулем упругости (5,72 против 5,81—6,92) и коэффициентом Пуассона (0,16 против 0,21).

Характерно отметить, что к монцонитам приурочены метасоматиты разных гидротермально-метасоматических формаций с медно-молибденовым оруденением. Эти образования обладают меньшими значениями модуля упругости (3,53—4,36 против 5,72) и более высокой эффективной пористостью (1,80—3,86 против 0,99%) по сравнению с неизменными монцонитами.

К. А. Карамян и С. П. Саркисян [25], изучая роль физико-механических свойств горных пород в размещении медно-молибденового оруденения Дастакертского месторождения, доказали, что относительно низкие значения коэффициента Пуассона в роговиках и гранодиоритах (0,16—0,19) явились причиной их интенсивного дробления и концентрации в них рудоносных трещинных структур. Другие породы (диорит-порфириты, диабазы), лишённые благоприятных структур и оруденения, характеризуются большими значениями коэффициента Пуассона (0,18—0,29), т. е. являются менее хрупкими по сравнению с гранодиоритами и роговиками.

Изучение геологических структур эндогенных рудных месторождений обычно включает два вопроса (по В. М. Крейтеру): 1) происхождение деформационных структур и 2) использование рудоносными растворами этих структур в качестве рудоподводящих, рудораспределяющих и рудовмещающих полостей.

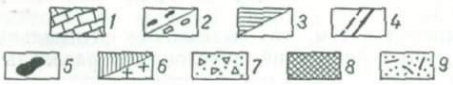
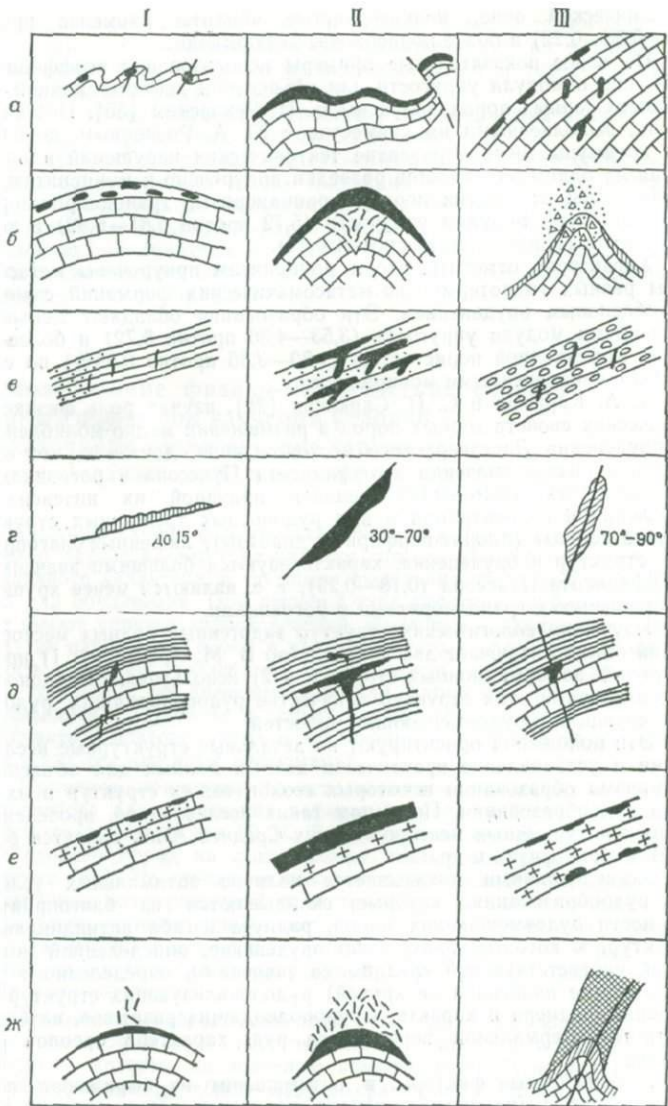
Эти положения ориентируют на детальные структурные исследования и установление практически ценных данных для объяснения механизма образования некоторых геологических структур и их роли в рудообразовании. Примером таких исследований, проведенных на ртутно-сурьмяных месторождениях Средней Азии, является работа В. П. Федорчука и др.

Исследованиями доказывается наличие оптимальных условий для рудообразования, которые складываются из благоприятной мощности рудовмещающих пород, радиуса изгиба антиклинальных структур, к которым приурочено оруденение, определенной пористости, соответствующей средним ее значениям, определенного угла наклона (не пологий и не крутой) рудолокализирующих структур нарушений, размера и характера рудоподводящих разрывов, интенсивности гидротермальной переработки руд, характера ореолов рассеяния.

Перечисленные факторы в оптимальном их выражении показаны на рис. 1 (на примере ртутно-сурьмяных месторождений Южной Ферганы).

Нет сомнения в том, что выделенные оптимальные условия локализации рудных скоплений обусловлены различными физико-механическими свойствами рудовмещающих пород.

Имеются примеры моделирования складчатости в условиях про-



дольного изгиба [10]. Хотя полученные результаты дают некоторые представления о влиянии складкообразования, они не отражают всего многообразия природных процессов и могут лишь учитываться при анализе складчатых структур, которые наблюдаются в природе.

При изучении механических свойств горных пород обычно принято производить испытание на сжатие и изгиб и в меньшей мере на растяжение, кручение и срез.

Выяснилось, что горные породы в большинстве случаев не подчиняются закону Гука. При одноосном сжатии модуль Юнга обычно увеличивается с увеличением нагрузки, что объясняется уменьшением расстояния между поверхностями атомов или ионов двух соседних кристалликов, и, следовательно, увеличиваются силы притяжения, что приводит к увеличению модуля.

Как показали опыты с растяжением, модуль Юнга горных пород с увеличением нагрузки частично снижается по сравнению с опытами на сжатие, так как при растяжении расстояние между атомами и ионами кристаллов увеличивается и силы притяжения уменьшаются.

Прочность горных пород при растяжении значительно меньше, чем при сжатии. Количественное выражение этой зависимости, установленное нами [38], показывает, что предел прочности пород на скалывание в 6—12 раз меньше прочности на сжатие. В свою очередь, предел прочности пород при растяжении в 1,5—2 раза меньше сопротивления на скалывание.

Механические свойства при испытании на скалывание и растяжение имеют существенное значение для объяснения деформаций пород, так как установлено, что в земной коре отдельные слои под действием вертикальных сил находятся в условиях поперечного изгиба.

Большое значение имеет изучение механических свойств горных пород при высоких всесторонних давлениях.

Д. Т. Григгсом были проведены опыты по деформации на сжатие в условиях давления  $10^9$  Па, при этом следов разлома не обнаружено, а наблюдались лишь плоскости скольжения, соответствующие сдвигам. Такое давление соответствует примерно 30-километровой глубине Земли, где, по-видимому, раскалывание уже невозможно и имеют место только сдвиговые явления; модуль сдвига здесь играет главную роль.

Рис. 1. Условные оценки роли и значения различных рудолокализирующих факторов.

Характеристика количественного проявления рудолокализирующих факторов: I — недостаточное (слабое) в количественном отношении проявление благоприятного фактора; II — оптимальное (среднее) проявление благоприятного рудолокализирующего фактора; III — положительный фактор рудоотложения (сильное проявление) переходит в свою противоположность — становится отрицательным. Некоторые факторы рудолокализации: *a* — мощность основного рудовмещающего горизонта; *b* — радиус изгиба рудовмещающих антиклинальных структур; *v* — пористость пород; *z* — угол наклона рудолокализирующих нарушений; *d* — масштаб рудоподводящих разрывов; *e* — интенсивность гидротермальной переработки руд; *ж* — насыщенность рудными индикаторами; *l* — рудовмещающие известняки; *2* — конгломераты; *3* — перекрывающие сланцы; *4* — нарушения; *5* — рудные тела; *6* — рудовмещающие горизонты; *7* — брекчирование; *8* — зоны массового изменения пород; *9* — прожилки и вкрапленность рудных и жильных минералов

П. В. Бриджмен [12] применял силу сжатия вещества в 50 000 Па, подвергая его сдвиговой деформации. При этом наблюдалось изменение фазового состояния вещества. Так, фосфор из одной фазы переходил в другую. Фазовое состояние некоторых «спокойных» веществ изменялось таким образом, что происходил взрыв. Возможно, фазовые переходы при высоких давлениях приводят к выделению чрезвычайно большой энергии. Объем при таких сдвиговых деформациях увеличивался на 20%. Прочность возрастала для металлов в десятки раз.

Как показывают опыты П. В. Бриджмена и Д. Т. Грингса, при давлениях на глубинах 20—30 км невозможно существование настоящих разломов; они мгновенно затягиваются и не ведут к падению прочности пород, о чем свидетельствуют опыты с хрупким известняком, который при сжатии становится ковким, как железо.

Как подтверждают экспериментальные работы М. П. Воларовича, Б. В. Залеского, Ю. А. Розанова и других исследователей, изучение роли концентрации напряжений в деформации горных пород и рудообразования приобретает все большее значение. Исследования показывают, что из всех явлений, связанных с деформациями, наиболее значительны: возможность высвобождения определенных объемов под нагрузкой, последовательность явлений при деформации, концентрация напряжений, появление новообразований.

Простейшая схема соотношения нагрузки и высвобождения дается в работах В. М. Крейтера [30], В. В. Белоусова [9], П. В. Бриджмена [12], из которых следует, что характер высвобождения зависит от способа нагрузки. Например, при одностороннем сжатии типичной формой высвобождения является образование полостей от центра приложенных сил к периферии твердого тела, трещин диагонального направления и др. Всестороннее сжатие вызывает образование трещин и полостей в образце от периферии к центру.

Наиболее сложная деформация возникает в анизотропной среде вследствие неодинакового распределения напряжений и различной способности вещества к высвобождению.

Последовательность явлений при деформациях определяет характер деформации в породе и образование трещин [10].

Ю. А. Розанов исследовал деформацию карбонатных пород в условиях всестороннего сжатия. Последняя выражалась в пластическом течении образца.

В деформированных образцах [ $P = (6120 - 6600) \cdot 10^{-5}$ , Па] наблюдаются изменения внутренней структуры, увеличивающиеся по мере возрастания приложенного усилия. Структура становится неравномернозернистой. В шлифах обнаруживаются системы трещин, причем развиты только трещины, расположенные диагонально к оси образца; они короткие, прерывающиеся, неровные, частично расскающие, частично огибающие зерна кальцита. Намечается сланцеватость.

Исследователи приходят к выводу, что процесс деформации мрамора при возрастающих ориентированных напряжениях в условиях высокого всестороннего сжатия соответствует природным геологическим условиям — деформации карбонатных пород на значительной глубине. Деформация внешне выражалась в укорочении образца вдоль его оси и значительном боковом расширении деформи-

руемого цилиндра. Она была в целом пластической, поскольку образец плавно, без видимых разрывов, и необратимо менял свою форму. В процессе деформации происходило течение мрамора, поворот кристаллов, удлинение зерен и постепенное исчезновение двойников.

Одновременно с пластическим течением происходят микроскопические разрывные дислокации, выражающиеся в развитии диагональных трещин скалывания и зон дробления кальцита.

Сам факт образования трещин при деформации свидетельствует о неравномерном распределении напряжений в породе, отсюда возникло понятие о явлениях концентрации напряжений (за счет увеличения нагрузки или уменьшения площади ее приложения), играющих, вероятно, немаловажную роль в образовании трещин отдельности горных пород, зон повышенной трещиноватости и новообразований в виде милонита, гнейса и др.

Любая деформация в земной коре зависит от всестороннего давления. Совокупность всестороннего и ориентированного давления обуславливает деформации того или иного характера. Упругая деформация происходит с изменением объема, пластическая — без изменений его.

В пределах верхних зон земной коры, если принять во внимание трещины и иные деформации, обычно приходится иметь дело с объемным расширением пород при деформации.

Изменение объема практически происходит за счет видимых хрупких деформаций, одновременно с изменением объемной массы пород. Любые трещины, брекчии, перетертые материалы — милониты и т. д. в целом создают как бы уменьшение объемной массы пород, вовлеченных в деформацию. Таким образом, объемное увеличение пород прямо пропорционально уменьшению их объемной массы.

С глубиной уменьшаются и исчезают тектонические глины, трещины, кливаж. На значительных глубинах объемное «увеличение» часто имеет знак минус, так как происходит процесс перекристаллизации. Характерная особенность интрузивных пород — уменьшение объема при застывании на 6—10%.

Изучение проблемы объемного расширения пород в связи с проявлением деформационных структур важно для понимания многих процессов. При рассмотрении этого вопроса необходимо учитывать глубинность формирования структуры, характер изменения боковых пород, амплитуду и направление движения при перемещениях, характер самих поверхностей трещин и т. д. Например, в серицитизированных, хлоритизированных и каолинизированных породах даже незначительное перемещение по плоскости трещин создает непроницаемую тектоническую глинку. Наоборот, если вмещающие породы сильно окварцованы, то незначительное движение в плоскости трещин образует зону брекчий.

Относительная «пустотность» к моменту рудоотложения является функцией суммарного действия всестороннего и ориентированного давлений. Учет «пустотности», соответствующей моменту рудоотложения, представляет большие трудности, особенно учет дорудных свободных пространств.

Опыты Фейоля [88] показывают, что полуразрушенный прокаленный сланец, будучи еще более разрушенным искусственно, увеличивается в объеме после дробления в среднем на 118%. Произ-

вода опыты со сжатием этого разрушенного материала, Фейоль получил сокращение объема, занимаемого породой, находящегося в закономерной зависимости от давления.

Этот метод анализа нами воспроизведен и развит в применении к решению конкретных задач исследований. Первое представление о сжимаемости пород в раздробленном состоянии было опубликовано в трудах ВИМСа [31].

Анализируя имеющиеся данные о роли физико-механических свойств горных пород при изучении условий образования геологических структур, благоприятных для локализации оруденения, можно согласиться с мнением многих исследователей [59] о том, что формирование этих структур зависит в значительной степени от физико-механических свойств пород, в частности, от упругих характеристик. В этой связи кварцсодержащие породы типа гранитоидов, излившиеся аналоги кислой магмы, метаморфические породы типа скарнов, обладающие невысокими значениями коэффициента Пуассона и модуля упругости, легче поддаются деформации и трещинообразованию.

Пустотность горных пород, играющая большую роль при локализации оруденения, может быть изучена как в монолите, так и в раздробленном состоянии при сжатии. В этой связи воспроизводство опытов Фейоля и дальнейшее развитие этих работ при изучении окolorудных пород представляют большой интерес.

Здесь можно сослаться на результаты исследования по сжимаемости рудовмещающих горных пород в раздробленном состоянии месторождений свинца и цинка, молибдена и полиметаллов, залегающих в осадочных метаморфизованных породах, в гранитах и эффузивах [39].

Осадочные породы различного вещественного состава имеют различную усадку при сжатии. Особенно это наблюдается на контакте пород, разделенных рудным телом.

Имеются примеры, когда значительная разница в усадке покрывающих и подстилающих пород соответствует большей мощности рудных тел. Не менее характерные данные получены при исследовании сжимаемости рудовмещающих пород (граниты, эффузивы) месторождений молибдена и полиметаллов, позволяющие отчетливо различать неизменные и измененные породы вблизи рудных тел и до некоторой степени судить о структуре рудных тел и условиях локализации оруденения.

### **Использование физико-механических свойств горных пород для количественной характеристики их гидротермально-метасоматических изменений и локализации оруденения**

В данном случае использование физико-механических свойств пород касается главным образом решения вопроса рудогенеза, в частности выделения рудных полей, благоприятных для оруденения. При решении этих вопросов наибольшее значение имеют такие параметры, как пористость и проницаемость рудовмещающих пород, механические и упругие свойства.

Многочисленными исследованиями на ряде месторождений установлены характер изменения пористости в связи с гидротермальными

ми и гидротермально-метасоматическими процессами, а также величины оптимальных значений эффективной пористости горных пород, наиболее благоприятные для рудоотложения.

Этому вопросу была посвящена серия докладов на симпозиуме в 1964 г. [79].

При характеристике роли физико-механических свойств в изменении околорудных пород большое значение имеют геологические предпосылки. Горные породы, измененные в результате проявления магматогенных рудоотлагающих процессов, не только сопровождают руды, но нередко и сами являются рудами, поэтому важно уяснить критерии отличия измененных пород от первичного их состояния. Рудообразующие растворы при продвижении и отложении жильных и рудных минералов уравнивают силы, стремившиеся сократить свободные пространства в породах. В. М. Крейтер [30] подчеркивает, что учет «пустотности», соответствующей моменту рудоотложения, представляет большие трудности, так как магматические процессы затушевывают действительную картину явлений. Справедлива и ссылка В. М. Крейтера на В. С. Линдгрена, показавшего, что в твердых породах метасоматоз происходит без изменения объема породы и что пространство для выделения нового минерала создается растворением замещаемого минерала.

Среда, в которой возникает оруденение, не остается постоянной. Она изменяется под действием температуры и давления в земной коре, а также возникновения складчатых структур в результате тангенциальных усилий в данном участке земной коры. Условия расклевывания, перемещение отдельных глыб также накладывают определенный отпечаток на рудовмещающие породы. Это изменение внутренних условий среды влияет на основные черты рудного поля в части образования рудных полостей и проявления интрузивной деятельности.

Есть предположение, что рудообразующие растворы, попав в трещину, как бы раздвигают ее, образуя полость, в которой и локализуется рудное тело. Однако это явление более сложно по своему действию, связанному с растворением, выносом и привносом вещества. Данный процесс охватывает различные области околорудных изменений пород, начиная от узких зальбандов около жилы до больших участков рудовмещающих пород.

Здесь следует сослаться на статью В. А. Королева, Ш. А. Фактулаева, В. В. Овечкина «Изменение некоторых физических свойств пород Актюзского района в зависимости от геолого-структурных факторов» [27]. Рассматривая амфиболовые сланцы в связи с гидротермальным изменением, авторы выделяют наименее измененные амфиболовые сланцы, сланцы карбонатизированные, окварцованные, эпидотизированные, хлоритизированные и альбитизированные. По отношению к малоизмененным амфиболовым сланцам, имеющим эффективную пористость 1,46%, карбонатизированные породы имели наименьшую пористость (~1,0%), окварцованные — близкую к малоизмененным сланцам (~1,5%), эпидотизированные, хлоритизированные и альбитизированные — более 1,5%. Авторы полагают, что процессы карбонатизации протекали с преобладающим привносом извести, которая могла заполнить часть открытых пор. Наоборот, при эпидотизации, хлоритизации и особенно альбитизации эффективная пористость возрастала. Это в свою очередь указывает на выщелачивание и частичный вынос вещества. Окварцевание, по

мнению авторов, не влияло на изменение эффективной пористости, так как протекало без существенного привноса и выноса и в значительной мере происходило за счет перераспределения кремнезема и изменения формы его выделения.

Закономерности образования рудных полей затрагивались также Ф. И. Вольфсоном [16]. Им отмечено, что проведено мало исследований и в должной мере даже не обобщен собранный материал по вопросу о том, каковы геологические, структурные, литологические и геохимические закономерности образования рудных полей месторождений различных генетических типов в различной геологической обстановке. Неясностью выяснены также закономерности пространственного размещения отдельных рудных месторождений внутри рудных полей. Недостаточно обобщены и фактические данные для суждения о глубине распространения оруденения в отдельных рудных телах и месторождениях.

До последнего времени остаются недостаточно выясненными вопросы взаимоотношений глубины распространения оруденения с изменчивостью состава гидротермально измененных пород, вещественного состава руд и с особенностями структур гидротермальных месторождений. Не ясны пока причины, приводящие к движению рудоносных растворов в верхние части литосферы, а также механизм этого движения. Подавляющее большинство гидротермальных месторождений приурочено не к трещинам, образовавшимся в результате прорыва паров и газов, а к тектоническим нарушениям, возникшим значительно позже остывания апикальной части интрузивов. Многое здесь зависит от физико-механических свойств горных пород, в которых протекают физико-механические и геохимические процессы. Именно они во многих случаях являются причиной различного характера оруденения и его пространственного размещения. Имеющиеся данные по исследованию физико-механических свойств горных пород при изучении генетических вопросов рудогенеза указывают на их контролирующее значение.

В. И. Старостин [70, 71], изучавший роль физико-механических свойств пород в локализации Яман-Касинского колчеданного месторождения, указывает, что на рудоотложение существенно влияют пористость и проницаемость пород. Оптимальная величина эффективной пористости составляет 4—8%. Более пористые породы обычно легко проницаемы и при отсутствии экранирующих поверхностей неблагоприятны для рудоотложения. Характерно отметить, что кварц-серцит-хлоритовые породы, вмещающие вкрапленное оруденение, имеют низкую твердость по Шору, высокий коэффициент уплотнения (46%), а также сравнительно невысокий коэффициент Пуассона для всего комплекса рудовмещающих пород (0,12—0,24).

И. П. Тимченко [73] отмечает влияние пористости и трещиноватости рудовмещающих пород на степень и характер оруденения. По его данным, в породах с высоким временным сопротивлением (более  $3000 \cdot 10^{-5}$ , Па) трещины почти не образуются. Количество трещин на 1 м керна не превышает 10—12. Поступление рудоносных растворов в такие породы (воластонит-пироксеновые скарны) затруднено, и поровое пространство не может быть использовано для локализации полиметаллического оруденения. Пироксен-гранатовые скарны, образовавшиеся при менее высоких температурах, обладают меньшей механической прочностью при сжатии ( $2200 \cdot 10^{-5}$ , Па) Эти породы легче дробятся, имеют более высокую эффективную по-

ристость (в среднем 4%), что облегчает поступление в их поровое пространство рудоносных растворов.

По Л. Грейтону [18], химизм измененных околорудных пород, возникающих под воздействием гидротермальных растворов, лучше всего вскрывает природу их изменений.

Однако имеются многочисленные примеры, когда горные породы, слагающие месторождение, близки по составу, и в этом случае распределение оруденения обуславливается именно физико-механическими свойствами.

Особое значение изменению пород как поисковому признаку придает Т. С. Ловеринг [34]. Он, в частности, указывает, что контуры измененных пород могут повторять контуры проводников рудных растворов и самих рудных тел. В этом отношении количественная характеристика околорудных пород по плотности, пористости, магнитной восприимчивости и т. д. может явиться поисковым признаком.

Здесь можно сослаться на доклад Н. А. Никифорова «Пористость некоторых типов горных пород в разных геологоструктурных условиях и ее влияние на размещение ртутного оруденения» [79]. Анализ условий размещения оруденения в слоистых породах позволил автору установить оптимальное значение эффективной пористости, особенно благоприятной для локализации сурьмяно-ртутного оруденения. На разных месторождениях она колеблется от 1,8 до 3,5%. Установленные значения оптимальной пористости учитываются при разработке поисковых критериев и составлении детальных прогнозных карт, являющихся основой для глубинных поисков сурьмяно-ртутного оруденения.

Вопросам околорудных изменений посвящена работа [22], в которой рассматриваются причины локализации оруденения в скарнах и карбонатных породах. Из указанной работы следует, что отложение руд происходит путем замещения силикатов скарна, а также контактирующего со скарном известняка или реликтов известняка в скарне и заполнения открытых трещин или брекчированных участков скарна. Это объясняется прежде всего тем, что пористость скарнов более высокая, чем исходных карбонатных и силикатных пород.

Количественное выражение благоприятных условий локализации оруденения в скарнах вследствие их повышенной пористости мы находим у Ю. А. Розанова [58] и других исследователей.

Интересна работа А. С. Павленко [49] по исследованию особенностей метасоматоза в одном из районов Северного Криворожья. Автором отмечается, что интенсивные проявления метасоматоза, как правило, наблюдаются в благоприятных структурных узлах, связанных с резкими перегибами и поворотами основной синклинальной структуры.

Последующими исследованиями в Кривом Роге доказано большое влияние физико-механических свойств пород на формирование рудоконтролирующих структур и локализацию железных руд.

Г. В. Тохтуев [77] отмечает, что железисто-кремнистые формации слагаются неоднородно слоистыми породами с резко различной пластичностью и жесткостью слоев. Тектонические нарушения характеризуются развитием хрупких деформаций в жестких слоях и пластическим течением в относительно пластичных слоях. Это, в свою очередь, приводит к межбудинажным пережигам и относительно большим обогащениям рудным веществом.

Геологические предпосылки и примеры околорудных изменений горных пород используются геологами при поисках новых рудопроявлений и участков, благоприятных для локализации оруденения. Однако имеются многочисленные примеры, когда геологические предпосылки выражены недостаточно, и для их количественной характеристики необходимо пользоваться физико-механическими свойствами пород.

Так, по данным Х. К. Кудусова [32], физико-механические свойства вмещающих пород месторождения Акташского рудного поля колеблются в широких пределах. Однако для пород из рудоносных зон характерны высокая пористость (2,49—7,99%), низкие значения модуля упругости  $[(1,9—4,8) \cdot 10^{-5}, \text{Па}]$  и относительно низкие скорости упругих волн (2660—4500 м/с).

Не менее показательны результаты исследований В. И. Кусевича, Н. А. Никифорова и Х. К. Рахимова [79]. По их данным, избирательная локализация низкотемпературного ртутного оруденения в близких по своим химическим свойствам известняках и доломитах, особенно на участках с близкими структурными позициями, обуславливается главным образом различиями физико-механических свойств пород. Как показали их исследования, ртутное оруденение приурочено к горизонтам пород с наиболее высокими значениями модуля упругости  $(7,05 \cdot 10^{-5}, \text{Па})$ . Тектонические напряжения в таких породах реализовались преимущественно в виде разрывных деформаций, а также повышения пустотности и эффективной пористости. В рудную стадию минерализации происходило уменьшение эффективной пористости пород в 1,4—1,5 раза в результате заполнения пустот рудными минералами.

Изучение эффективной пористости в пределах потенциально рудоносных комплексов позволяет целенаправленно вести поиски на выявление конкретных месторождений и рудных тел. В этой связи уместно сослаться на результаты исследований физико-механических свойств рудовмещающих пород для оценки условий формирования рудных месторождений в благоприятных геологических условиях [39].

Многие вопросы использования физико-механических свойств горных пород при разведке и поисках месторождений горючих полезных ископаемых (уголь, нефть, газ) отражены в монографии [83]. Анализ большого фактического материала позволил авторам выявить основные закономерности изменения физических свойств осадочных пород в зависимости от условий их залегания и других геологических факторов.

## **Использование физико-механических свойств для классификации горных пород и справочных материалов**

Классификации горных пород по их физико-механическим свойствам основаны на следующих показателях: механическая прочность на сжатие, сопротивление пород удару, угол естественного откоса, твердость по методу вдавливания штампа, конуса и др. Большая часть классификаций построена на показателях механической прочности. Так, например, проф. М. М. Протодьяконовым (старшим) была разработана классификация пород по относитель-

ному коэффициенту крепости  $f$ , равному в первом приближении  $1/100$  временного сопротивления ее сжатию.

Другие классификации по механической прочности пород на раздавливание и другим физическим свойствам имеют второстепенное значение. К ним относятся:

шкала Гидроэлектропроекта, составленная на основе твердости и крепости пород и таблицы крепости пород, принятые Союзвзрывпромом [72], Гиредметом [50], Министерством электростанций, Шахтстроем и другими организациями;

классификационные таблицы Вернера (по крепости пород), Юнга (по структурным факторам), Мима (по углу естественного откоса), Лоресса (по сопротивлению на удар и раздавливанию); шкала Мооса;

таблица пород Раймонда, основанная на числах твердости, составляющих породу минералов по шкале Мооса;

таблица пород по твердости, принятая Бюро дорожного строительства Департамента земледелия США;

шкалы пород по данным испытаний методом Шора и на копке Педжа;

классификация пород Л. А. Шрейнера по твердости, пластичности и удельной контактной работе [87].

В последнее время появились классификации горных пород, основанные на динамической прочности по толчению, твердости и абразивности [53], абразивности [37], твердости и механической прочности [36].

В зарубежной практике известны классификации горных пород по твердости — по вдавливанию конуса [89], по абразивности — по износу стальной пластинки и бронзового стержня [90, 91].

Необходимо отметить, что основная трудность классификации горных пород по физико-механическим свойствам заключается в неоднородности пород по составу, структуре, текстуре, а следовательно, и в различном их поведении при воздействии породоразрушающего инструмента и зарядов взрывчатых материалов. Физико-механические свойства горных пород, влияющие на процессы горного и бурового дела, еще недостаточно изучены. Этим в значительной степени и объясняется то, что большинство существующих классификаций пород по буримости, взрываемости и разрыхляемости основывается на статистических и технических данных, на приближенных шкалах. При этом не имеется определенных и объективных критериев оценки категорий и групп пород по их физико-механическим свойствам.

Однако ясно, что прогресс горного и бурового дела в значительной степени зависит от систематического исследования указанных свойств горных пород. Изучение их необходимо для установления оптимальных режимов эксплуатации производственных механизмов, для выбора режущих и истирающих материалов, а также типов буровых станков и машин, применяющихся в буровом и горном деле.

На основании исследований твердости и износоустойчивости истирающих материалов и физико-механических свойств горных пород наметились рациональные области применения различных истирающих материалов и рациональные режимы твердосплавного и алмазного бурения; определены задачи дальнейшего изыскания новых, более износоустойчивых истирающих материалов для бурения



367

пород высоких категорий. Этому способствовали результаты исследований, проведенные в Институте нефти АН СССР (Л. А. Шрейнер и др.), в ИГД им. Скопинского (М. М. Протодяконов, М. И. Койфман, Л. И. Барон и др.), в ВИМСе (М. И. Койфман, Н. И. Любимов и др), в ВИТРе (М. В. Виторф, Н. В. Быкова), в ЦНИГРИ и НПО «Геотехника» (Н. И. Любимов и др.).

В этом ряду исследователей следует особо сослаться на М. М. Протодяконова и В. В. Ржевского, много сделавших для изучения и систематизации физико-механических свойств горных пород и развития горного дела [54, 57].

Указанные ученые с коллективом авторов выпустили в свет справочник (кадастр) физических свойств горных пород [69], в котором систематизированы данные об основных физических свойствах пород, важнейших минералов и некоторых элементов.

Данные о горных породах приведены по основным месторождениям руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья, ископаемых углей, горючих сланцев и нерудных строительных материалов. В число основных физических свойств включены механические (прочностные, деформационные и акустические), тепловые, электрические и магнитные свойства горных пород.

Справочник предназначен для работников научно-исследовательских и проектных институтов, а также для инженерно-технических работников горных предприятий.

Из зарубежной литературы необходимо указать на справочник для геологов по физическим константам Ф. Р. Берча, Дж. Шерера и Г. Спайсера [11] и справочник физических констант горных пород под ред. С. Кларка младшего [68].

За 20 лет, прошедших со времени выхода первого издания справочника Ф. Р. Берча и др. [11], было получено много новых физических констант и параметров. Кроме того, возникли принципиально новые направления эксперимента. Поэтому выход в свет второго, значительно дополненного издания справочника под ред. С. П. Кларка [68] был совершенно необходим.

В этом справочнике, посвященном разнообразным темам, приведены данные по химическому составу, плотности, прочности, сжимаемости пород в монолите и упругим свойствам горных пород. Имеются сведения по фазовым превращениям минералов, горных пород и руд, процессам плавления и полиморфных превращений.

## МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

---

В настоящей главе описаны методики, с помощью которых определялись физико-механические параметры горных пород, использованные в настоящем справочнике. Методики недостаточно известные описаны более подробно, другие же даны в кратком изложении.

### 1. Определение коэффициентов динамической прочности, абразивности и категорий буримости

Ниже изложены основные положения ОСТ 41-89-74. Основой стандарта являются числовые значения динамической прочности ( $F_d$ ), абразивности ( $K_{абр}$ ), объединенного (расчетного) показателя ( $\rho_m$ ) горных пород, определяемые с помощью комплекта прибора ПОАП-2м.

Стандарт введен в действие с 1 января 1976 г. для определения категорий буримости горных пород в порядке контроля визуального метода определения категорий, которым пользуются геологи в геологоразведочных партиях и экспедициях.

В процессе разработки метода и аппаратуры, испытаний и опытной эксплуатации ее в геологоразведочных партиях и экспедициях была разработана шкала по значению  $\rho_m$  взамен шкалы по скорости бурения.

Практическое применение шкалы по значению  $\rho_m$  позволяет избежать грубых ошибок при определении категорий по скорости бурения и при визуальном способе и снизить стоимость разведочного бурения.

На объектах разведки, где буримые породы хорошо известны (Донбасс, Кузбасс и т. п.), сходимость в определении категорий по визуальному методу геологов и по ОСТ 41-89-74 хорошая (около 80%), с завышением и занижением на одну категорию. В случаях, когда породы сильно изменены и исключают возможность визуального учета степени изменения (Восточный склон Урала, Кольский полуостров), сходимость ниже (около 60%); с преимущественным завышением на 1—3 категории.

Ниже приведено краткое описание контрольного метода определения категорий пород в соответствии с основными положениями ОСТ 41-89-74.

Метод распространяется на горные породы V—XII категорий буримости для вращательного бурения применительно к общепринятой классификации (ЕНВ, Гостехиздат, 1963, с. 19).

Результатами опытной эксплуатации установлено, что такие по-

роды, как мел, мергель, каолин, аргиллит, слабый алевролит, боксит, талько-магнезит, бурый уголь, нетвердые железные руды, при определении их динамической прочности обнаруживают большую остаточную деформацию. На указанные породы метод не должен распространяться. По этой причине метод не распространяется и на первые четыре категории пород по буримости, представленные нетвердыми породами. Метод также не рекомендуется распространять на каменные угли, отличающиеся высокой степенью дробимости, которая определяется по ГОСТ 15490—70.

**Отбор образцов.** Отбор образцов производится из керна горных пород, полученного при бурении вращательным способом.

Размеры образца: длина 20—25 см при бурении коронками диаметром 46—59 мм и 15—18 см при бурении коронками диаметром 76—92 мм.

Подготовка проб из образцов осуществляется в следующем порядке: испытуемый образец породы разбивается на куски изометрической формы без острых углов размером 1,5—2,0 см в поперечнике; набираются две пробы, каждая проба состоит из 25 кусков и разделяется на пять частей по пяти кусков.

**Аппаратура.** При определении категорий пород применяются: прибор определения динамической прочности (крепости) горных пород ПОК; прибор определения абразивности горных пород ПОАП-2м; весы типа ВР-5 по ГОСТ 359—54.

В серийном выпуске прибор ПОК входит как составная часть в комплект прибора ПОАП-2м.

**Материалы.** Для работы необходимы следующие материалы: дробь № 4 ОТ-I диаметром 3,25 мм по ГОСТ 7837—55. В случае отсутствия дробь № 4 можно заменить дробью № 5 диаметром 3,0 мм марки ОТ-I или № 3 диаметром 3,5 мм марки ОТ-II (при этом количество дробинok в опыте будет различным, правила подбора их описаны ниже); порошок электрокорундовый № 12 по ГОСТ 3647-71.

**Принадлежности.** Загрузочные цилиндры из стекла органического СОЛ по ГОСТ 15809—70—18 шт. (6 для проведения опыта, 6 — для промывки дроби после опыта, 6 — запасные). Сито из сетки № 5 по ГОСТ 3826—66. Мерка емкостью 1 см<sup>3</sup>.

**Подготовка к испытанию.** Дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом. Дробинки неправильной формы (сплюснутые, вытянутые и т. п.) отбраковываются. Далее производят подбор дробинok в навеску, для чего заготавливают 6 навесок по 21 дробинке диаметром 3,25 мм или 26 дробинok диаметром 3,0 мм, либо 14 дробинok диаметром 3,5 мм. Повторное использование дроби не допускается. Взвешивают каждую навеску дроби. Определение массы дроби при каждом взвешивании следует производить с точностью до 10 мг.

Загружают в каждый загрузочный цилиндр навеску дроби и 1 см<sup>3</sup> электрокорундового порошка. Загрузочные цилиндры с дробью и электрокорундовым порошком помещают в прибор ПОАП-2м и включают его на 20 мин, при этом электродвигатель должен совершить 28 тыс. оборотов, которые контролируются счетчиком прибора.

Каждую навеску дроби после указанного опыта помещают в сосуд с водой и после перемешивания (споласкивания) извлекают и вытирают насухо чистым хлопчатобумажным материалом.

Промытую дробь взвешивают. Потеря массы дробы в каждой пробирке должна быть  $200 \pm 10$  мг. В случае отклонения потери массы дробы от указанного необходимо изменить количество дробин в навеске и работу повторить.

**Проведение испытаний.** Каждую часть пробы, состоящую из пяти кусков, помещают в стакан прибора ПОК и производят 10 сбрасываний гири массой 2,4 кг с высоты 600 мм (груз поднимается до упора). Продукт разрушения всех пяти частей каждой пробы породы просеивают через сито с размером стороны ячейки в свету 0,5 мм. Прошедшую через сито фракцию 0,5 мм и менее ссыпают в трубу объемомера. В трубу свободно вставляют до упора цилиндр и снимают отсчет « $h$ » по шкале цилиндра в миллиметрах.

Раздробленную горную породу фракции 0,5 мм и менее высыпаяют из объемомера на лист чистой бумаги в виде конуса, затем конус с помощью пластинки разворачивают в диск, который снова пересыпают в конус. Процесс перемешивания повторяют два-три раза для получения однородной среды. Из противоположных частей диска отбирают две пробы объемом 1 см<sup>3</sup> каждая.

Загрузочные цилиндры с дробью и пробами помещают в прибор ПОАП-2м и включают на 20 мин. После испытания дробь промывают, для чего каждую навеску дробы помещают в чистые загрузочные цилиндры, заполненные на  $\frac{2}{3}$  объема водой. Загрузочные цилиндры с дробью и водой помещают в прибор ПОАП-2м и включают его на 5 мин. Промытую дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом, взвешивают каждую навеску и определяют потерю массы дробы  $Q$  (в миллиграммах). В итоге составляют протокол испытаний по форме, указанной в ОСТе.

**Определение категорий пород.** Коэффициент динамической прочности пород ( $F_d$ ) определяют по формуле

$$F_d = \frac{20 \cdot n}{h} = \frac{200}{h},$$

где  $n=10$  — число сбрасываний гири на приборе ПОК;  $h$  — отсчет по шкале цилиндра объемомера, в мм.

Коэффициент абразивности ( $K_{абр}$ ) исследуемой породы определяют по формуле:

$$K_{абр} = \frac{Q}{100},$$

где  $Q$  — потеря массы дробы, в мг.

Коэффициенты динамической прочности и абразивности определяются по двум пробам.

За средние значения  $F_d$  или  $K_{абр}$  принимаются среднеарифметические двух определений при условии

$$z = \frac{x_1 - x_2}{(x_1 + x_2)/2} 100 \leq 25\%,$$

где  $x_1$  и  $x_2$  — значения двух определений  $F_d$  или  $K_{абр}$ .

В случае отклонения от приведенного условия проводятся дополнительные определения. Из полученных значений  $F_d$  или  $K_{абр}$  выбираются те два, для которых  $z$  отвечает приведенному условию и меньше по величине.

Таблица 1

Значения  $\rho_m$  для категорий пород

Категория пород	Значения $\rho_m$	Категория пород	Значения $\rho_m$
V	От 4,5 до 6,8	IX	Свыше 22,8 до 34,2
VI	Свыше 6,8 до 10,1	X	» 34,2 до 51,2
VII	» 10,1 до 15,2	XI	» 51,2 до 76,8
VIII	» 15,2 до 22,8	XII	» 76,8

Объединенный показатель динамической прочности и абразивности ( $\rho_m$ ) определяется по формуле

$$\rho_m = 3F_d^{0,8} K_{абр}.$$

Для расчета рекомендуется использовать справочную таблицу значений  $F_d^{0,8}$ , приведенную в ОСТе 41-89—74. Объединенный показатель определяется также по номограмме. Категорию пород по буримости определяют по значению  $\rho_m$  из табл. 1.

Мы рассмотрели методику определения механических свойств по ОСТ 41-89—74 применительно к вращательному виду бурения с использованием приведенной выше формулы определения объединенного показателя  $\rho_m$ .

Для ударно-вращательного вида разведочного бурения разработана другая формула определения объединенного показателя  $\rho_{m1}$

$$\rho_{m1} = 2F_d K_{абр}^{0,41},$$

отражающая преимущественное влияние на показатели этого вида буримости коэффициента динамической прочности, в то время как для вращательного бурения отмечается преимущественное влияние абразивности пород.

## 2. Определение объемной массы и пористости в образцах, предварительно обработанных

Этот метод, разработанный в ИГЕМ АН СССР, является наиболее точным. Каменный материал при этих определениях не должен быть изменен поверхностными процессами, которые могут исказить данные о пористости пород, обусловленной первичным составом и характером их изменений.

Применение этого способа определения объемной массы и эффективной пористости требует предварительной обработки образцов горных пород. Каждый образец распиливается на три параллельные плиточки размером  $5 \times 5 \times 0,7$  см. Края и поверхность плиточек слегка шлифуются. Необходимым условием является отсутствие трещинок и каверн, в которых может задерживаться вода. Обработанные плиточки высушивают в сушильном шкафу при температуре  $105-110^\circ\text{C}$  для получения постоянной массы, после чего образцы взвешивают и помещают в ванночки для водонасыщения.

Объемная масса определялась после водонасыщения на пятые сутки, за окончательный результат принималось среднеарифметическое значение измерений трех плиточек. Эффективная пористость\* определяется методом свободного 45-суточного водонасыщения. При этом измерения производятся на первые, третьи, пятые, десятые, пятнадцатые, тридцатые и сорок пятые сутки. Установлено, что по истечении 45 суток образцы получают максимальное насыщение.

### 3. Определение плотности, объемной массы и эффективной пористости гидростатическим взвешиванием в образцах без предварительной их обработки

Форма образца может быть неправильная. Образцы размером около  $5\text{ см}^3$  в количестве 25—30 и более помещают в сушильный шкаф для высушивания до постоянной массы при температуре  $105^\circ\text{C}$  в течение 15 ч. Высушенные образцы охлаждают в эксикаторе в течение 50 мин. После выдержки образцы взвешивают на аналитических (технических) весах для определения массы породы в сухом состоянии ( $P_1$ ), а затем партию образцов помещают в плоский сосуд (стеклянная или жесткая ванночка) для насыщения дистиллированной водой в течение 48 ч. Вода поступает со скоростью 30—40 капель в 1 мин. Этим достигается постепенное вытеснение воздуха водой. Поступление воды в сосуд с образцами прекращается после того как все образцы будут покрыты водой.

По истечении срока насыщения образцов породы водой последние взвешиваются в воздухе ( $P_2$ ). Перед взвешиванием каждый образец обтирается влажной фильтровальной бумагой. Насыщенные водой образцы также взвешиваются в воде для определения значения  $P_3$ .

Плотность ( $\gamma_0$ ), объемную массу ( $\gamma$ ) и эффективную пористость ( $P$ ) образцов вычисляют по следующим формулам:

$$\gamma_0 = \frac{P_1}{P_1 - P_3}, \text{ кг/м}^3;$$

$$\gamma = \frac{P_1}{P_2 - P_3}, \text{ кг/м}^3;$$

$$P_{\text{эф}} = \frac{\gamma_0 - \gamma}{\gamma_0} 100\%.$$

#### 4. Определение влажности

Метод определения влажности заключается в установлении количества воды, содержащейся в породе, по уменьшению массы образца при его высушивании. Различают весовую и объемную влажность. Весовая влажность — отношение массы воды, заполняющей поры, к массе сухого образца.

Объемная влажность — отношение объема воды, заполняющей поры, к объему образца породы.

Объемная влажность вычисляется по известным значениям весовой влажности и плотности сухого образца по формуле

$$w_V = w\gamma,$$

где  $w$  — весовая влажность;  $\gamma$  — плотность абсолютно сухого образца.

#### 5. Определение общей пористости

Общая пористость определяется пикнометрическим методом или по расчетной формуле

$$P_{\text{общ}} = 100 \left( \gamma - \frac{\gamma}{\gamma_0} \right),$$

где  $\gamma$  — объемная масса породы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\gamma_0$  — плотность,  $\text{кг/м}^3$ .

#### 6. Определение коэффициента водопоглощения

Высушенные и взвешенные образцы пород размером около  $5 \text{ см}^3$  помещают в металлический или стеклянный сосуд и насыщают водой капельным способом. Подача воды производится с такой скоростью, чтобы все образцы покрылись водой за 8 ч. Далее образцы оставляют в воде еще на четверо суток, затем вынимают, обтирают влажной фильтровальной бумагой и взвешивают.

Коэффициент водопоглощения определяется по формуле

$$W = \frac{P_2 - P_1}{P_1} 100\%,$$

где  $P_1$  — масса породы, высушенной до постоянного веса;  $P_2$  — масса породы после водонасыщения.

#### 7. Определение газопроницаемости

Измерение газопроницаемости пород производилось на приборе конструкции Е. Л. Закса. Прибор усовершенствован Н. И. Любимовым, предложившим использовать прокладки из вакуумной резины взамен заливки пространства между образцом и ободкой стального стакана сплавом Вуда, что ускоряет определения и делает их более безопасными. Кроме того, экономится дефицитный материал. Точность измерения не снижается.

Образцами для измерения служат цилиндры, диаметр и высота

которых 30 мм. О газопроницаемости пород судят по количеству газа, который прошел через образец и вытеснил из газометра тот или другой объем жидкости (воды). Коэффициент газопроницаемости определяется по формуле

$$K = \frac{2\mu V l P_{\text{бар}}}{S (P_1^2 - P_2^2) t} 1000, \text{ мД,}$$

где  $\mu$  — вязкость азота, сП (0,017);  $V$  — объем газа (количество вытесненной воды), см<sup>3</sup>;  $l$  — высота образца, см;  $P_{\text{бар}}$  — барометрическое давление, Па;  $t$  — время опыта, с;  $S$  — площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>;  $P_1$  — давление газа перед образцом, Па;  $P_2$  — давление газа после образца, Па.

## 8. Определение магнитной восприимчивости

Для измерения магнитной восприимчивости использовались капнометры Степанова и марки ИМВ-2. Эти приборы позволяют измерять магнитную восприимчивость в поле Земли ( $\kappa=0,5\text{э}$ ) простым и высокопроизводительным способом. Относительная среднеквадратичная ошибка составила 10—12%. Для небольшой части образцов определение магнитной восприимчивости произведено на проницмере. Естественно, что данные, полученные на проницмере, нельзя сопоставить с результатами, полученными на капнометре. В тех случаях, когда измерения выполнялись на проницмере, в работе дана специальная сноска. Удельная магнитная восприимчивость  $\kappa$  определялась также на астатическом магнитометре по методике Логачева.

## 9. Определение остаточной намагничиваемости $I_n$ и фактора $Q$

Естественная остаточная намагниченность ( $I_n$ ) определяется на образцах изометричной формы любого размера на астатическом магнитометре системы Долгинова. Фактор  $Q$  вычисляется по формуле

$$Q = \frac{I_n}{\kappa H_{0,5}},$$

где  $I_n$  — остаточная намагниченность, CGSM;  $\kappa$  — магнитная восприимчивость;  $H$  — поле Земли, равное 0,5 э.

При изучении физических свойств горных пород осадочного покрова территории СССР [83] большая часть фактического материала получена по унифицированной методике определения физических параметров. Физические параметры определялись в основном на неразрушенных образцах пород и только минералогическая плотность, общая пористость и частично магнитная восприимчивость измерялись на порошкообразных образцах.

## 10. Определение коэффициента температуропроводности

Коэффициент температуропроводности ( $\lambda_T$ ), использованный в работе [28], определяется по методу регулярного режима, описанному в работе проф. Г. М. Кондратьева.

При определении теплопроводности многолетнемерзлых пород [86] автором использован метод стационарного теплового потока.

## 11. Определение упругих характеристик

Упругие параметры горных пород определяли на установке ИПА-59\* с использованием методик продольного профилирования и прозвучивания. В последнем случае определялась только одна продольная волна  $v_p$ .

При продольном профилировании все точки изучения и приема располагаются на одной прямой — профиле наблюдения. Излучатель устанавливается неподвижно, а приемник передвигается. Применение принципа фазовой корреляции позволяет выделить индивидуальные волны, определить их скорости, а по ним, применяя известные формулы, рассчитать динамический модуль упругости ( $E \cdot 10^{-10}$ , Па),  $\mu$  — коэффициент Пуассона (безразмерная величина) и модуль сдвига ( $G \cdot 10^{-10}$  Па).

## 12. Определение акустического сопротивления

Использование ультразвука позволяет также рассчитать акустическое сопротивление  $R$  по формуле.

$$R = v_p \rho,$$

где  $v_p$  — скорость распространения продольных волн, м/с;  $\rho$  — объемная масса породы, кг/м<sup>3</sup>. Этот параметр является весьма показательным при характеристике измененных рудовмещающих пород.

## 13. Определение показателя относительной напряженности пород

Для характеристики рудовмещающих пород нами разработан и применен показатель относительной напряженности пород в монолите  $\lambda$ , который определяется по формуле

$$\lambda = \frac{E}{P_{эф}},$$

где  $E$  — динамический модуль упругости;  $P_{эф}$  — эффективная пористость породы.

## 14. Определение сжимаемости раздробленных горных пород

При проведении этих исследований ставилась задача определения сжимаемости горных пород в зависимости от вещественного состава для выявления возможной пустотности в породах. Учет наличия пустотности в породах, соответствующей моменту рудоотло-

---

\* Для этой цели также применялся сейсмокоп ИКЛ-5, приспособленный для измерения акустических свойств горных пород.

жения, связан с большими трудностями, особенно учет дорудных свободных пространств. С этой точки зрения метод исследований, основанный на сжимаемости раздробленных горных пород в зависимости от их вещественного состава, может объяснить образование геологических структур, благоприятных для рудоотложения. Эти предположения основываются на результатах известных опытов Фейоля [88], показавших закономерное изменение объема раздробленной горной породы при сжатии.

Результаты исследований Фейоля освещены в литературе в связи с изучением условий управления кровлей [7]. Нас же интересуют результаты этих работ в связи с изучением степени сжимаемости различных горных пород в раздробленном состоянии и возможного высвобождения объемов, благоприятных для рудоотложения.

Метод испытания пород в раздробленном состоянии сводился к определению зернистости  $M_3$ , коэффициента разрыхления  $K_p$ , процента усадки при всестороннем сжатии  $C_f$ , пустотности после сжатия  $I_p$ , модуля упругости сжатого порошка  $E_2$ .

Испытание заключалось в следующем.

1. После взвешивания образца на аналитических весах с точностью до 1 мг и определения объема (методом разностей уровней жидкости) с точностью до 0,2 см<sup>3</sup> образцы горной породы вновь высушивали до первоначальной (постоянной) массы и подвергали дроблению на валках с зазором между ними в 3,36 мм.

2. После дробления производили ситовой анализ с набором сит: 6, 10, 20, 50 и 100 меш.

Время просеивания через каждое сито вначале составляло 3 мин, затем 1 мин.

После взвешивания каждой фракции подсчитывали среднюю зернистость по формуле

$$M = \Sigma \frac{(y_1 + y_2 \Delta x)}{200}, \quad (1)$$

где  $y_1$  и  $y_2$  — две соседние величины процентного содержания фракций;  $\Delta x$  — разница сит между двумя соседними размерами; 200 — постоянный коэффициент.

3. После определения средней зернистости раздробленную массу тщательно перемешивали на листе кальки методом кольца и конуса (трехкратное составление конуса и площадки), затем порциями засыпали в градуированную мензурку, одновременно уплотняя массу в ней постукиванием по мензурке деревянной палочкой. Точность фиксируемого объема приблизительно равна 0,2 см<sup>3</sup>.

4. При дроблении горных пород объем их увеличивается. Отношение объема породы в разрыхленном состоянии к первоначальному объему в монолите соответствует коэффициенту разрыхления  $K_p$ , выражаемому формулой

$$K_p = \frac{V_2}{V_0}, \quad (2)$$

где  $V_0$  — объем породы до дробления, см<sup>3</sup>;  $V_2$  — объем породы после дробления, см<sup>3</sup>. При определении коэффициента разрыхления

в формулу (2) вводится поправка на потери при дроблении, тогда

$$K_p = \frac{V_2}{V_0 q_2 / q_0} = \frac{V_2}{V_0 q_2}, \quad (3)$$

где  $q_0$  — масса породы до дробления, г;  $q_2$  — масса породы после дробления, г.

5. После определения объема раздробленную породу засыпали порциями в прессформу, постукивая по ней металлическим предметом для уплотнения и равномерной укладки зерен.

На уровне уложенной в прессформу массы подводили площадку, в которую упирается стержень индикатора, и закрепляли винтом. Нулевое значение индикатора соответствовало линейной величине занимаемого объема раздробленной массы.

При всестороннем сжатии и высоком давлении ( $1580$  и  $3000 \cdot 10^5$  Па) раздробленная порода достигает своего первоначального объема.

Нагрузка ведется плавно при помощи гидравлического насоса с приводом от электромотора. Отсчет нагрузки производят по манометру с точностью до  $1 \cdot 10^5$  Па. Конечное значение линейной величины при  $3 \cdot 10^8$  Па служит основанием для определения объема сжатой раздробленной породы  $V_3$ :

$$V_3 = Fh, \text{ см}^3 \quad (4)$$

и объемной усадки  $C_f$

$$C_f = \frac{V_2 - V_3}{V_2} 100\%, \quad (5)$$

где  $V_3$  — объем сжатой раздробленной породы,  $\text{см}^3$ ;  $V_2$  — объем до сжатия,  $\text{см}^3$ ;  $C_f$  — объемная усадка, %;  $h$  — высота столба сжатой породы, см;  $F$  — площадь рабочего пространства прессформы.

Объемная масса раздробленной породы в сжатом состоянии (под нагрузкой)

$$r_1 = \frac{q_2}{V_3}, \text{ кг/м}^3, \quad (6)$$

а раздробленной породы после сжатия (при снятой нагрузке)

$$r_2 = \frac{q_2}{V_3^1}, \text{ кг/м}^3, \quad (7)$$

где  $q_2$  — масса раздробленной породы;  $V_3^1$  — объем раздробленной породы после снятия нагрузки.

Соответственно вычисляется пористость (пустотность) сжатого порошка

$$l_p = \frac{\gamma_0 - r_1}{\gamma_0} \quad (8)$$

и пористость (пустотность) сжатого порошка после разгрузки

$$l'_p = \frac{\gamma_0 - r_2}{\gamma_0}, \quad (9)$$

где  $\gamma_0$  — плотность\*, кг/м<sup>3</sup>.

Данные, полученные при всестороннем сжатии порошка, могут быть использованы для сопоставления с аналогичными параметрами образца в монолите и для определения соотношений между ними. Так, по отношению пористости (пустотности) породы в раздробленном состоянии после сжатия  $l_p$  к пористости породы в образце  $P_{\text{эф}}$  можно получить новую величину, указывающую на ее относительную пустотность ( $\eta = l_p/P_{\text{эф}}$ ).

По такому же принципу можно определить относительный модуль упругости  $\epsilon$ , представляющий собой отношение модуля упругости образца  $E$  к модулю упругости сжатого порошка породы после раздробления  $E_2$ .

Показатель относительной напряженности породы в раздробленном состоянии определяется по формуле

$$\lambda' = E_2/l_p.$$

Определение числовых значений указанных соотношений является составной частью нового метода анализа рудовмещающих пород в монолите и в раздробленном его состоянии после сжатия.

## 15. Определение прочности пород на сжатие и растяжение

Методика определения прочности пород на сжатие и растяжение сводится к определению удельного сопротивления породы разрывающему усилию  $P$  с учетом опорной площади образца

$$\sigma = \frac{P}{s}, \text{ Па.}$$

Приведем в качестве примеров некоторые методики.

В работе М. Л. Рудакова и др. [78] описан метод определения прочности на растяжение при помощи соосных пуансонов при раздавливании цилиндрических образцов в радиальном направлении.

При расчете учитывается:

$$\sigma_{\text{пр.р}} = k\eta\sigma_{\text{п}} \frac{d}{D-d},$$

где  $\sigma_{\text{пр.р}}$  — максимальное напряжение разрыва, Па;  $k\eta$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от пластической массы, заполняющей отверстие, в данном случае он равен 1;  $d$  — диаметр пуансона, см;  $D$  — диаметр образца, см;  $\sigma_{\text{п}}$  — напряжение, создаваемое пуансонами, Па.

\* Плотность (удельный вес) определяется обычным пикнометрическим методом.

Известен также метод определения  $\sigma_p$ , разработанный К. В. Руппенойтом [61]. При этом методе круговая пластинка породы нагружается в центре штампом до тех пор, пока не разрушится на изгиб. Предел прочности на растяжение

$$\sigma_p = K_r P,$$

где  $K_r$  — коэффициент, зависящий от геометрических размеров образца породы и штампа, а также от коэффициента Пуассона;  $P$  — нагрузки на штамп.

В работе Ф. М. Ляховицкого и М. Н. Полтева [41] для определения прочности пород на сжатие из кернов и блоков выбуривались образцы высотой и диаметром 40 мм. При этом обеспечивались параллельность торцов и необходимое качество шлифовки. Образцы в сухом состоянии раздавливались на гидравлическом прессе БКК-200-М.

Результаты раздавливания образцов кубической формы умножались на 1,07 для получения сравнимых данных с временным сопротивлением раздавливанию образцов цилиндрической формы.

В работе [33] прочность на сжатие определялась на кернах диаметром и высотой 41 мм, частично на кубиках с ребром 40 мм.

В других работах [43] испытания проводились на цилиндрических и призматических образцах, которые выпиливались из кернов диаметром 70 мм при высоте 100—150 мм, размеры призм составляли 30×30×60 мм.

Испытания проводились на 100-тонном прессе, регистрирующим прибором была тензостанция ВСТ-4.

Предел прочности на растяжение ( $\sigma_p$ ) определялся методом раскалывания призматических образцов сечением 30×30 мм.

Исследователи [43] брали для испытаний образцы цилиндрической формы размером 41,2±2 мм. В работе [33] прочность на растяжение определялась методом раскола керна по образующей

$$\sigma_p = 0,63 \frac{P}{dl},$$

где  $P$  — разрушающая сила;  $d$  — диаметр керна;  $l$  — длина образующей.

Прочность на срез определялась по методике В. Т. Глушко, описанной в книге «Результаты изучения прочностных и деформационных свойств горных пород Западного Донбасса» и в работе М. М. Протодьяконова «Паспорта прочности горных пород и методы их определения».

В работе [61] предел прочности пород при срезе определялся на срезном приборе конструкции ВНИМИ. Образцы пород имели цилиндрическую форму диаметром 82—84 мм (шахта Первомайская) и 50 мм (шахта Южная). Срез под углом 45°.

$$\tau = \frac{P}{F} \sin \alpha, \text{ Па},$$

где  $P$  — разрушающая нагрузка;  $F$  — площадь плоскости среза;  $\alpha$  — угол наклона образца к горизонтали, под которым он срезается.

## 16. Определение механической прочности на скалывание по методу ВИМСа [36]

Определение по этому методу заключается в одностороннем срезе образца горной породы при помощи прибора Д. И. Гороневича. Образец породы изготавливается в виде прямоугольной пластинки с размером поперечного сечения  $30 \times 15$  мм и длиной 120—150 мм. Прибор состоит из обоймы и двух ножей, заточенных под углом  $85^\circ$ . Усилие создается при помощи гидропресса. Прочность на скалывание определяется по формуле

$$\sigma_{\text{ск}} = \frac{P}{S}, \text{ Па.}$$

## 17. Определение механической прочности на разрыв по методу ВИМСа [36]

Определение этим методом производится на гидравлическом прессе, имеющем специальное приспособление. Образец породы для испытания имеет форму прямоугольной призмы длиной 80 мм, шириной 20 мм и толщиной 10 мм, у которой с двух боковых сторон сделаны полукруглые выемки, чтобы поперечное сечение средней части образца составляло  $10 \times 10$  мм (предполагаемое сечение разрыва образца).

Механическую прочность на разрыв вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \frac{P}{S}, \text{ Па.}$$

## 18. Определение контактной прочности [4]

При этом методе испытаний объем образца породы любой конфигурации должен быть не менее  $25\text{--}300$  см<sup>3</sup>, высота его — не менее 120—150 мм. Штамп вдавливают в нешлифованную поверхность образца до момента разрушения породы, при этом параллельность плоскостей необязательна. Площадь штампа в зависимости от прочности пород может составлять 5 или 10 мм<sup>2</sup>.

Величина контактной прочности (твердости) вычисляется по формуле

$$P_k = \frac{P}{S_{\text{ш}}}, \text{ Па,}$$

где  $P$  — нагрузка на штамп;  $S_{\text{ш}}$  — площадь штампа.

Непрочные породы ( $P_k < 10^{-5}$ , Па) определяются двумя штампами, результат измерения вычисляется по формуле

$$P_k = \frac{P_2 - P_1}{S_2 - S_1}, \text{ Па,}$$

где  $P_1$  и  $P_2$  — разрушающая нагрузка при вдавливании штампов с площадью основания штампов соответственно меньшей  $S_1$  и большей  $S_2$ .

## 19. Определение статической твердости [54]

Статическая твердость  $P_0$  определяется на приборе ПТА и представляет собой величину начального осевого усилия подачи, когда абразивные свойства породы еще не успели сказаться.

## 20. Определение абразивности [54]

Абразивность — это угловой коэффициент, показывающий темп роста осевого усилия на сверле в связи с его износом в процессе сверления породы.

## 21. Определение динамической прочности

Метод определения динамической прочности ( $F_d$ ) по методу толчения описан в литературе [36] и в отраслевом стандарте 41-89—74 [48].

## 22. Определение удельной ударной вязкости [36]

Метод определения удельной ударной вязкости заключается в получении фракции менее 7 мм при толчении на копре конструкции ЦНИГРИ. Результат определения подсчитывается по формуле

$$a = \frac{Pn\eta\gamma_0}{Q}, \text{ Па,}$$

где  $a$  — удельная ударная вязкость;  $P$  — масса ударника, равная 2,0 кг;  $Q$  — масса раздробленной породы фракции менее 7 мм;  $n$  — количество произведенных сбрасываний груза;  $h$  — высота сбрасывания груза, равная 0,25 м;  $\gamma_0$  — плотность горной породы, кг/м<sup>3</sup>.

## 23. Определение дробимости горных пород

Дробимость (Д) горных пород [6] определялась по отношению массы фракций более 7 мм к исходной массе образца в %.

## 24. Определение твердости и пластичности

Твердость и пластичность по методу вдавливания штампа определялась по ГОСТ 12288—66 ( $P_{шт}$ ,  $K_{пл}$ ).

## 25. Определение твердости по методу истирания

Метод определения твердости горных по методу истирания заключается в следующем: к цилиндру, поверхность которого закрыта карборундовой шкуркой, прижимается с постоянной нагрузкой образец с испытуемой горной породой. При вращении цилиндра с

постоянной окружной скоростью происходит истирание образца. Показатель твердости  $H_{ист}$  определяется по формуле

$$H_{ист} = \frac{100S\gamma}{P_1 - P_2},$$

где  $S$  — площадь истирания образца,  $m^2$ ;  $\gamma$  — объемная масса породы,  $kg/m^3$ ;  $P_1 - P_2$  — соответственно масса образца породы до и после истирания,  $kg$ .

## 26. Определение твердости (упругости) по методу Шора

Метод Шора заключается в следующем. На отшлифованную поверхность испытуемого образца горной породы с определенной высоты свободно падает боек со сферическим наконечником. Твердость (упругость) породы ( $P_{ш}$ ) определяется по высоте отскока бойка.

## 27. Определение абразивности горных пород в монолите

Метод определения абразивности горных пород в монолите ( $A$ ) заключается в определении потери массы стержня из стали-серебрянки (в  $kg$ ) при трении о породу в результате его вращения под нагрузкой с помощью специально приспособленного для этого сверлильного станка [5].

Метод определения абразивности горных пород в раздробленном виде описан в литературе [36] и в отраслевом стандарте 41-89—74 [48].

## 28. Определение коэффициента хрупкости

Коэффициент хрупкости характеризуется отношением

$$\sigma_{сж}/\sigma_r \text{ или } \sigma_{сж}/\sigma_{ск}.$$

## 29. Определение коэффициента крепости

Коэффициент крепости по Протодряконову

$$f = \frac{1}{100} \sigma_{сж}.$$

Л. И. Бароном и другими исследователями в последнее время было предложено определять осредненный коэффициент крепости по временному сопротивлению одноосному сжатию образцов пород правильной и неправильной формы.

# ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ГРУППИРОВКА ГОРНЫХ ПОРОД ПО СОСТАВУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

---

Генетическая классификация горных пород по составу, принятая при геологических исследованиях, с учетом их происхождения (магматические, осадочные, метаморфические) приводится в сокращенном виде, как предпосылка к характеристике пород по физико-механическим свойствам.

В настоящей главе приведены также группировки горных пород по составу и механическим свойствам на основе ОСТ 41-89—74 для практического использования при геологических работах и в технике буровой разведки.

## § 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД МАГМАТИЧЕСКОГО, ОСАДОЧНОГО И МЕТАМОРФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

### 1. Магматические породы

Магматические, или изверженные, горные породы формируются либо в условиях глубинной кристаллизации магмы, либо при ее излиянии на земную поверхность.

За основу классификации магматических пород авторы приняли классификацию, приведенную в книге Г. М. Саранчиной и Н. Ф. Шинкарева [62], которая, по нашему мнению, наиболее полно отражает как условия залегания пород, так и их вещественный состав (табл. 2).

По условиям геологического залегания магматические породы делятся на глубинные, или собственно интрузивные, и экструзивные.

**Глубинные, или интрузивные, породы** формируются в глубинах земной коры и в зависимости от этой глубины среди них выделяют:

1. Абиссальные, формирование которых происходит на значительных глубинах в условиях высокого давления и медленного остывания магмы.

2. Гипабиссальные, образовавшиеся на незначительных глубинах в условиях более быстрого остывания магмы.

3. Жильные или дайковые породы, которые формируются так же, как и гипабиссальные, на незначительных глубинах, но имеют другие формы залегания.

Для интрузивных пород характерны плотная, массивная текстура и полнокристаллическая равномернозернистая (у абиссальных

пород) и неравномернозернистая, часто порфировидная или порфировая (у гипабиссальных и дайковых пород) структуры.

**Экструзивные породы.** В зависимости от характера образования (извержения) в эту группу вошли экструзивные породы, возникшие в результате трещинных излияний — собственно излившиеся, или эффузивные, и экструзивные породы, образовавшиеся при извержениях эксплозивного типа.

Для большинства экструзивных пород характерны пористые, флюидальные, полосчатые и миндалекаменные текстуры и неполнокристаллические-стекловатые и микрокристаллические (микролитовые, сферолитовые и т. д.) структуры. Часто встречаются разности пород порфировой структуры, которая обусловлена наличием крупных кристаллов (вкрапленников) в основной (микролитовой) массе.

Количество вкрапленников может изменяться в широких пределах (от единичных зерен до 50% от объема породы).

Вулканические извержения (трещинного или центрального типов) обычно сопровождаются образованием вулканических туфов, туфовлав, пеплов и т. д., для которых характерна вулканокластическая структура. Последняя обусловлена наличием отдельных обломков пород или минералов, сцементированных мелкораздробленной массой или лавой того же или иного состава.

Экструзивные породы часто в той или иной степени изменены вторичными процессами. При этом меняется не только состав, но и структурно-текстурные особенности пород. Поэтому в зависимости от степени вторичных изменений среди экструзивных пород выделяются неизменные — кайнотипные и сильно измененные — палеотипные разности.

Как уже указывалось, другим важным классификационным признаком магматических пород является их вещественный и химический состав. Знание последнего особенно важно при изучении и диагностике экструзивных пород.

Главные составные компоненты магматических пород — кварц, полевые шпаты, нефелин, содалит и др. — так называемые калийные минералы; амфибол, пироксен, оливин, биотит и т. д. — феррические минералы. Минералы, присутствующие в породе в количестве менее 5%, называются второстепенными. Обычно это акцессорные — рутил, магнетит, сфен, циркон и др.

Кроме основных и второстепенных минералов в породах, за редким исключением, присутствуют вторичные минералы, образование которых связано с различной постмагматической деятельностью. Количество их варьирует в широких пределах — от единичных выделений, пятен, вплоть до полного замещения первичных минералов, по которым они развиваются. К таким минералам относятся серпентинит (по оливину), серицит (по плагиоклазу), хлорит (по биотиту), карбонат и др.

В зависимости от их количества и характера развития меняются состав и структурно-текстурные особенности пород и как результат — их физико-механические свойства.

На основе изучения минерального и химического состава выделяются следующие наиболее распространенные группы пород:

1. Ультраосновные бесполовшпатовые породы — перидотиты — пикритовые порфириты.

2. Основные породы — габбро-базальты.

Таблица 2

## Классификация магматических горных пород

Условия геологического залегания	Группы			
	Ультраосновные $\text{SiO}_2 \sim 40\%$	Основные $\text{SiO}_2 40-52\%$	Средние $\text{SiO}_2 52-65\%$	Кислые $\text{SiO}_2 65-75\%$
Интрузивные				
Абиссальные	Перидотиты	Габбро	Диориты	Граниты
Гипабиссальные и жильные	Пикриты	Диабазы микрогаббро	Спессартиты, керсантиты, микродиориты	Гранит-порфиры, аплиты, пегматиты, кварцевые порфиры, фельзит-порфиры
Экструзивные				
Кайнотипные эффузивы	Пикриты	Базальты	Андезиты	Липариты (риолиты), пемзы, обсидианы
Палеотипные эффузивы	Пикритовые порфиры	Порфиры (базальтовые, спилитовые) и спилиты	Порфиры (андезитовые)	Кварцевые порфиры (липаритовые порфиры)
Вулканокластические	Туфы и туфолавы пикритов, базальтов, диабазов, андезитов и др., кимберлиты			Игнимбриты, туфы и туфолавы липаритов, кварцевых порфиров и др.

Условия геологического залегания	Группы			
	Средние с повышенной щелочностью $\text{SiO}_2 52-65\%$	Фельдшпатовидные щелочные $\text{SiO}_2 50-56\%$	Фельдшпатовидные основные $\text{SiO}_2 40-52\%$	Фельдшпатовидные бесполовошпатовые
Интрузивные				
Абиссальные	Сиениты	Нефелиновые сиениты	Фельдшпатовидные габброиды-тералиты и эссекиты	Ийолиты, уртиты
Гипабиссальные и жильные	Сиенит-порфиры, микросиениты	Нефелиновые сиенит-порфиры, нефелин-сиенитовые пегматиты и др.	Тешениты, камptonиты, мончикиты	Ийолит-порфиры, ийолит-порфиновые пегматиты и др.
Экструзивные				
Кайнотипные эффузивы	Трахиты	Фонолиты	Тефриты, тефрито-базальты и др.	Нефелиновые лейцититы, нефелиниты и др.
Палеотипные эффузивы	Порфиры трахитовые			
Вулканокластические	Туфы и туфолавы трахитов и др.	Туфы и туфолавы фонолитов, тефритов, нефелинитов		

3. Средние породы — диориты — андезиты.
4. Кислые породы — граниты — липариты.
5. Щелочные породы — сиениты — трахиты.
6. Фельдшпатовидные — сиенит-фонолиты.
7. Фельдшпатовидные — габброиды — нефриты.
8. Бесполовошпатовые фельдшпатовидные породы — ийолиты — нефелиниты.

Ниже дано краткое описание наиболее распространенных разновидностей пород.

## Ультраосновные породы

В зависимости от минерального состава среди них выделяют пироксениты, горнблендиты (существенно роговообманковые), перидотиты (оливин+пироксен) и дуниты (90—95% оливина). Макроскопически — это темные, почти черные или темно-зеленые поляокристаллические породы массивной текстуры.

Гипабиссальной разновидностью ультраосновных бесполовошпатовых пород являются пикриты, состоящие из порфировых вкрапленников

авгита, роговой обманки, оливина и вулканического стекла, в различной степени измененного. Структура пород порфиroidная, основной массы — микрозернистая, пойкилитовая и микролитовая.

Экструзивные аналоги этой группы — кимберлиты встречаются редко, но имеют большое практическое значение, так как с ними часто связаны месторождения алмазов. Структура кимберлитов кристалло-литокластическая, текстура — брекчиевидная.

Несмотря на небольшое распространение, ультраосновные породы имеют большое практическое значение, так как с ними связаны промышленные месторождения хромита, титаномагнетита, никеля, кобальта, платины, алмазов, хризотил-асбеста, талька и др.

## *Основные породы*

Габбро — равномернозернистые горные породы габбровой структуры, для которой характерен примерно одинаковый идиоморфизм плагиоклаза и цветных минералов. Текстура массивная, такситовая и полосчатая.

В зависимости от преобладания того или иного цветного минерала выделяют роговообманковое, оливковое габбро, норит (вместо моноклинного пироксена ромбический). Габброиды, состоящие на 80—100% из плагиоклаза, называются анортозитами, а разности, в которых наряду с лабрадором присутствует ортоклаз, — монцонитами. Среди гипабиссальных и жильных пород следует назвать диабазы с характерной офитовой структурой, габбро-диабазы (с мелкозернистой структурой), габбро-пегматиты (с крупнозернистым сложением).

Экструзивной разностью основных пород являются базальты и базальтовые порфириды. По внешнему виду это темно-серые, плотные, мелкозернистые или скрытокристаллические породы порфиroidной или афиroidной (при отсутствии вкрапленников) структуры. Палеотипные разности характеризуются интенсивными вторичными изменениями основной массы и вкрапленников. С основными породами связаны месторождения медно-никелевых, апатитовых, титаномагнетитовых руд.

## *Средние породы*

Диориты — темно-серые, серо-зеленые полнокристаллические породы гипидиоморфнозернистой структуры, состоящие из плагиоклаза — андезина и цветных минералов — роговой обманки, пироксена. Диориты, содержащие кварца более 5—10%, являются кварцевыми диоритами; разности, в которых присутствуют ортоклаз, — сиенитдиоритами.

Микродиориты и диорит-порфиры, встречающиеся главным образом в виде жил и небольших штоковых тел, характеризуются мелкозернистой, или порфиroidной, структурой.

Андезиты и андезитовые порфириды являются эффузивными аналогами диоритовых пород. Представлены темно-серыми породами афанитового сложения с гналопилитовой, реже интерсертальной структурой основной массы. Андезитовые порфириды обычно сильно изменены; в них широко развиты серицитизация и сосюртитизация

плаггиоклаза, хлоритизация, карбонатизация темноцветных минералов. Вулканическое стекло полностью раскристаллизовано и превращено в агрегат тех же вторичных минералов.

С породами основного состава связаны месторождения полиметаллов, золота, молибдена и т. д. Кроме того, они используются в качестве строительного и кислотоупорного материала.

## *Кислые породы*

Граниты — средне-крупнозернистые светлоокрашенные породы, главными компонентами которых являются кварц (30—35%), калиевой полевой шпат (50—60%), плаггиоклаз (10—15%) и цветные минералы (3—5%). Структура гранитов — гипидиоморфнозернистая, порфириовидная, аплитовая и др., текстура обычно массивная.

Граниты, содержащие гиперстен, называются чарнокитами, лейкократовые граниты — аляскитами.

Гранодиориты отличаются от гранитов меньшим содержанием кварца и повышенным количеством темноцветных.

Пегматиты — крупнозернистые лейкократовые породы, состоящие из крупных кристаллов кварца и плаггиоклаза.

Аплиты характеризуются мелко-тонкозернистым сложением. Аплиты, пегматиты, гранит-порфиры встречаются главным образом в виде жил или жилообразных тел.

Излившиеся аналоги гранитов представлены лавами кислого состава, среди которых выделяются липариты (неизменные) и липаритовые порфиры (измененные разности). Для этих пород характерна порфириовая структура с плохо раскристаллизованной основной массой (стекловатая, сферолитовая, микрофельзитовая). Текстуры пород флюидалные, сферолитовые. В липаритовых порфирах основная масса в значительной степени раскристаллизована и имеет микрогранитовую и фельзитовую структуру.

С гранитами генетически связаны месторождения олова, молибдена, вольфрама, золота, берилла, слюды, драгоценных камней и т. д. Кварцевые порфиры, жильные породы этого ряда и их туфы имеют широкое применение как строительный и облицовочный материал.

## *Щелочные породы*

Сиениты — равномернозернистые бескварцевые полнокристаллические породы, состоящие из микроклин-ортоклаза, кислого плаггиоклаза, темноцветных — роговой обманки и биотита. Сиениты, содержащие кварц в количестве более 5%, относятся к кварцевым сиенитам и граносиенитам.

Жильными породами этого ряда являются сиенит-порфиры и микросиениты, которые отличаются от сиенитов лишь текстурно-структурными особенностями.

Трахиты — излившиеся породы сиенитовой магмы. Особенностью их является трахитовая структура основной массы, состоящей из микролитов плаггиоклаза, цветных минералов и вулканического стекла. В трахитовых порфирах стекло полностью девитрифицировано, а вкрапленники ортоклаза и плаггиоклаза интенсивно изменены.

Фельдшпатоидные щелочные сиениты характеризуются одновре-

Таблица 3

## Классификация осадочных горных пород

Генетические группы пород	Породы
<b>Обломочные</b>	
Рыхлые и слабо уплотненные	Обломки неокатаны: глыбы, щебень, дресва Обломки окатаны: валунники, галечники: крупные, средние, мелкие; гравий: крупный, мелкий
Сцементированные	Обломки неокатаны: брекчия глыбовая, крупная, средняя, мелкая; дресвяник крупно- и мелкозернистый Обломки окатаны: конгломерат валунный, крупногалечниковый, среднегалечниковый, мелкогалечниковый; гравелит крупнозернистый, мелкозернистый; песчаники полимиктовые, аркозовые, кварцевые; алевролиты
<b>Коллоидно-осадочные</b>	
Коллоидно-осадочные породы глинистые:	Глины: каолининовая, монтмориллонитовая, полимиктовая; суглинок Глина сахарная, аргиллит
пластичные	
непластичные	Боксит, латерит
Глиноземистые породы	Бурый железняк
Железистые породы	Руда марганцовистая
Марганцовистые руды	
<b>Хемогенные</b>	
Сульфатные	Гипс, ангидрит
Галогенные	Соль каменная, соль калийная (сильвинит, карналлит)
<b>Биохимические</b>	
Медистые	Медистый песчаник и алевролит
Кремнистые	Диатомит, трепел, опоки, яшма, сланец кремнистый
Карбонатные	Известняк, доломит, мергель
Фосфатные	Фосфорит

Генетические группы пород	Породы
<b>Органогенные</b>	
Торф	Горф
Ископаемые угли:	
гумусовые сапропелиты	Угли: бурый, каменный, антрацит Сланец горючий
Природные битумы	Озокерит, асфальт, асфальтит, керит
Группа нефти	Нефть, природный газ

менным присутствием в их составе калиевых полевых шпатов (65—70%) и нефелина около 20%. Последний оказывает большое влияние на их физико-механические свойства.

Макроскопически это средне-крупнозернистые гипидиоморфные породы такситовой, полосчатой или трахитоидной текстуры. Среди нефелиновых сиенитов в зависимости от количественного соотношения и характера цветного минерала выделяют луавриты, хибиниты, фойяиты, рисчорриты, миаскиты и т. д.

**Бесполовошпатовые щелочные породы** характеризуются преобладанием в их составе фельдшпатоидов (нефелина, содалита, лейцита) и отсутствием полевых шпатов. Породы, содержащие 75—100% нефелина, называются уртитамы, 45—75% нефелина — ийолитами.

Полезные ископаемые, связанные с щелочными породами, своеобразны и многочисленны. С щелочными сиенитами связаны гидротермальные, пегматитовые и магматические месторождения ниобия, тантала, циркония, урана и других редких элементов.

С бесполовошпатовыми основными породами связаны месторождения апатитовых, нефелиновых руд и карбонатитов.

## 2. Осадочные породы

Осадочные горные породы образуются в результате разрушения (выветривания) материнских пород, переноса и осаджения вещества с последующим образованием горных пород осадочного происхождения.

В табл. 3 приведена схематическая классификация осадочных пород. Описание пород приведено в основном по данным Н. В. Логвиенко [35].

По условиям образования все породы этого генетического ряда делятся на ряд групп: обломочные, коллоидно-осадочные, хемогенные, биохимические, органогенные.

### Обломочные породы

В основе группировки этих пород лежат структура (размер), степень окатанности частиц, характер и состав цемента и минеральный состав обломков.

Псефиты — рыхлые (гравий, галька, щебень) и цементированные (конгломераты, брекчи) продукты физического выветривания.

Псаммиты — пески и песчаники. По крупности зерен разделяются на крупнозернистые (0,5—1,0 мм), среднезернистые (0,5—0,25), мелкозернистые (0,05—0,25 мм).

В зависимости от преобладания в составе песков и песчаников одного, двух или нескольких минералов выделяют мономинеральные, олигомиктовые и полимиктовые разновидности, цементированные глинистым, железистым, хлоритовым, карбонатным и т. д. материалом.

К алевролитам относятся рыхлые образования (лёссы, илы) и цементированные (собственно алевролиты), размер зерен которых менее 0,05 мм. К обломочным породам следует также отнести и осадочные образования, содержащие примесь вулканогенного материала как в виде обломков, так и в цементе. Это пеплы, туфы, туффиты.

### *Коллоидно-осадочные породы*

Наиболее типичными представителями этого типа являются глины, аргиллиты и глинистые сланцы.

Глины — связанные породы с высокой пористостью (до 50%). Аргиллиты и глинистые сланцы — цементированные и метаморфизованные породы, плотные, с незначительной пористостью (от 1—2 до 10—12%). Выделяют монтмориллонитовые, каолиновые, гидрослюдистые разновидности.

К породам коллоидно-осадочного происхождения относятся многочисленные глиноземистые (латериты, бокситы), железистые, марганцовые (руды) образования.

Текстуры и структуры этих пород землистые, пористые, оолитовые, бобовые и конкреционные.

### *Хемогенные породы*

Этот генетический тип охватывает группу сульфатных и галлоидных пород.

Сульфатные породы представлены ангидритом и гипсом; галлоидные — каменной солью и калийными солями — карналлитом и сильвинитом — образующими залежи калийных солей, имеющих большое промышленное значение.

### *Породы биохимического происхождения*

В зависимости от состава выделяют кремнистые (трепел, опоки, некоторые яшмы), карбонатные (известняки, доломиты, мергели) и фосфатные породы.

Кремнистые породы частично или полностью состоят из кремнезема или скелетов кремневых организмов. Встречаются они в виде пластов, прослоев, конкреций среди других осадочных пород.

Известняки сложены главным образом минералами группы кальцита и скелетами известковых организмов.

Доломиты на 90—95% состоят из минерала доломита с небольшой примесью кальцита, халцедона, органического вещества.

Фосфатные породы представлены различными осадочными образованиями, содержащими не менее 10%  $P_2O_5$ . С ними связаны промышленные месторождения фосфоритов. Для всей этой группы пород характерны слоистые, конкреционные, оолитовые, сферолитовые, органические и обломочные текстуры и структуры.

### 3. Метаморфические породы

Метаморфические горные породы образуются в результате глубокого изменения первичных магматических и осадочных пород. Эти изменения происходят ниже зоны выветривания и, как правило, не сопровождаются переплавлением пород. Главными факторами метаморфизма являются повышение или понижение температуры, давления, а также воздействие растворов и газовых эманаций.

Метаморфические процессы происходят в твердом состоянии или при весьма незначительном участии жидкой фазы. В зависимости от преобладания того или иного фактора и типа возникающих пород выделяются следующие типы метаморфизма.

1. Контактный метаморфизм. Контактные изменения возникают во вмещающих породах в результате температурного воздействия магматических масс. Если при этом существенно меняется вещественный состав, изменения называются контактово-метасоматическими.

2. Катакlastический метаморфизм, или динамометаморфизм, проявляется в тектонических подвижных зонах, главным фактором его является давление.

3. Региональный метаморфизм проявляется на огромных площадях под действием высоких температур, давления и водно-газовых растворов.

4. Автометаморфизм наблюдается в магматических породах в результате падения температуры и воздействия собственных построматических газов и растворов.

5. Ультраметаморфизм — ультраметаморфические изменения проявляются в складчатых областях при существенном влиянии жидкой фазы и сопровождаются полным или частичным переплавлением первичных пород.

6. Метасоматоз может сопровождать различные типы метаморфических изменений, но в отличие от последних при метасоматозе происходит существенное изменение минерального состава пород. Метасоматические процессы протекают при активном участии эманаций и водных растворов. В результате метасоматических изменений возникают различные скарны, пропилиты, грейзены и т. д.

При метаморфизме и метасоматозе происходит изменение как текстурно-структурных особенностей, так и вещественного состава пород.

Среди структур метаморфических пород выделяются кристаллобластические, катакlastические, реликтовые и метасоматические.

Кристаллобластические структуры наблюдаются в полностью перекристаллизованных породах (гнейсы, амфиболиты, сланцы и др.), катакlastические — в породах, испытавших динамометаморфизм, реликтовые — характеризуются сохранением в реликтах первичной магматической или осадочной структуры.

Таблица 4

## Классификация метаморфических пород

Исходные породы	Породы, образованные при температуре		
	низкой и средней (менее 400°C)	высокой (400— 600°C)	весьма высокой (600—800°C)

## Региональный метаморфизм

Алюмосиликатные обломочные (песчаники, кремнистые сланцы)	Метаморфизованные песчаники, кварцито-песчаники, метаморфизованные конгломераты	Кварциты, гнейсы, метаморфизованные конгломераты	Кварциты, метаморфизованные кварциты, гнейсы, гранито-гнейсы, метаморфизованные конгломераты
Карбонатные (известняки, доломиты и т. д.)	Кристаллические известняки и доломиты	Мраморы, доломитовые мраморы, диопсидовые и тремолитовые мраморы	Мраморы, известково-силикатные кристаллические породы (бескварцевые гнейсы, мигматиты, диопсид-карбонатные, диопсид-скаполитовые, диопсид-амфиболовые породы)
Глиноземистые (глины, аргиллиты, алевролиты, мергели, кислые туфы и др.)	Филлиты	Кристаллические сланцы, гнейсы	Инъецированные гнейсы и мигматиты, гранито-гнейсы, чарнокиты
Железисто-магнезиальные (глины монтмориллонитовые, туфы основные и др.)	Зеленые сланцы	Амфиболиты, амфиболиты полевошпатовые, сланцы кристаллические, гнейсы	Амфиболиты, амфиболовые и пироксеновые мигматиты, гнейсы инъецированные
Эффузивные различного состава	Порфириты, порфиритоиды, серицитоидные и зеленые сланцы	Кристаллические ортосланцы и ортоамфиболиты	Ортогнейсы, мигматиты, гранито-гнейсы, гнейсограниты

Исходные породы	Породы, образованные при температуре		
	низкой и средней (менее 400°C)	высокой (400— —600°C)	весьма высокой (600—800°C)
Ультраосновные и основные интрузивные	Талькохлоритовые, талько-карбонатные породы, зеленые сланцы	Ортоамфиболиты, гранатовые амфиболиты	Ортоамфиболиты, гранатовые амфиболиты, мигматиты
Средние и кислые интрузивные	—	Ортогнейсы, очковые гранито-гнейсы	Ортогнейсы, гнейсовидные граниты

## Контактовый метаморфизм

Алюмосиликатные обломочные	Ороговитованные песчаники, алевролиты и др.	Контактовые роговики	Мигматиты, гранитизированные породы
Карбонатные	Кристаллические известняки и доломиты	Мраморы, тремолитовые, волостонитовые, диоксидовые породы, известково-силикатовые роговики	Мраморы и скарноиды
Глинистые туфы и туффиты	Пятнистые и узловатые сланцы	Контактовые роговики	Мигматиты, гранитизированные породы
Эффузивные различного состава	Ороговитованные эффузивы	То же	Гранитизированные породы или мигматиты

Текстуры метаморфических пород полосчатые, гнейсовидные, плейчатые, брекчиевидные и др.

В минеральном составе метаморфических пород главными компонентами являются кварц, полевые шпаты, амфиболы, пироксены. К числу наиболее распространенных разновидностей метаморфических пород относятся гнейсы, амфиболиты, кварциты, мраморы, скарны (табл. 4).

**Гнейсы** — полнокристаллические породы гранобластовой структуры. Текстуры гнейсов плейчатые, сланцеватые и т. д. Ортогнейсы образуются в результате метаморфизма магматических пород, парагнейсы — за счет изменения осадочных.

**Амфиболиты** — крупно-среднезернистые породы, состоящие главным образом из амфибола и основного плагноклаза и образующиеся

в результате метаморфических изменений магматических пород основного и среднего состава.

**Кварциты** — полнокристаллические от крупно- до тонкозернистых породы, на 90% состоящие из кварца.

**Мраморы** образуются в результате метаморфизма карбонатных пород. Главной составной частью мраморов является кальцит.

**Грейзены** — крупно-среднезернистые породы, образующиеся вдоль ослабленных зон (трещины, разломы) под воздействием различных пост- и позднемагматических растворов. Имеют большое практическое значение, так как с ними связаны месторождения олова, а также берилла, топаза, турмалина и других драгоценных камней.

**Скарны** представляют собой среднезернистые породы, обычно приуроченные к зонам контакта интрузивных и карбонатных пород. Со скарнами связаны крупные месторождения меди, олова, вольфрама, железа и т. д.

**Пропилиты** — мелкозернистые породы, характеризующиеся сохранением реликтовых структур и текстур и образующиеся в результате гидротермального изменения вулканогенных пород среднего и основного состава.

Изучение их физико-механических свойств имеет важное значение, так как с ними генетически связаны месторождения золота, серебра, ртути, меди, полиметаллов.

## § 2. ГРУППИРОВКА ГОРНЫХ ПОРОД ПО СОСТАВУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

Многочисленные определения физико-механических свойств горных пород, выполненные в связи с исследованиями их буримости, позволили накопить большой фактический материал и представить его в обобщенном виде (табл. 5).

В основу классификации пород, составленной с целью характеристики их по физико-механическим свойствам, положены общие принципы, используемые при геологических исследованиях. Породы разделены на группы по генетическим типам и составу. Для магматических пород в каждой группе выделены подгруппы по степени кислотности и щелочности.

Сопоставление значений физико-механических свойств пород по выделенным группам и подгруппам дает возможность установить закономерную связь между их составом и указанными свойствами. Необходимость разработки подобной классификации неоднократно отмечалась в литературе [56] и в значительной степени определяется потребностью практики.

Составление физико-механических свойств магматических, осадочных и метаморфических пород показало следующее. Динамическая прочность осадочных и магматических пород более постоянна, чем метаморфических; при этом она обычно ниже у осадочных пород (8,2—12,1) и выше у магматических (9,4—17,5), у метаморфических пород колеблется в пределах 7,5 (кристаллические сланцы) — 33,1 (биотитовые роговики).

Примерно такой же характер изменений наблюдается в абразивных свойствах пород различных генетических типов. Абразивные свойства ниже у осадочных пород (0,1—1,8) и выше у магматических (0,8—2,5), у метаморфических пород они характеризуются более

горных пород по составу и физико-механическим

Группа по кислотности и щелочности	Наименование породы	Физико-механические свойства (средние данные)				Категория бурности по значению $\rho_M$
		динамическая прочность $F_D$	образивность $K_{обр}$	объединенный показатель		
				$\rho_M$	$\rho_{M1}$	
Магматические породы						
Ультраосновные	Перидотиты, пироксениты	14,0	1,1	27,2	29,4	IX
Основные	Габбро	13,0	1,6	37,2	31,2	IX
Средние	Диориты и кварцевые диориты	12,0	1,7	37,2	29,6	X
Кислые	Гранодиориты, граниты	10,0	2,3	43,5	28,3	X
	Сиениты	8,0	2,0	31,6	21,2	IX
С повышенной щелочностью	Сиенит—диориты	12,0	1,3	28,4	27,0	IX
Щелочные	Фойяиты, ийолиты	7,5	2,2	33,0	30,0	IX
	Габбро-диабазы	17,0	1,2	34,7	36,4	X
Основные	Микрограниты	12,0	1,4	30,6	28,3	IX
Кислые	Гранит-порфиры	13,0	1,5	34,9	30,9	IX—X
С повышенной щелочностью	Сиенит-порфиры	14,0	1,3	30,3	31,5	IX
Щелочные	Мончикиты	15,0	1,4	36,6	35,1	X
	Луявриты	6,0	2,3	28,9	17,2	IX
Основные	Базальты и диабазы	19,4	1,1	35,3	39,8	IX—X
	Андезиты	16,6	0,8	22,7	30,3	VIII—IX
»	Порфиры	17,5	0,8	23,6	49,4	VIII—IX
Кислые	Дацииты	11,4	1,2	25,2	25,0	IX
	Фельзиты	14,7	1,3	33,5	33,0	IX
	Липариты	13,9	1,8	44,3	35,2	X
	Кварцевые порфиры	14,8	1,7	44,3	36,6	X
С повышенной щелочностью	Кварцевые альбитофиры	9,8	1,3	24,2	22,0	IX

Генетический тип пород	Группа по кислотности и щелочности	Наименование породы	Физико-механические свойства (средние данные)				Категория буримости по значению $\rho_M$	
			динамическая прочность $F_d$	абразивность $K_{abr}$	объединенный показатель			
					$\rho_M$	$\rho_{M_1}$		
	Кислые	Туфы кислых эффузивов	9,4	1,2	21,6	20,5	VIII	
Осадочные породы								
Обломочные		Аргиллиты	11,0	0,6	12,3	16,7	VII	
		Аргиллиты кремненные	9,7	1,4	25,8	23,0	IX	
		Алевролиты	12,0	0,5	10,9	18,3	VI—VII	
		Алевролиты кремненные	8,2	1,2	19,3	18,0	VIII	
		Сланцы глинистые	6,4	0,5	6,6	10,8	V—VI	
		Сланцы песчано-глинистые	5,6	0,8	9,5	10,3	VI—VII	
		Сланцы песчаные	8,9	0,9	15,5	10,7	VII—VIII	
		Песчаники слабые	4,3	1,1	10,5	9,5	VI—VII	
		Песчаники	12,1	1,3	28,6	26,3	IX	
		Песчаники кварцевые	10,8	1,8	36,2	27,3	X	
		Конгломераты	13,2	1,3	30,7	29,7	IX	
	Карбонатные		Мергели	4,6	0,1	1,2	4,3	III
			Известняки	8,5	0,4	6,6	11,8	V—VI
	Карбонатные измененные		Доломиты	11,3	0,4	8,3	15,3	VI
		Известняки кремненные	11,6	1,1	23,5	24,4	VIII—IX	

Продолжение табл. 5

Генетический тип пород	Группа по кислотности и щелочности	Наименование породы	Физико-механические свойства (средние данные)				Категория буримости по значению $\rho_M$
			динамическая прочность $F_d$	абразивность $K_{абр}$	объединенный показатель		
					$\rho_M$	$\rho_{M_1}$	
Вулканогенно-осадочные		Доломиты окремненные	20,3	1,2	40,0	43,9	X
		Туффиты	23,7	1,1	41,6	49,2	X
Метаморфические породы							
Контактово-метаморфизованные		Филлиты	3,2	0,9	14,5	15,8	VII
		Роговики	14,3	2,3	58,0	20,5	XI
		Роговики биотитовые	33,1	1,9	93,4	84,9	XII
		Мрамор	6,5	0,4	5,4	9,0	V—VI
		Мрамор скарнированный	11,0	0,8	16,3	20,1	VII—VIII
		Скарны гранат-пироксеновые	17,2	1,5	43,8	40,7	X
		Скарны рудные	15,3	1,4	37,2	35,8	X
		Кварциты	11,5	2,2	46,6	31,9	X
		Кварциты вторичные	24,6	2,3	89,7	69,0	XII
	Регионально-метаморфизованные		Гнейсы	8,2	1,8	29,1	20,7
		Сланцы кристаллические	7,5	1,1	16,5	16,0	VII—VIII
		Амфиболиты	30,0	0,9	41,0	57,0	X
		Железистые кварциты	25,5	1,9	75,8	65,6	XI
		Джеспилиты	25,0	2,6	102,2	79,7	XII

Примечание. 1. Возможные отклонения от средних значений в основном определяются 30—40%. 2. Объединенные показатели  $\rho_M$  и  $\rho_{M_1}$  рекомендуются для характеристики буримости вращательным и ударно-вращательным способами соответственно.

резкими колебаниями: от 0,4 у мрамора до 2,3—2,6 у кварцитов и джеспилитов.

Физико-механические свойства магматических пород в пределах отдельных групп, отличающихся по условиям залегания, указывают на относительно более низкую и изменчивую динамическую прочность глубинных пород по сравнению с прочностью гипабиссальных и излившихся. Это, по-видимому, объясняется тем, что первые являются крупнокристаллическими породами, преимущественно гипидиоморфнозернистой структуры, и легче разбиваются как вдоль зерен, так и по трещинам спайности внутри них. Вторые обладают порфировой и порфиroidной структурой и благодаря мелкозернистой или крипнокристаллической структуре основной массы, часто сцементированной вулканическим стеклом, отличаются большей прочностью и труднее поддаются раскалыванию.

Те же структурные особенности по-иному отражаются на абразивных свойствах пород. Крупнозернистые породы, особенно если в их составе преобладают минералы с высокой твердостью, без спайности или с несовершенной спайностью (кварц, нефелин, турмалин), имеют высокую абразивность ( $K_{абр}=1,8-2,5$ ), а вулканогенные породы со стекловатой основной массой истираются легче, заметно снижая свои абразивные свойства ( $K_{абр}=1,0-1,5$ ).

На основе анализа изменения физико-механических свойств пород в зависимости от их кислотности можно установить, что по мере увеличения кислотности пород динамическая прочность их уменьшается, а абразивность увеличивается. Это наблюдается почти во всех магматических комплексах, кристаллизовавшихся в разных условиях. Объясняется это, по-видимому, главным образом содержанием кварца и других модификаций окиси кремнезема, снижающих динамическую прочность и увеличивающих абразивность пород независимо от их структурных особенностей.

Щелочные магматические породы, а также породы с повышенной щелочностью по своим физико-механическим свойствам близки к породам среднего и кислого состава нормального ряда. В их составе решающее влияние на физико-механические свойства, по-видимому, оказывает нефелин — хрупкий, но достаточно твердый минерал с несовершенной спайностью.

Петрографические особенности магматических пород сказались и при определении других физико-механических свойств (твердости

Таблица 6

Твердость и механическая прочность магматических пород

Глубинные изверженные породы	Твердость по методу			Механическая прочность (Па) по методу	
	вдавливания штампа, Па	истирание, 1/см	Шора	раздавливания	скалывания
Ультраосновные . . . . .	290	320	57	—	—
Основные . . . . .	430	480	75	3300	370
Средние . . . . .	490	550	76	2310	230
Кислые . . . . .	560	730	78	2090	205

и механической прочности), установленных различными методами (табл. 6).

Среди осадочных пород наиболее низкими динамической прочностью и абразивностью обладают тонкозернистые и слабо метаморфизованные сланцеватые аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы и карбонатные породы, так как они состоят из минералов низкой твердости и легко раскалываются по плоскости слоистости.

Физико-механические свойства песчаников и крупнообломочных пород аналогичны соответствующим свойствам магматических пород кислого и среднего состава. Процесс окремнения в карбонатных породах значительно увеличивает их физико-механические свойства (окремненные доломиты в среднем имеют  $F_d=20,3$ ;  $K_{абр}=1,2$ ).

Физико-механические свойства метаморфических пород характеризуются резкими колебаниями независимо от условий их образования как в группе контактово-метаморфических пород, так и среди пород, измененных региональным метаморфизмом. Главную роль в величине динамической прочности и абразивности метаморфических пород, по-видимому, играют минеральный состав и структура. Наименее прочными и легко истираемыми являются породы, в составе которых преобладают слюдяные минералы и карбонаты (филлиты, мрамор, слюдяные кристаллические сланцы). Наиболее прочны породы массивные кристаллобластической структуры, состоящие из амфиболов, пироксенов, граната, магнетита, полевых шпатов (скарны, амфиболиты, железистые кварциты).

При рассмотрении вопросов, связанных с установлением рациональных областей применения буровой техники, необходимо иметь в виду, что породы одного и того же генетического типа имеют близкие значения механических свойств.

Для доказательства можно сослаться на результаты определения средних значений коэффициентов динамической прочности, абразивности и объединенного показателя по 20 генетическим типам пород изверженного и осадочного происхождения (табл. 7).

Образцы исследованных пород относятся к 22 регионам страны (Норильский горный округ, Центральный Казахстан, Горная Шория, Восточный склон Урала, Южный Урал, Киргизия, Воронежский кристаллический массив, Рудный Алтай, Северный Кавказ, Украинский кристаллический массив, Алдан, Восточный Узбекистан, Западный Узбекистан, Северо-Восток, Кольский полуостров, Забайкалье, Дальний Восток, Саяны, Донбасс — Юго-Восточный, Центральный, Северо-Западный, Днепровская впадина, Башкирия).

Коэффициенты вариации показателей указанных выше механических свойств для различных генетических типов пород в основном лежат в пределах 30—40%. Это свидетельствует о том, что каждая генетическая разность пород имеет близкие значения механических свойств вне зависимости от места взятия образца. Отмеченное положение может быть использовано при прогнозировании условий рационального применения буровой техники и расчетной скорости разведочного бурения горных пород из различных регионов, но близких по генетической принадлежности.

Это также позволит сопоставлять производительность бурения и судить о степени использования технических характеристик буровых установок и прогрессивной технологии бурения разведочных скважин. Наконец, такой подход позволяет производить обмен и передачу передового опыта буровой разведки.

Таблица 7  
Механические свойства различных генетических типов пород

Порода	Генетический тип	Группы по кислотности и щелочности	Месторождение (регион)	Число образцов	Динамическая прочность $F_d$		Коэффициент абразивности, $K_{абр}$		Объединенное значение $\rho_M$		Категория буримости по $\rho_M$
					средняя	коэффициент вариации	средний	коэффициент вариации	среднее	коэффициент вариации	
Изверженные породы											
Габбро	Интрузивные	Основные	Норильский район, Центральный Казахстан, Горная Шория, Восточный склон Урала, Южный Урал, Киргизия	10	11,7	38,9	1,48	35,1	30,0	37,5	IX
Диориты	То же	Средние	Воронежский кристаллический массив, Киргизия, Горная Шория, Рудный Алтай, Восточный склон Урала	24	13,9	36,9	1,52	31,9	36,1	38,7	X
Граниты	»	Кислые	Северный Кавказ, Украина, Южный Урал, Алдан, Восточный Казахстан, Украинский кристаллический массив, Северо-Восток	62	6,7	27,2	2,1	20,5	29,6	25,6	IX
Сyenиты	»	С повышенной щелочностью	Украинский кристаллический массив, Горная Шория, Северный Кавказ, Кольский полуостров	10	9,5	25,9	2,2	21,2	39,3	24,1	X
Сyenит-диориты	Интрузивные	То же	Восточный склон Урала, Киргизия, Забайкалье, Восточный Узбекистан, Кольский полуостров, Горная Шория, Центральный Казахстан	18	11,1	41,2	1,62	33,9	30,6	20,0	IX
Гранит-порфиры	Гипабиссальные	Кислые	Северный Кавказ, Горная Шория, Восточный Узбекистан, Дальний Восток, Центральный Казахстан	21	13,3	42,2	1,61	30,0	33,3	28,9	IX
Пегматиты	То же	»	Забайкалье, Алдан	10	3,7	41,2	2,4	12,7	19,9	30,1	VIII
Диабазы	Эффузивные	Основные	Южный Урал, Северный Кавказ	14	20,1	32,3	1,05	43,9	34	49,0	IX
Порфириты	»	Средние	Воронежский кристаллический массив, Дальний Восток, Горная Шория, Южный Урал, Восточный склон Урала	15	14,9	25,4	0,51	31,4	12,3	31,6	VII
Фельзиты	»	Кислые	Северный Кавказ, Дальний Восток, Северо-Восток	23	11,8	29,1	1,38	27,1	29,1	34,1	IX

Порода	Генетический тип	Группы по кислотности и щелочности	Месторождение (регион)	Число образцов	Динамическая прочность $F_d$		Коэффициент абразивности, $K_{абр}$		Объединенное значение $\rho_m$		Категория буримости по $\rho_m$
					средняя	коэффициент вариации	средний	коэффициент вариации	среднее	коэффициент вариации	
Липарит	Эффузивные	Кислые	Северо-Восток, Дальний Восток	24	11,8	21,8	1,83	14,5	35,8	24,7	IX—X
Альбитофиры	»	С повышенной щелочностью	Северный Кавказ, Рудный Алтай, Горная Шория, Саяны	21	9,9	29,6	1,36	33,3	25,3	47,0	VIII—IX

## Осадочные породы

Алевриты	Обломочные		Киргизия, Норильский район, Дальний Восток, Центральный Казахстан, Северный Кавказ, Рудный Алтай	21	13,1	26,7	0,65	51,1	15,1	51,7	VII—VIII
Сланцы глинистые и песчано-глинистые	»		Центральный Казахстан, Юго-Восточный и Центральный Донбасс, Северный Кавказ	55	18,6	34,3	0,9	37,2	15,7	41,6	VII—VIII
Песчаник слабый	»		Западный склон Урала, Центральный Казахстан, Северо-Западный Донбасс, Северный Кавказ, Днепровская впадина	31	3,1	51,6	1,59	37,7	10,9	48,7	VI—VII

Песчаник	Обломочные		Северный Кавказ, Центральный Казахстан, Юго-Восточный Донбасс, Центральный Донбасс, Норильский район, Киргизия	113	11,7	41,0	1,31	39,7	26,1	39,1	VIII—IX
Песчаники кварцевые	»		Юго-Восточный Донбасс, Центральный Казахстан, Дальний Восток, Западный Узбекистан, Урал (Волковская ГРЭ)	41	13,9	32,8	1,65	20,4	38,8	31,7	X
Конгломерат	»		Центральный Казахстан, Забайкалье, Северный Кавказ	15	8,1	22,1	1,50	32,7	22,9	34,5	VIII—IX
Известняки	Карбонатные		Восточный склон Урала, Днепровская впадина, Северо-Западный Донбасс, Юго-Восточный Донбасс, Западный Узбекистан, Центральный Казахстан, Башкирия	25	9,4	25,1	0,39	59,9	7,1	65,9	VI
Известняки окремненные	»		Северо-Западный Донбасс, Западный Узбекистан, Центральный Казахстан, Киргизия	13	8,9	36,6	1,28	30,7	21,7	38,9	VIII

## Метаморфические породы

Амфиболиты	Регионально-метаморфические		Забайкалье, Киргизия	7	26,7	22,5	0,93	29,0	39,1	39,0	X
------------	-----------------------------	--	----------------------	---	------	------	------	------	------	------	---

### § 3. ГРУППИРОВКА ГОРНЫХ ПОРОД ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ И БУРИМОСТИ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО СПОСОБОВ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ

#### 1. Группировка горных пород для вращательного бурения

Положив в основу шкалу по объединенному показателю  $\rho_m$  для V—XII категорий (см. главу II), мы составили группировку, содержащую наименование горных пород для каждой категории, характеризующуюся определенным классовым промежутком по ОСТ 41-89—74 (табл. 8).

Как видно из табл. 8, положение пород в каждой из категорий определяется значениями динамической прочности, абразивности и объединенного показателя  $\rho_m$ .

Критерием отнесения породы к той или иной категории (от V до XII) служит числовое значение  $\rho_m$ .

Последовательность характеристики пород в каждой группе подчинена генетическому признаку по схеме осадочные, магматические и метаморфические.

Приведенный в каждой категории перечень пород следует рассматривать как пример. В этом отношении практически невозможно учесть в классификации всего многообразия пород, поэтому наиболее целесообразным представляется отнесение их к той или иной категории на основе эксперимента по ОСТ 41-89—74.

**В V категорию** включены песчаники, алевролиты, известняки, выветрелые изверженные породы, сланцы кристаллические, сланцы глинистые, углисто-глинистые малой динамической прочности (2,7—8,0), малой и умеренной абразивности (0,35—1,1).

**В VI категорию** входит большое разнообразие алевролитов, песчаников, известняков, эффузивов и туфов, затронутых выветриванием, серпентинитов, сланцев кристаллических, глинистых и песчано-глинистых, гнейсов, затронутых выветриванием.

Значения динамической прочности изменяются от малой до умеренной (16,0), абразивность — от малой до выше средней (0,4—2,0). Несмотря на широкий диапазон значений указанных механических свойств для исследованных разностей пород, объединенный показатель для них близок и отвечает значению классового промежутка VI категории.

**В VII категорию** входит еще большее количество разностей осадочных, магматических и метаморфических пород.

Алевролиты частично ороговикованы и в их составе много зерен кварца, рудных минералов. Кварцосодержащий алевролит менее прочен по сравнению с другими разностями (2,15 против 9,09—13,59). Абразивность кварцосодержащего алевролита выше (1,95 против 0,6—0,75).

Песчаники очень разнообразны по составу. Преимущественно кварцевые и с прослоями конгломерата, отличаются малой динамической прочностью (1,57—2,2 против 6,45—13,33). Абразивность указанных песчаников также выше (2,35—2,45 против 0,6—1,85).

Известняки преимущественно плотные, мраморизованные, доломитизированные и скарнированные. Их динамическая прочность изменяется от малой до умеренной (3,5—11,1), абразивность в основ-

Таблица 8

## Группировка пород для вращательного колонкового бурения

Категория горных пород по буримости	Значение объединенного показателя по ОСТ 41-89-74	Наименование горных пород с характеристикой значений их механических свойств ( $F_d$ , $K_{абр}$ , $\rho_m$ )
V	4,5—6,8	<p>Песчаник с гнездами кальцита (9,9; 0,4; 5,3), аргиллит (3,08; 0,7; 5,3), алевролит кварцевослюдистый (8,70; 0,28; 4,9), алевролит ожелезненный (8,0; 0,35; 5,3), алевролит красно-бурый тонкозернистый (2,79; 0,70; 4,9), ангидрит (4,88; 0,55; 5,9), известняк слабый (5,56; 0,40; 4,9), диоритовый порфирит выветрелый (1,7; 1,13; 5,5), порфирит андезито-базальтовый, сильнохлоритизированный (5,4; 0,55; 6,2), миаскит крупнозернистый трещиноватый с гидроокислами железа (3,1; 0,8; 6,0), сланец хлорит-карбонатный (6,66; 0,4; 5,3); сланец талькохлоритовый (1,66; 1,05; 4,5), сланец серицит-хлоритовый (5,1; 0,53; 6,0), сланец глинистый (5,4; 0,55; 6,3), сланец углисто-глинистый (3,63; 0,8; 6,5), брекчия смешанного состава (4,0; 0,6; 5,4)</p>
VI	6,8—10,1	<p>Алевролит ожелезненный (9,0; 0,45; 8,2), алевролит с реликтами углстого вещества и песчаников (14,89; 0,35; 9,0), алевролит мелкозернистый с кварцевыми зернами (1,18; 2,1; 7,0), алевролит плотный (14,89; 0,38; 10,1), песчаник на глинистом цементе (1,04; 2,1; 6,9), песчаник на железистом цементе (11,57; 0,51; 10,0), конгломерат слабый (1,75; 1,4; 7,0), известняк глинистый мелкозернистый (2,3; 1,75; 9,9), известняк плотный (10,55; 0,40; 8,0), известняк скарированный (9,09; 0,41; 7,0), известняк тонкозернистый с прожилками целестина (5,03; 0,75; 8,5), известняк брекчированный, гематитизированный (5,0; 0,7; 7,5), альбитофир выветрелый (6,89; 0,70; 9,8), порфирит, затронутый выветриванием (6,06; 0,68; 9,0), порфирит с гнездами кальцита (16,66; 0,32; 8,9), серпентинит, затронутый выветриванием (2,78; 1,43; 9,9), серпентинит карбонатизированный (3,33; 1,15; 8,9), миаскит крупнозернистый (2,5; 1,4; 9,0), туф карбонатизированный (12,50; 0,38; 9,0), туф спекшийся (4,44; 1,0; 10,0), сланец глинистый (6,70; 0,53; 7,0), сланец песчано-сланцевый тонкополосчатый (6,67; 0,65; 9,0), сланец песчано-глинистый (6,06; 0,75; 10,1), гнейс мусковито-биотитовый выветрелый (1,38; 2,28;</p>

Категория горных пород по буримости	Значение объединенного показателя по ОСТ 41-89-74	Наименование горных пород с характеристикой значений их механических свойств ( $F_d$ , $K_{абр}$ , $\rho_m$ )
VII	10,1—15,2	<p>8,9), сланец кварц-хлорит-карбонатный (7,37; 0,65; 10,0), сланец кварц-хлорит-амфиболовый (1,27; 2,1; 8,0), хлорит-кварц-карбонатная порода (10,1; 0,46; 9,5)</p> <p>Алевролит частично ороговикованный (10,52; 0,75; 15,0), алевролит неравнозернистый (9,52; 0,67; 13,1), алевролит кварцсодержащий (2,15; 1,95; 11,0), алевролит плотный (13,59; 0,6; 14,2), алевролит кварц-карбонатный с рудными минералами (9,09; 0,65; 12,2), песчаник кварцевый слабый (1,57; 2,35; 10,5), песчаник на известковистом цементе (2,67; 1,85; 13,5), песчаник с прослоями конгломератов неплотный (2,2; 2,45; 13,9), песчаник мелкозернистый ожелезненный (10,52; 0,70; 14,0), песчаник тонкозернистый с прослоями алевролитов (13,33; 0,60; 14,0), песчаник разнозернистый рассланцованный (6,45; 0,88; 12,5), песчаник полимиктовый среднезернистый (7,14; 0,81; 11,6), гравеллит (4,8; 1,47; 15,0), известняк доломитизированный (5,59; 0,97; 12,0), известняк оруденелый (3,57; 1,57; 13,0), известняк мраморизованный и доломитизированный (6,79; 1,0; 13,8), известняк скарнированный (10,91; 0,71; 14,0), габбро-диорит выветрелый (7,41; 0,78; 11,5), гранодиорит выветрелый (2,36; 1,7; 12,0), гранит-порфир среднезернистый, выветрелый (4,0; 1,1; 10,2), порфир липаритовый выветрелый (3,2; 1,30; 10,1), пегматит слабый (2,17; 2,23; 13,2), значительно выветрелые лампрофиры (5,0; 1,1; 12,0) и альбитофир (7,1; 0,75; 11,0), порфирит карбонатизированный (16,67; 0,35; 10,2), диабаз с большим количеством прожилков кальцита (20,0; 0,38; 12,5), диабаз слабый с вкрапленностью пирита, участками дробленный (6,7; 1,1; 15,0), брекчия дробления гранит-порфира (6,66; 1,0; 13,7), лавобрекчия хлоритизированная и лимонитизированная (3,9; 1,15; 10,2), песчаник вулканогенный (4,25; 1,02; 10,1) туфопесчаник (8,0; 0,90; 13,8), туф кислый метаморфизованный (11,11; 0,65; 13,0), туф андезитовых порфиритов (10,52; 0,55; 11,5), туф агломератовый (8,55; 0,81; 11,5), туф миндалекаменный, карбонатизиро-</p>

Категория горных пород по буримости	Значение объединенного показателя по ОСТ 41-89-74	Наименование горных пород с характеристикой значений их механических свойств ( $F_d$ , $K_{абр}$ , $\rho_m$ )
VIII	15,2—22,8	<p>ваный (18,18; 0,33; 10,5), амфиболит среднезернистый измененный (20,6, 0,35; 12,5), сланец песчанистый, плотный (19,04; 0,95; 13,0), сланец песчано-сланцевый (6,20; 0,88; 10,1), сланец глинистый метаморфизованный (11,8; 0,55; 12,2), мрамор скарнированный (13,77; 0,55; 13,5), мрамор мелкокристаллический (5,14; 1,0; 12,2), гнейс биотит-гранатовый выветрелый (1,85; 2,10; 10,2), сланец серицит-карбонатный (6,41; 0,8; 11,0), сланец кварцево-хлоритовый (5,88; 0,85; 10,2), сланец хлорит-серицит-карбонатный (8,0; 0,90; 14,0), полевешлатово-карбонатная порода (6,89; 0,76; 12,3)</p> <p>Песчаник мелкозернистый ожелезненный (3,33; 1,78; 15,5), песчаник мелкозернистый (9,1; 1,30; 22,0), песчаник среднезернистый на известковистом цементе (6,45; 1,25; 17,5), песчаник кварцевый (4,45; 1,90; 18,2), конгломерат полуокатанных галек алевролитов и аргиллитов (11,11; 0,80; 17,0), известняк частично окремененный (11,11; 0,85; 17,2), доломит песчанистый мелкозернистый (10,1; 1,2; 22,6), брекчия сланцево-алевролитовая (10,0; 1,10; 20,0), диорит лейкократовый, затронутый выветриванием (3,17; 2,04; 16,0), диорит трещиноватый с прожилками кальцита и эпидота (10,53; 0,88; 17,0), гранит грейзенизированный (4,05; 2,26; 18,0), гранит среднезернистый, трещиноватый (3,17; 2,60; 18,0), гранодиорит-порфир (10,43; 1,08; 22,0), гранит пегматоидный (5,2; 1,96; 21,0), сиенит-диорит серицитизированный (7,14; 1,20; 17,0), сиенит-порфир (10,53; 1,20; 22,5), пегматит слабый (2,95; 2,59; 19,8), адамеллит-порфир (13,33; 0,95; 21,5), миаскит среднезернистый (3,9; 1,9; 17,0), андезит (9,52; 1,0; 18,0), дацит (10,6; 1,18; 22,6), фельзит гематитизированный (10,02; 0,92; 17,0), фельзит-порфир (14,1; 0,90; 21,0), порфир кварцевый (5,0; 1,08; 21,0), фойяит (3,55; 2,24; 17,0), базальт (8,9; 0,95; 16,0), порфирит базальтовый трещиноватый (9,1; 1,15; 19,0), порфирит андезито-базальтовый хлоритизированный (10,1; 0,88; 16,0), порфирит диабазовый (10,0; 1,05; 20,0), порфирит диоритовый (15,48; 0,72; 18,0), туф</p>

Категория горных пород по буримости	Значение объединенного показателя по ГОСТ 41-89-74	Наименование горных пород с характеристикой значений их механических свойств ( $F_d$ , $K_{абр}$ , $\rho_m$ )
		<p>андезитовых порфиритов (10,62; 0,95; 18,5), туф кислого состава карбонатизированный (11,76; 1,17; 22,2), туф кварцевых порфиров (13,33; 0,71; 17,5), туфобрекчия порфиритов (20,0; 0,58; 18,0), туфоконгломерат (9,52; 1,05; 18,5), туффит (10,97; 0,92; 18,0), туф агломератовый хлоритизированный, трещиноватый (8,1; 1,20; 18,0), сланец песчаный кремнистый (7,4; 1,30; 18,0), гранито-гнейс (4,21; 2,40; 22,0), гнейс (4,2; 1,74; 17,0), гнейс биотит-амфиболовый (2,5; 2,53; 16,0), скарн слюдисто-карбонат-пироксеновый с магнетитом (18,18; 0,50; 15,5), скарн гранат-пироксеновый мелкозернистый (11,11; 1,12; 21,0), кварцит гематитовый, слабый (5,0; 1,71; 18,0), кварцит с рудной вкрапленностью (13,33; 0,85; 19,0), роговик известково-полевошпатовый, слабый (4,65; 1,60; 17,0), мигматит мелкозернистый трещиноватый (3,86; 2,20; 19,0), мигматит (5,0; 1,96; 21,0), милонит (10,0; 1,10; 20,0), сульфидно-магнетитовая руда (10,0; 1,05; 18,0)</p>
IX	22,8—34,2	<p>Песчаник кварцитовидный (10,0; 1,50; 29,0), песчаник аркозовый на кремнистом цементе (6,66; 1,75; 23,0), аргиллит кремнистый (13,47; 1,29; 30,0), гравелит крупнообломочный (10,0; 1,80; 32,0), уртит (6,07; 2,40; 29,0), луаврит (6,1; 2,26; 26,0), пикросенит (5,4; 2,25; 24,5), горнблендит (16,67; 1,25; 32,0), габбро сосюритизированное (11,9; 1,46; 31,0), гранит очень плотный (14,28; 1,45; 34,0), гранит среднезернистый слаботрещиноватый (5,7; 1,90; 23,5), гранит гнейсовидный (5,3; 3,0; 31,0), гранит порфировидный (4,67; 2,25; 23,0), гранит трещиноватый (4,08; 2,70; 24,0), гранодиорит (4,6; 2,33; 24,0), гранодиорит лейкратовый (5,27; 2,75; 30,0), сиенит трещиноватый (7,7; 1,95; 24,0), сиенит (10,53; 1,68; 32,0), сиенито-диорит плотный (12,5; 1,17; 25,0), сиенито-диорит кварцевый (5,13; 2,14; 23,0), сиенито-диорит (10,84; 1,87; 34,0), пегматит (6,4; 2,75; 34,0), гранит-порфир (10,0; 1,55; 33,0), порфир кварцевый (10,5; 1,88; 32,0), фельзит (15,21; 1,06; 26,5), липарит хлоритизированный (10,8; 1,68; 32,0), альбитофир кварцевый (10,31; 1,85; 34,0),</p>

Категория горных пород по буримости	Значение объединенного показателя по ОСТ 41-89-74	Наименование горных пород с характеристикой значений их механических свойств ( $F_d$ , $K_{абр}$ , $\rho_m$ )
X	34,2—51,2	<p>диабаз плотный (25,0; 0,88; 32,0), базальт окварцованный (11,0; 1,4; 29,0), амфиболит окварцованный (7,55; 2,33; 32,0), амфиболит (15,38; 1,00; 25,0), серпентинит окварцованный (6,2; 1,95; 24,0), альбитит (10,3; 1,30; 24,0), гнейс биотитовый (7,5; 1,70; 25,0), гранито-гнейс (5,51; 2,37; 25,0), гнейс амфибол-диокси-довый (5,56; 2,47; 27,0), ортогнейс (6,89; 2,78; 34,0), кварцит слабо ожелезненный (6,64; 2,26; 29,0), кварцит пироксен-амфибол-магнетитовый (4,8; 2,35; 23,0), кварцит с рудной минерализацией (5,58; 2,78; 32,0), роговик слюдисто-кварцевый с рудной вкрапленностью (6,25; 2,15; 27,0), роговик кварц-полевощпатовый (12,5; 1,45; 30,0), скарн пироксен-карбонат-мусковитовый (33,3; 0,50; 24,0), скарн гранат-везувиан-пироксен-волластонитовый (9,0; 0,93; 25,9), скарн гранатовый (7,93; 1,58; 24,0), скарн гранат-эпидот-пироксеновый (11,79; 1,50; 32,0), скарн пироксен-альбитовый (16,90; 1,16; 34,0), сланец углисто-кремнистый (5,8; 2,60; 30,0), сланец магнетит-силикатный (12,0; 1,25; 25,5), мигматит мелкозернистый (6,13; 2,33; 28,0), руда колчеданная (5,27; 2,49; 26,0), руда магнетитовая (5,26; 2,05; 23,0), руда серноколчеданная (6,60; 2,05; 25,0)</p> <p>Песчаник кремнистый (14,29; 1,60; 38,0), известняк окремненный (20,0; 1,45; 45,0), габбро-диорит (12,5; 2,05; 40,0), гранит мелкозернистый (5,10; 3,25; 35,0), гранит грейзенизированный (6,20; 3,00; 35,0), гранит калишпатизированный (14,82; 2,06; 50,0), микрогранит (7,23; 2,66; 36,0), аплит (7,14; 3,10; 42,0), гранит-порфир (15,12; 1,47; 36,0), граносиенит (9,88; 2,0; 35,0), диорит кварцевый плотный (14,05; 1,90; 45,0), сиенит мелкозернистый (8,00; 2,94; 42,0), сиенит-порфир плотный (18,18; 1,45; 40,0), мончикит (15,4; 1,48; 38,0), фельзит окварцованный (13,1; 1,80; 40,0), кератофир кварцевый (16,09; 1,59; 41,0), диабаз скрытокристаллический (16,66; 1,60; 42,0), аподиабаз тонкозернистый (20,2; 1,49; 49,0), лавобрекчия фельзит-порфиров (13,82; 1,75; 36,0), туфогравелит орогови-кованный (14,29; 1,85; 45,0), кварцит желези-</p>

Категория горных пород по буримости	Значение объединенного показателя по ОСТ 41-89-74	Наименование горных пород с характеристикой значений их механических свойств ( $F_d$ , $K_{абр}$ , $\rho_m$ )
		<p>стый (8,33; 2,15; 35,0), кварцит (10,58; 2,33; 40,0), кварцит малорудный куммингтонитовый (10,53; 1,97; 36,0), кварцит магнетитовый тонкополосчатый (13,24; 1,90; 40,0), кварцит мартито-гематитовый (14,57; 2,10; 50,0), яшмо-кварцит (7,89; 2,95; 40,0), роговик амфибол-хлорит-магнетитовый (10,53; 2,25; 40,0), кварц-турмалиновая порода (22,22; 1,40; 49,0), метасоматит кварцевый (5,12; 3,20; 35,0), гнейс кварц-амфиболовый (15,58; 1,49; 38,0), мигматит (10,53; 2,05; 36,0), скарн пироксен-карбонат-эпидотовый с рудной минерализацией (22,22; 1,08; 36,0), скарн гранат-пироксеновый, окварцованный (8,94; 2,45; 38,0), скарн рудный (15,17; 1,56; 39,0)</p>
XI	51,2—76,8	<p>Песчаник мелкозернистый окремненный (18,18; 2,05; 58,0), доломит окремненный (20,0; 1,75; 55,0), карбонато-кремнистая порода с сульфидами (16,6; 2,25; 60,0), фосфато-кремнистая мелкозернистая порода (15,50; 2,17; 55,0), габбро-диабаз эпидотизированный (20,0; 1,61; 52,0), диорит кварцевый ороговикованный (16,67; 2,28; 60,0), гранит скарнированный (25,0; 1,75; 61,0), альбитофир кварцевый окварцованный (13,4; 2,23; 52,0), порфирит ороговикованный (23,96; 1,60; 60,0), порфирит альбитизированный и окварцованный (26,78; 2,00; 75,0), кварцит силикатно-магнетитовый (26,78; 1,81; 70,0), кварцит рудный (13,8; 2,63; 58,0), роговик магнетитовый (16,67; 2,68; 70,0), роговик хлорит-магнетитовый (15,38; 2,40; 60,0), роговик с вкрапленностью пирротина (10,0; 2,80; 52,0), роговик амфиболовый (25,39; 2,48; 75,0), кварц-альбитовая порода (16,70; 2,70; 70,0), карбонат-кремнистая порода с сульфидами (16,6; 2,25; 60,0), гнейс мигматизированный (19,95; 1,71; 53,0), скарн пироксеновый очень плотный (40,0; 1,08; 57,0), скарн гранатовый мелкозернистый (22,22; 1,70; 58,0), скарн пироксеновый катаклазированный (22,22; 1,78; 58,0)</p>

Категория горных пород по буримости	Значение объединенного показателя по ОСТ 41-89-74	Наименование горных пород с характеристикой значений их механических свойств ( $F_d$ , $K_{абр}$ , $\rho_m$ )
XII	Свыше 76,8	Габбро эпидотизированное и окварцованное (40,0; 2,44; 130,0), скарн кварц-гранат-пироксеновый очень плотный (33,3; 2,02; 90,0), скарн альбит-скаполит-пироксеновый очень плотный (33,3; 2,0; 90,0), роговик маритовый (25,0; 2,40; 85,0), джеспилит маритовый (23,6; 2,39; 81,0), руда мартино-кремнистая (25,0; 2,50; 85,0), эпидозит очень плотный (40,0; 2,42; 130,0)

Примечание. Цифры в скобках — значения динамической прочности ( $F_d$ ), абразивности ( $K_{абр}$ ) и объединенного показателя ( $\rho_m$ ) соответственно.

ном умеренная (0,53—1,0). Исключением является известняк оруденелый, где значение абразивности выше (1,57).

Магматические породы (габбро-диорит, гранодиорит, гранит-порфир, порфиристы, лампрофир, альбитофир, диабаз) преимущественно выветрелые и характеризуются малой динамической прочностью (2,3—7,41) и умеренной, до средней, абразивностью (0,75—1,70).

Брекчированные породы, туфопесчаники и туфы имеют малую и умеренную динамическую прочность (3,9—11,1) и умеренную абразивность (0,9—1,15). Исключением является туф миндалекаменный, карбонатизированный, где значение динамической прочности среднее (18,18), но абразивность малая (0,33). Из метаморфических пород обращает на себя внимание амфиболит с высоким значением  $F_d$  (20,6) и малым значением  $K_{абр}$  (0,35).

Сланцы, входящие в эту категорию (песчаные, песчано-глинистые, глинистые метаморфизованные), отличаются сравнительно высокой динамической прочностью (6,2—19,04) и малой абразивностью (0,55—0,95).

Мраморы имеют малую и умеренную динамическую прочность (5,14—13,77) и умеренную абразивность (0,55—1,0).

Гнейсы и кристаллические сланцы имеют малую динамическую прочность (до 8,0), умеренную до выше средней абразивность (0,76—2,1).

К VIII категории отнесены осадочные (песчаники, конгломераты, известняки, доломиты), магматические частично выветрелые (диориты, гранодиориты, граниты, сиенит-диориты, сиенит-порфиры, адамеллит-порфир, андезиты, фельзиты, порфиристы, туфы изверженных пород) и метаморфические (гранито-гнейсы, гнейсы, скарны, кварциты, роговики, мигматиты, милониты). Осадочные породы значительно изменены за счет окремнения.

Перечисленные породы характеризуются в основном малой и

умеренной динамической прочностью (2,95—14,1), умеренной до выше средней абразивностью (0,8—1,96). Исключение составляют гранит грейзенизированный, гранит среднезернистый трещиноватый, фойяит, гранито-гнейс, мигматит мелкозернистый, которые характеризуются более высокой абразивностью (2,2—2,6).

По значению динамической прочности отличаются более высокими значениями туфобрекчия порфиритов, скарн слюдисто-карбонат-пироксеновый с магнетитом ( $F_d=18,18-20,0$ ).

**В IX категорию** входят осадочные породы типа кварцитовидных песчаников, окремненных аргиллитов; интрузивные породы ультраосновной, основной, кислой и щелочной магм, а также излившиеся аналоги этих пород.

Метаморфические породы типа амфиболитов, серпентинитов, как правило, окварцованы и окремнены. Гнейсы, скарны, роговики и кварциты весьма разнообразны по составу.

В соответствии с составом и структурой пород значения динамической прочности и абразивности достаточно высоки.

Значение  $F_d$  изменяется от 7—10 до 16—33. Меньшие значения (4—7) относятся к кварцсодержащим породам типа диорита, гранодиорита, гранита, пегматита, кварцита, а также к породам типа гнейсов и углисто-кремнистых сланцев.

Абразивность указанных пород изменяется в основном в обратной зависимости. Наибольшие значения  $K_{абр}$  (1,90—2,78) относятся к гранитоидам, кварцитам, роговикам и рудам колчеданного и другого типов. Абразивность гнейсов и гранито-гнейсов также высока. Для других разновидностей пород — осадочные, интрузивные и эффузивные породы основной магмы, скарны значения абразивности изменяются в пределах 1,0—1,95.

**В X категорию** входят осадочные породы типа кремнистых песчаников и окремненных известняков средней динамической прочности ( $F_d=14,0-20,0$ ), средней и выше средней абразивности (1,45—1,60). Магматические породы представлены интрузивными (габбро-диориты, гранит, граносиенит, сиенит); жильными (микрогранит, аплит, гранит-порфир, сиенит-порфир) и эффузивными породами основной и кислой магм.

Динамическая прочность и абразивность магматических пород характеризуются следующими данными:

для интрузивных пород  $F_d=6,20-14,82$ ,  $K_{абр}=2,05-3,0$ ;

для жильных  $F_d=7,23-18,18$ ,  $K_{абр}=1,45-3,10$ ;

для эффузивных  $F_d=13,1-20,2$ ,  $K_{абр}=1,49-1,75$ .

Метаморфические породы характеризуются значениями  $F_d$  в пределах 10,0—22,2;  $K_{абр}$  в пределах 1,08—3,2.

**В XI категорию** входят окремненные песчаники, доломиты, карбонат-кремнистые и фосфат-кремнистые породы; интрузивные роговикованные породы (диориты, граниты); эффузивы преимущественно окварцованные. Метаморфические породы представлены большим разнообразием кварцитов, роговиков, гнейсов и окварцованных скарнов.

Окремненные разновидности осадочных пород характеризуются средней и выше средней динамической прочностью ( $F_d=15,5-20,0$ ), средней до сильной абразивностью (1,75—2,17).

Интрузивные породы имеют умеренную до выше средней динамическую прочность ( $F_d=16,6-25,0$ ) и абразивность от выше средней до сильной (1,61—2,28).

Эффузивы характеризуются умеренной до выше средней динамической прочностью (13,4—26,7) и абразивностью от средней до выше средней (1,6—2,23).

Метаморфические породы отличаются высокими значениями динамической прочности ( $F_d=15,3-40,0$ ) и абразивности ( $K_{абр}=1,81-2,70$ ).

В XII категорию входят преимущественно метаморфические породы типа джесплитов, роговиков и скарнов высокой динамической прочности ( $F_d=23,6-40,0$ ) и абразивности ( $K_{абр}=2,0-2,50$ ).

## 2. Группировка горных пород для ударно-вращательного бурения

Группировка составлена для шкалы по значению  $\rho_{M1}$ , состоящей из семи групп (категорий). При разработке шкалы применен геометрический принцип изменения  $\rho_{M1}$  со знаменателем прогрессии  $q=1,5$ .

Исходя из имеющихся данных по буримости гидроударными машинами и пневмударниками, для I группы принято значение  $\rho_{M1}$ , равное 5,0—7,5, а нижний предел соответствует значениям  $\rho_{M1}$  для самых прочных и абразивных пород 56,9—85,4 (табл. 9).

Таблица 9

Шкала группировки пород по механическим свойствам для ударно-вращательного бурения

Категории	Значение $\rho_{M1}$	Категории	Значение $\rho_{M1}$
	от — до среднее		от — до среднее
I	$\frac{5,0-7,5}{6,2}$	V	$\frac{25,3-37,9}{31,6}$
II	$\frac{7,5-11,2}{9,4}$	VI	$\frac{37,9-56,9}{47,4}$
III	$\frac{11,2-16,9}{14,0}$	VII	$\frac{56,9-85,4}{71,2}$
IV	$\frac{16,9-25,3}{21,1}$		

На основе указанной шкалы нами составлена группировка горных пород для ударно-вращательного бурения, которая в дальнейшем может быть использована как основа для разработки классификации (табл. 10).

Породы, входящие в ту или иную категорию, отличаются по составу, структуре, степени изменения и механическим свойствам.

I категория включает известняки углистые, кристаллические и песчано-глинистые сланцы, пегматиты каолинизированные.

Группировка горных пород по механическим свойствам и буримости для ударно-вращательного бурения гидроударниками и пневмоударниками

Категория	Шкала по значению $\rho_{M1}$ от — до среднее	Буримость, в, м/ч; Z, м				Порода
		гидроударником		пневмоударником		
		v	Z	v	Z	
I	$\frac{5,00-7,50}{6,2}$	1,7—2,0	2,38—3,10	3,2—3,6	2,30—2,76	Известняк углистый, сланец кварцево-хлоритовый, пегматит каолинизированный, сланец песчано-глинистый с сульфидами
II	$\frac{7,50-11,25}{9,4}$	1,4—1,7	1,83—2,38	2,7—3,2	2,30—2,76	Сланец серицито-карбонатный, известняк тонкозернистый, фельзит окварцованный, туф липарито-дацит окварцованный и карбонатизированный, сланец песчано-глинистый, липарито-дацит с крупнокристаллическими вкраплениями (до 60%)
III	$\frac{11,25-16,87}{14,0}$	1,2—1,4	1,41—1,83	2,4—2,7	1,92—2,30	Алевролит, сланец аргиллитовый, аргиллит алевролитовый, песчаник полимиктовый неравномернозернистый, алевролитовый, гранит слабо катаклазированный, кварцевый альбитофир, порфирит гидротермально-измененный, туф диабазового порфира скарнированный, туф липарито-
IV	$\frac{16,87-25,30}{21,1}$	1,0—1,2	1,0—1,41	2,1—2,4	1,60—1,92	вый, песчаник полевошпатово-кварцевый, филлит, дацит карбонатизированный, гранодиорит крупнокристаллический биотито-роговообманковый, кварцевый порфир с крупными вкраплениями полевых шпатов, фельзит, магнетитовая руда, туф кислого состава, хлоритизированный, доломит, пегматит Алевролит, туф диабазового порфира, гнейс кварцево-полевошпатовый, скарн магнетит-актинолит-карбонат-хлорит-эпидотовый, скарн магнетит-эпидот-пироксен-полевошпатовый, туф андезитового порфира, хлоритизированный, порфирит слабо скарнированный, фельзито-липарит лимонитизированный, кварцевый альбитофир, туф кварцевого альбитофира, граносенит-порфир, гранит катаклазированный, песчаник кварцевый мелкозернистый, песчаник мелкозернистый, доломит окремненный, туф кислого эффузива, карбонатизированный и эпидотизированный, порфирит диабазовый, порфир роговообманковый, песчаник тонкозернистый, слаботрешиноватый, песчаник полевошпатовый мелкозернистый, гранит лимонитизированный, дацит, песчаник среднезернистый полимиктовый, гранит-порфир, кварцевый порфир, липарито-

Категория	Шкала по значению $\rho_{M1}$  от — до среднее	Буримость, м/ч				Порода
		гидроударником		пнеумоударником		
V	$\frac{25,30-37,95}{31,6}$	0,8—1,0	0,84—1,41	1,8—2,1	1,36—1,63	Липарито-дацит, скарн рудный, пироксено-полевошпатовый, песчаник среднезернистый, кварцитовидный, липарит олигофиновый, песчаник кварцево-карбонатный, фельзит плотный, гранито-гнейс, гнейс биотит-кварц-плаггиоклазовый плотный, порфирит андезитовый, эпидотизированный, фельзит полевошпатовый, порфирит диабазовый плотный, гранит-порфир, гранит сильно катаклазированный и милонитизированный, песчаник мелкозернистый с гематитовым цементом, альбит карбонатизированный и хлоритизированный, сиенит измененный, туф кислого эффузива карбонатизированный и эпидотизированный, порфирит диоритовый, песчаник кварцитовидный, руда сульфидно-магнетитовая плотная, туфобрекчия основного состава, доломит кремнистый, песчаник плотный сильно окварцованный, амфиболит
VI	$\frac{37,95-56,92}{47,4}$	0,6—0,8	0,65—0,84	1,6—1,8	1,12—1,34	Скарн пироксен-гранатовый, скарн карбонат-волластонит-гранатовый со сфеном, скарн гранатовый, скарн пироксено-полевошпатовый, скарн волластонит-пироксен-гранатовый, габбро-диабаз, диабаз с пиритом, фельзит полевошпатовый ороговикованный, габбро-диабаз массивный скарнированный, сланцы углеродисто-кремнистые
VII	$\frac{56,92-85,38}{71,2}$	0,6	0,65	1,6	1,12	Порфирит скарнированный, скарн пироксен-полевошпатовый с тремоли-том, скарн гранат-полевошпатовый, габбро-диабаз ороговикованный, порфирит диабазовый ороговикованный, сиенит кварцевый лейкократовый мелкокристаллический

Примечание. Проходка за рейс (Z) соответствует фактическим данным и может быть увеличена, особенно для пнеумоударного бурения. Буримость гидроударниками имеет относительное значение и может быть увеличена за счет применения более совершенных машин (Г-7, Г-9).

Динамическая прочность пород изменяется в пределах 2,17—4,54, а абразивность — в пределах 0,85—2,23.

II категория включает более плотные разности известняков ( $F_d$  до 15,0) малой абразивности ( $K_{абр}$  около 0,2), измененные (окварцованные) фельзиты и дациты средней абразивности ( $K_{абр}$  до 1,15) и малой динамической прочности ( $F_d$  около 5,0), липарито-дациты с крупнокристаллическими вкрапленниками полевых шпатов, сланцы серицито-карбонатного и песчано-глинистого состава с более высокой динамической прочностью ( $F_d$  до 10).

III категория включает алевролиты, аргиллиты, песчаники полевошпатовые неравномернозернистые, граниты слабокатаклазироваанные, гранодиориты крупнокристаллические, излившиеся аналоги кислых и основных изверженных пород и их туфов невысокой динамической прочности ( $F_d=6,89-10,52$ ), песчаники полимиктового состава.

IV категория включает более прочные разности алевролитов ( $F_d=11,76$ ), туфов диабазового порфирита ( $F_d=13,3$ ), гранитов ( $F_d=8,3$ ), скарны преимущественно хлорит-пироксен-эпидот-карбонатного состава и др.

V категория включает более прочные разности излившихся аналогов кислых и основных пород ( $F_d$  около 15), песчаники с более прочным (гематитовым) цементом ( $F_d=15,4$ ), сиениты измененные, доломиты окремненные, амфиболиты.

VI категория включает скарны, преимущественно пироксен-гранат-полевошпатового состава, габбро-диабазы, сланцы углисто-кремнистые и др., отличающиеся высокой динамической прочностью (около 20).

VII категория включает ороговикованные разности излившихся аналогов основных пород, скарны преимущественно гранат-полевошпатового состава с тремолитом и др., характеризующиеся очень высокой динамической прочностью ( $F_d=22-40$ ).

Приведенная группировка имеет условное значение, главным образом для сопоставления с существующей классификацией пород для вращательного бурения по ЕНВ 1963 г. и с группировкой, приведенной в табл. 8.

Прежде всего разработанная шкала горных пород для ударно-вращательного бурения отличается от шкалы для вращательного бурения меньшим числом категорий (7 против 12) и различным положением типичных разностей твердых горных пород по категориям. Например, породы типа гранита в классификации для вращательного бурения находятся в VIII—IX категориях, а в приведенной выше группировке пород для ударно-вращательного бурения — в III—IV категориях. Не менее показательно положение пород типа диабазы и порфирита. В классификации для вращательного бурения они отнесены к VIII категории, а в группировке пород для ударно-вращательного бурения — к последним двум категориям VI—VII. Это легко объяснить составом и механическими свойствами этих пород.

Граниты как кварцсодержащие породы имеют высокую твердость и абразивность и сравнительно низкую механическую прочность, в связи с чем они более эффективно разрушаются ударно-вращательным способом. В противоположность граниту, диабазы и порфириты практически бескварцевые относятся к породам средней твердости и абразивности, но обладают высокой механической прочностью. По этой причине они труднее разрушаются при ударно-вращательном бурении и относятся к самым высоким категориям.

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ТИПОВ ГОРНЫХ ПОРОД РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

---

### **§ 1. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ГОРНЫХ ПОРОД И ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

В работе [36] указано, что имеется возможность выделения горно-промышленных районов, характеризующихся определенными генетическими комплексами горных пород и геологическими условиями их залегания, например Кривой Рог и КМА, зеленокаменная полоса Урала, Горная Шория, Донбасс и др.

Породы, характерные для перечисленных горно-промышленных районов, встречаются и в других местах СССР. Так, железистые кварциты, примечательные для Кривого Рога и КМА, широко развиты в Центральном Казахстане. Зеленокаменные породы, характерные для Восточного склона Урала, являются рудовмещающими породами на Кольском полуострове, в Норильске, на Русской платформе; геологический разрез, типичный для Донбасса, в менее сложном виде встречается в Карагандинском бассейне и Кузбассе.

Такой подход к разделению регионов нашел широкое развитие в нефтедобывающей промышленности. Например, по близости геолого-технических условий проводки нефтяных скважин оказалось возможным сгруппировать наиболее значительные в настоящее время нефтяные и газовые районы СССР по следующим восьми основным регионам: Волго-Уральскому, Кавказскому, Средне-Азиатскому, Нижне-Волжскому, Днепровско-Донецкому, Западно-Украинскому (Прикарпатскому), Западно-Сибирскому, Сахалинскому.

Задача выделения горнорудных регионов и месторождений и их типизация несравненно более сложна, чем выделение и типизация нефтеносных площадей. Однако такие регионы известны и служат местом концентрации геологоразведочных и горнодобычных работ. Тем не менее для рассмотрения физико-механических свойств горных пород необходимо иметь представление о рудных полях и месторождениях, объединяемых близостью геологических условий их образования и близкими к рудовмещающим породам по составу и физико-механическим свойствам. С этой целью нами учтено 173 известных рудных месторождения, относящиеся к 50 геологическим регионам и наиболее известным месторождениям железа, марганца, хромита, титана, ванадия, алюминия, никеля, кобальта, меди, свинца и цинка, висмута, сурьмы, ртути, золота, серебра, месторождения

Таблица 11

Генетические комплексы горных пород рудных полей и продуктивных полезных ископаемых

Генетические комплексы пород	Породы	Механические свойства	
		Динамическая прочность $F_d$	Абразивность $K_{абр}$
Осадочные породы	Алевролиты, аргиллиты, песчано-глинистые сланцы, песчаные сланцы, песчаники слабые, песчаники, конгломераты, мергели, известняки, доломиты, бокситы, бурые угли, каолиновые породы, слабые железные руды, бобово-конгломератовые породы, содержащие никель, марганцевые руды, поваренная и калийная соли, мел, сидерит-глинистые породы	4,8 (1,1—9,0)	0,8 (0,2—1,5)
Осадочные породы метаморфизованные	Метаморфизованные аргиллиты и алевролиты, сланцы песчано-глинистые, сланцы алевролитовые, филлитовые сланцы, песчаники, песчаники кварцевые, содержащие киноварь, медь, гравелиты, конгломерато-брекчии, известняки мраморизованные, окремненные, джасперонды, рудоносные брекчии, руды бурожелезняковые, каменные угли, массивные сурьмяные руды, бокситы, кварцевые жилы	8,4 (4,6—12,7)	1,1 (0,4—1,7)

толщ, вмещающие месторождения твердых

(средние значения)		Категория по $\rho_M$	Полезные ископаемые	Месторождение ГРЭ и ГРП
Объединенные показатели				
$\rho_M$	$\rho_{M_1}$			
8,4 (2,2—17,5)	9,2	VI (III—VIII)	Железо, бокситы Бокситы » » » Калийные соли Угли » Марганец »	Алапаевское, Северо-Уральские бокситовые рудники (СУБР) Батьевское Нижне-Тиманский район Татарская группа Ангарское Верхнекамское Красноармейская ГРЭ Новомосковская ГРЭ Никопольское Чиатурское
18,1 (7,5—28,0)	18,0	VIII (VI—IX)	Железо » Медь Свинец, цинк Ртуть Уголь » » »	Нижне-Ангарское Аккермановское Джезказганское Ачисайское Никитовское Горловская ГРЭ Щегловская ГРЭ Шахтинская ГРЭ Киселевская ГРП

Генетические комплексы пород	Породы	Механические свойства	
		Динамическая прочность $F_d$	Абразивность $K_{абр}$
Метаморфический комплекс горных пород	Аргиллиты и алевролиты кремнистые, песчаники кварцитовидные, углисто-глинистые сланцы кремненные, бокситы каменные, филлиты, доломитизированные известняки, доломиты, мраморы, скарны, известняки кремненные, фосфориты кремненные, кремнисто-глинистые сланцы, роговики, кварциты, гнейсы, мигматиты, парагнейсы, сланцы кристаллические, амфиболиты, кварциты железистые, джеспилиты, роговиково-джаспероидные брекчии с оруденением, железные руды	15,4 (7,0—40,0)	2,1 (0,9—2,7)
Преимущественно основные и ультраосновные интрузивные породы	Перидотиты, пироксениты, дуниты, аподуниты, оливиниты, габбро, габбро-норит, габбро-амфиболит, горблендит, габбро-диорит, диорит, нефелиновые сланцы, ийолит-мельтейгиты, габбро-диабазы, мончикиты, лувяриты, уртиты, фойяиты, альбититы, измененные пегматиты, базальты и диабазы, порфириты, кварцевые порфиры, туфы и туффиты, серпентиниты, талько-карбонатные породы, мигматиты, сульфидные руды	14,2 (4,0—28,0)	1,35 (0,6—2,6)

(средние значения)		Категория по $\rho_{M_1}$	Полезные ископаемые	Месторождение, ГРЭ и ГРП
Объединенные показатели				
$\rho_M$	$\rho_{M_1}$			
56,1 (10,5—90,0)	41	X—XI (VII—XII)	Железо » » » Марганец Бокситы » » Сурьма Золото Фосфориты	Яковлевское Михайловское Криворожское Оленегорское Малохинганское  Новопрестанское Обуховское Баксонское Кадамжайское Мурунтау Джанатасское
33,8 (10,5—52,0)	31	IX (VII—XI)	Железо » Хром » » » Титан Ванадий » Бокситы Никель »	Качканарское Ковдорское XX лет Казахстана Шарошинское Ревдинское Сарановское Кусинское Гусевское Первоуральское Кня-Шалтырское Печенегское Нижне-Мамоновское

Генетические комплексы пород	Породы	Механические свойства	
		Динамическая прочность $R_d$	Абразивность $K_{абр}$
Преимущественно гранитоиды	Диориты, кварцевые диориты, адамеллиты, гранодиориты, граниты, граносениты, апограниты турмалиновые, диоритовые порфириды, лампрофиры, спессартиты, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры, сиенит-порфиры, аплиты, кварцевые порфиры, кварц-полевошпатовые породы с шеелитом, туффиты, роговики, эруптивная и тектоническая брекчия	12,3 (6,4—23,0)	1,70 (0,8—2,7)
Вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплексы пород	Габбро-долериты, габбро-диабазы, диабазы, долериты, базальты, спилиты, андезиты, порфириды, дациты, липарито-дациты, фельзиты, фельзитовые порфиры, липариты, липаритовые порфиры, кварцевые порфиры, кварцевые альбито-фиры, туффиты, туфы и лавы андезитов, туфы оруденелые, туфы кварцевых порфиров, туфолава липаритовых порфиров, туфы агломеративные, туфогравелиты, туфопесчаники, лавобрекчи, нерасчлененные эффузивы, эруптивная автомагматическая и тектоническая брекчия, алевролиты, глинистые сланцы, песчаники, конгломераты, мергели, карбонатомергелистые породы, известняки метаморфизованные, доломитизиро-	11,2 (3,8—17,5)	1,30 (0,4—2,5)

(средние значения)		Категория по $\rho_M$	Полезные ископаемые	Месторождение, ГРЭ и ГРП
$\rho_M$	$\rho_{M_1}$			
37,9 (15,5—80,0)	30,0	X (VIII—XII)	Полиметаллы Золото » Молибден » Вольфрам » » Олово	Садонское Балейское Ключевское Шахтаминское Кадамжайское Харанарское Холтосонское Букуинское Кестерское
27,0 (6,5—46,0)	25,0	IX (V—X)	Железо » Марганец Бокситы Никель Медь » Свинец — цинк Висмут Ртуть Олово »	Коршуновское Тагарское Кусинское Надразумское Норильск I Коунрадское Гайское Верхнее Адарасманское Чаганузунское Солнечное Хинганское

Генетические комплексы пород	Породы	Механические свойства	
		Динамическая прочность $F_{\Delta}$	Абразивность $K_{абр}$
Сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород	ванные, окварцованные доломиты, кремнистые сланцы, роговики, колчеданные руды, кварц-карбонатные породы с сульфидами и касситеритом  Пироксениты, габбродиориты, кварцевые диориты, гранодиориты, граниты, диорит-сиениты, монзониты, сиениты, гранодиорит-порфиры, порфириды, диабазы, кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, альбитофиры, кварцевые альбитофиры, кератофиры, туфы и лавы кислого состава, тектонические брекчии, алевролиты, алевролиты кремнистые, глинистые сланцы, песчаники, песчаники кварцитовидные, конгломераты, известняки — доломиты, известняки кремнистые, туффиты, туфоалевролиты, туфопесчаники, туфоконгломераты, филлиты, роговики биотитовые, скарны гранатовые и пироксен-гранатовые, скаполитовые, рудные, кварциты, вторичные кварциты, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кремни, висмут, висмутовые и железные руды, кварцевые золотоносные жилы, кварц-шешелитовые жилы, известково-сланцевые породы с оловянным оруденением	15,0 (4,2—30,0)	1,6 (0,8—2,3)

(средние значения)		Категория по $\rho_m$	Полезные ископаемые	Месторождение, ГРЭ и ГРП
Объединенные показатели				
$\rho_m$	$\rho_{m1}$			
42,0 (8,2—85,7)	38,0	X (VI—XII)	Железо » » » » Медь » Свинец — цинк Золото Молибден Вольфрам » Олово »	Гороблагодатское Таштагольское Шерегешское Соколовское Бакальское Саянское Кальмакырское Орловское Березовское Тырнаузское Чорух-Дайронское Восток 2 Сарыбулакское Благодатненское

серебряно-золотой формации, месторождения платины, молибдена, вольфрама, олова, тантал-ниобия и др.

Изучение и анализ различных материалов показали, что регионы и горно-промышленные районы не могут быть использованы для типизации месторождений на основе рассмотрения только физико-механических свойств горных пород, слагающих месторождения и рудные поля.

Дело в том что почти в каждом из регионов встречаются месторождения, различные по генезису и геологическим условиям залегания. Рудовмещающие породы также многообразны по генетической принадлежности. Исключением могут служить отдельные промышленные районы типа Кривого Рога, КМА и отчасти регионы типа Кольского полуострова, Восточного склона Урала и др.

В этой связи возникла необходимость анализа и систематизации месторождений по принадлежности их к генетическим типам и комплексам рудовмещающих пород. Это позволило установить генетические комплексы горных пород, в которых залегают главнейшие месторождения полезных ископаемых. К примеру, многие месторождения железа, марганца, хрома, титана, ванадия, никеля, платины и др., залегают в ультраосновных и основных горных породах.

Значительная часть месторождений золота, олова, меди, полиметаллов и др. залегают в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах. Рудовмещающими породами многих месторождений молибдена, вольфрама, олова являются гранитоиды. Такие месторождения, как железистые кварциты Кривого Рога и КМА, бокситы, фосфориты и др., залегают в метаморфическом комплексе пород. Вмещающими породами поваренной и калийной солей, торфа, углей, некоторых месторождений марганца, никеля являются осадочные неметаморфизованные породы. Большая часть месторождений каменных углей, медистых песчаников, сурьмы, ртути залегают в осадочных метаморфизованных породах.

Встречается также сложный комплекс изверженных, осадочных и метаморфических пород, в которых залегают многие месторождения железа, свинца и цинка, висмута, сурьмы, вольфрама, олова и др.

В итоге наметилось семь комплексов горных пород, в которых залегают большинство известных месторождений полезных ископаемых: осадочные неметаморфизованные породы; осадочные породы метаморфизованные; метаморфический комплекс пород; преимущественно основные и ультраосновные интрузивные породы; преимущественно гранитоиды; вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы; сложный комплекс изверженных, метаморфических и осадочных пород (табл. 11).

Обращено внимание и на параметры механических свойств пород каждого из комплексов, выраженных динамической прочностью ( $F_d$ ), абразивностью ( $K_{абр}$ ), объединенным показателем  $\rho_m$  и  $\rho_{m_1}$  и категориями буримости по значению  $\rho_m$ .

Комплекс осадочных пород характеризуется невысокими значениями механических свойств ( $F_d=4,8$ ;  $K_{абр}=0,8$ ;  $\rho_m=8,0$ ; категория VI), что соответствует разностям пород и полезных ископаемых. Числовые значения основываются на определениях указанных свойств пород Верхнекамского месторождения калийных солей и углей из объектов разведки Красноармейской и Новомосковской ГРЭ.

Комплекс осадочных пород метаморфизованных характеризуется более высокими механическими свойствами ( $F_d = 8,4$ ,  $K_{абр} = 1,1$ ,  $\rho_m = 18,0$ , категория VIII), что вполне отвечает генетическим разностям пород и степени их изменения.

Механические свойства установлены по результатам исследований пород Джезказганского месторождения медистых песчаников, Никитовского месторождения ртуты и каменных углей, разведующихся Горловской и Щегровской ГРЭ (Центральный Донбасс), Шахтинской, Каменской и Зверевской ГРП (Юго-Восточный Донбасс), Киселевской, Урупской ГРП (Кузбасс).

Метаморфический комплекс отличается высокими механическими свойствами ( $F_d = 15,4$ ,  $K_{абр} = 2,1$ ,  $\rho_m = 55,0$ , категория X—XI). Это объясняется тем, что в состав данного комплекса входят окремненные разности осадочных пород и метаморфические породы типа роговиков, кварцитов и джеспилитов из железнорудных месторождений Кривого Рога и КМА.

Данные по динамической прочности и абразивности пород получены нами при изучении железистых кварцитов и рудовмещающих пород Яковлевского и Криворожского месторождений железа, Джанатасского месторождения фосфоритов и месторождения золота Мурунтау.

Комплекс основных, ультраосновных интрузивных и эффузивных и других пород характеризуется в среднем умеренной динамической прочностью ( $F_d = 14,2$ ), средней абразивностью ( $K_{абр} = 1,35$ ) и  $\rho_m = 33$ , что соответствует IX категории.

Указанные данные получены при определении механических свойств пород Качканарского месторождения железа, рудовмещающих пород месторождения хрома (XX лет Казахстана), Нижне-Мамоновского месторождения никеля и др.

Комплекс пород преимущественного развития гранитоидов отличается повышенной абразивностью ( $K_{абр} = 1,7$ ), малой до умеренной динамической прочностью ( $F_d = 12,3$ ); категория пород по значению  $\rho_m$  — X.

Представления о числовых значениях указанных механических свойств получены при определении их на примере Садонского и Буронского месторождений полиметаллов и месторождений молибдена Забайкалья.

Комплекс вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород характеризуется по результатам определения механических свойств на месторождениях железа (Тагарское), никеля (Норильское), меди (Гайское), свинца и цинка (Алтын-Топканское), некоторых месторождений золота и олова.

Средние значения механических свойств сравнительно невысоки и определяются средней динамической прочностью ( $F_d = 11,2$ ), умеренной до средней абразивностью ( $K_{абр} = 1,3$ ), значениями  $\rho_m = 27,0$ , что соответствует IX категории.

Сложный комплекс изверженных метаморфических и осадочных пород характеризуется на примере исследования рудовмещающих пород месторождений железа (Гороблагодатское, Таштагольское, Шерегешское, Соколовское), свинца и цинка (Хандизинское), молибдена (Тырнаузское), меди (Алмалыкское).

Породы имеют умеренную динамическую прочность ( $F_d = 15,0$ ), выше средней абразивность ( $K_{абр} = 1,6$ ) и X категорию по значению  $\rho_m = 50$ .

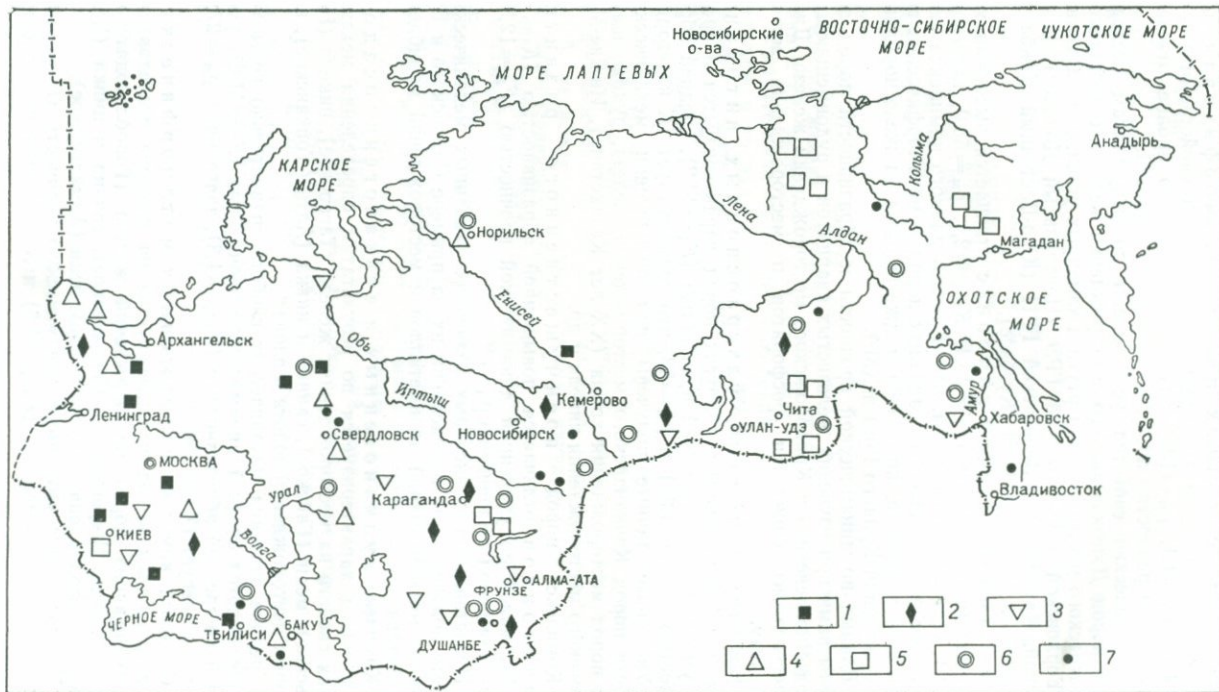


Рис. 2. Схема размещения генетических комплексов горных пород рудных полей и продуктивных толщ (составлена на основе карты полезных ископаемых мира, ВСЕГЕИ, 1972)

1 — осадочные породы, вмещающие месторождения углей, солей, Al, Fe, Mn и др.; 2 — осадочные метаморфизованные породы, вмещающие месторождения Fe, Cu, Pb, Zn, V, Hg и др.; 3 — метаморфические породы, вмещающие месторождения Fe, Mn, Al и др.; 4 — преимущественно основные и ультраосновные интрузивные породы, вмещающие месторождения Fe, Ni, Cu, Co, Ti, Cr и др.; 5 — преимущественно гранитонды, вмещающие месторождения W, Mo, Sn и др.; 6 — вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплексы пород, вмещающие месторождения Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Fe, Hg, Ti и др.; 7 — сложный комплекс изверженных, осадочных и метаморфических пород, вмещающий месторождения W, Mo, Cu, As, Ti, Mn, Pb, Zn, Fe и др.

Таким образом, приведенные комплексы горных пород, отличаются по генетической принадлежности, так и по различию значений механических свойств.

Необходимо отметить, что комплексы пород, вмещающие месторождения полезных ископаемых, отмечаются в различных регионах СССР, что в свою очередь позволяет проанализировать их приблизительно типизацию.

Например, комплекс осадочных неметаморфизованных пород, вмещающих месторождения железа, бокситов, никеля, марганца, калийных солей, углей и др., развит на Урале, Восточной Сибири, в Московской синеклизе, на Тимане, Западном склоне Урала, в Северо-Западном Донбассе, Приднепровье и др.

Комплексы осадочных метаморфизованных пород, вмещающих месторождения железа, меди, свинца и цинка, висмута, сурьмы, ртути, каменных углей и др., развит в Восточной Сибири, в Центральном Казахстане, Каратау, Таджикистане, Якутии, Центральном и Юго-Восточном Донбассе, Кузбассе и др.

Комплексы метаморфических пород, вмещающих месторождения железа, бокситов, фосфоритов, марганца, сурьмы, золота, развит в КМА, Кривом Роге, на Кольском полуострове, Дальнем Востоке, Северном и Южном Урале, в Южном Казахстане, Восточном Саяне, Киргизии, Енисейском рудном районе, Узбекистане.

Комплексы основных и ультраосновных интрузивных пород, вмещающих месторождения железа, хрома, титана, ванадия, никеля, платины, развит на Восточном склоне Урала, Кольском полуострове, в Северо-Западном Казахстане, Армении, на Южном Урале, в Кузнецком Казахстане, Воронежском кристаллическом массиве, Норильском рудном районе, Алданском щите и др.

Комплексы преимущественного развития гранитондов, вмещающих месторождения полиметаллов, золота, молибдена, вольфрама, олова, развит на Северном Кавказе, в Забайкалье, Центральном Казахстане, Бурятии, Якутии, на Колыме и др.

Вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплексы пород, вмещающие месторождения железа, марганца, бокситов, никеля, кобальта, меди, свинца и цинка, висмута, ртути, золота, олова развиты в Восточной Сибири, Тургайском рудном районе, Туве, Норильском рудном районе, Прибалхашье, на Северном Кавказе, Южном Урале, Дальнем Востоке, в Таджикистане, Центральном Казахстане, Бурятии, Восточном Узбекистане, Горном Алтае, на Северо-Востоке, в Якутии.

Сложный комплекс изверженных метаморфических пород, вмещающий месторождения железа, меди, свинца и цинка, висмута, сурьмы, золота, молибдена, вольфрама, олова, развит на Восточном склоне Урала, в Горной Шории, Тургайском рудном районе, на Южном Урале, в Прибалхашье, Рудном Алтае, Узбекистане, Таджикистане, Восточной Сибири, Центральном Казахстане, на Чукотке, в Киргизии, Приморье и др.

Изложенный принцип типизации указанных генетических комплексов пород и месторождений в них залегающих отражен на рис. 2.

## **§ 2. ОСАДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

### **Запорожье**

#### *Южно-Белозерское месторождение железа*

Осадочный чехол месторождения развит до глубины свыше 200 м. Породы представлены песками, глинами и мергелями. Результаты определения физико-механических свойств указанных пород приведены в табл. 12 [20].

### **Татария (юго-восточная часть)**

Осадочные породы Юго-Восточной Татарии представлены глинами, алевролитами, аргиллитами, ангидритами, гипсами, известняками, доломитами и песчаниками (табл. 13).

Физико-механические свойства перечисленных пород, приведенные в табл. 13, могут служить некоторым эталоном для сопоставления с подобными породами, измененными метаморфизмом. Особенно показательны данные по твердости и пластичности, установленные по методу штампа.

### **Таджикистан (Южно-Таджикская ГРЭ)**

В табл. 14 приведены физико-механические свойства глин, аргиллитов, известняков, песчаников, алевролитов и гипсов месторождений Чалташ и др., установленные опытно-методической партией Таджикского геологического управления. Как видно из табл. 14, породы характеризуются малой динамической прочностью (1,36—6,06); абразивность пород изменяется в широких пределах (от 0,15 до 2,45); категории буримости по  $\rho_m$ —II—VII.

Повышенные значения указанных свойств относятся к известнякам, песчаникам и алевролитам.

### **Урал**

#### *Верхнекамское месторождение калийных солей*

Механические свойства горных пород, вмещающих калийные и поваренные соли данного месторождения, установлены при определении их категорий буримости по ОСТ 41-89—74 (табл. 15).

Таблица 12

**Физико-механические свойства горных пород  
Южно-Белозерского железорудного месторождения (Запорожье)**

Порода	Глубина отбора проб, м	$\gamma \cdot 10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>	$w$ , %	Число образцов	$\sigma_{с.ж} \cdot 10^{-3}$ Па
Глина темно-серая (северный ствол) . . . . .	80,2	1,60	62,1	12	15,0
Мергель слабо алевритово-глинистый (северный ствол) . . . . .	85,5	1,53	39,5	11	8,0
Мергель слабо глинистый (северный ствол) . . . . .	90,6	1,82	36,3	12	6,0
Глина темно-серая с темными пропластками, богатыми алевритом и слюдой (южный ствол) . . . . .	90,7	1,62	52,3	10	16,0
Глина серая (северный ствол) . . . . .	91,75	1,62	58,0	14	2,0
Мергель слабо глинистый (северный ствол) . . . . .	92,10	1,65	32,6	11	3,0
Песок крупный кварцево-полевошпатовый, хлоритовый (северный ствол) . . . . .	94,95	1,82	24,0	13	6,0
Глина слабо алевритовая (южный ствол) . . . . .	153,5	1,92	29,3	10	13,0
Глина алевритовая (южный ствол) . . . . .	175,0	2,00	25,6	12	13,0
То же . . . . .	182,0	1,82	27,0	14	14,0
» » . . . . .	190,0	1,91	26,4	13	15,0
Глина алевритовая (вспомогательный ствол) . . . . .	192,4	2,01	29,3	12	25,4
То же . . . . .	192,4	1,92	26,5	12	22
Глина алевритовая с глауконитом (северный ствол) . . . . .	197,0	1,97	24,2	10	9,0
Мергель алевритовый (вспомогательный ствол) . . . . .	202,0	1,77	30,0	12	32,0
То же . . . . .	202,0	1,77	34,5	12	17,0
Мергель глинистый зелено-серый . . . . .	206,0	1,86	19,3	9	30,0
То же . . . . .	224,0	1,90	26,3	8	26,0
Мергель алевритовый (вспомогательный ствол) . . . . .	224,4	1,94	24,0	13	37,0
Методика . . . . .	—	3	4	—	15

Примечание. В Международной системе единиц (СИ) объемная масса  $\gamma$  измеряется в кг/м<sup>3</sup>; если, например, в старой метрической системе  $\gamma = 2,56$ , то в новой системе (СИ) это составит  $2,56 \cdot \gamma \cdot 10^{-3}$ , откуда  $\gamma = \frac{2,56}{10^{-3}} = 2,56 \cdot 10^3 = 2560$ . Во избежание таких больших чисел множитель  $10^{-3}$  здесь и в последующих таблицах переносится в шапку таблицы.

Таблица 13

## Механические свойства горных пород юго-восточной части Татарии

Стратиграфия	Породы	$R_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$K_{пл}$
		от—до среднее	
Казанский ярус	Глины, алевролиты, песчаники	12,0—24,0	1,6—∞
		17,0	∞
Уфимский »	Песчаники, извест- няки	13,0—17,0	∞
		144—161	2,0—2,5
Артинский »	Ангидриты, гипсы, до- ломиты	35—255	1,4—2,1
		143	1,8
Сакмарский »	Доломиты, извест- няки	18—34	∞
		27	∞
Ассельский »	Известняки, доломиты	95—286	1,6—5,6
		168	3,5
Верхний карбон	Доломиты, извест- няки	112—163	2,1—3,8
		153	150
Мячковский гори- зонт	Известняки, доломиты	179—214	2,4—3,0
		194	2,6
Подольский »	Доломиты, извест- няки	163—225	2,2—3,0
		214	2,9
Каширский »	Известняки, доломиты	143—204	3,3—3,5
		184	3,2
Верийский »	Известняки	102—163	1,8—3,3
		107	2,6
Башкирский ярус	»	123—184	2,3—2,9
		112	2,7
Намюрский »	Известняки, доломиты	102—179	1,8—2,1
		122	2,0
Серпуховский над- горизонт	Доломиты	235—265	1,8—1,9
		254	1,8
Окский горизонт	Доломиты, извест- няки	102—250	1,5—2,5
		167	1,9

Продолжение табл. 13

Стратиграфия	Породы	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$	$K_{пл}$
		от—до среднее	
Тулский »	Известняки, алевриты	121—230	2,2—3,4
		158	2,9
Бобриковский »	Алевролиты, песчаники	33—50	1,9—2,3
		36	2,1
Турнейский ярус	Известняки	112—184	2,7—4,0
		148	2,8
Фаменский »	»	143—184	2,2—2,6
		163	2,3
Верхнефранский подъярус	»	163—204	2,0—2,4
		194	2,2
Мендымский горизонт	»	153—184	1,8—2,3
		163	2,1
Доманиковский горизонт	»	163—189	1,8—2,9
		173	2,1
Саргаевский горизонт	»	163—204	2,1—2,4
		194	2,3
Кыновский горизонт	Алевролиты, аргиллиты	50—143	1,3—2,3
		77	2,1
Пашийский горизонт	Алевролиты, песчаники	102—143	1,6—2,6
		128	1,8
Живетский ярус	Песчаники, алевролиты	102—163	1,7—2,6
		133	2,0
Методика	—	24	24

Физико-механические свойства горных пород месторождений Чалташ и др.

Скважина	Интервал глубины, м	Геологическое описание образцов горных пород	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	Динамическая прочность $F_d$	Коэффициент обр-зности $K_{обр}$	Объединенное значение $\rho_m$	Категория по $\rho_m$
60	63,1—89,0	Гипс белого, грязно-белого цвета, мелкозернистый, полосчатый, с прожилками и линзами темно-серых глин		2,56	1,45	0,15	0,6	II
60	36,2—42,2	Глина слабопесчаная, плотная, гипсованная, красновато-бурого цвета		2,48	2,80	0,45	3,0	IV
61	51,5—61,5	Гипс грязно-серого цвета, мелкозернистый, массивный, плотный, загрязненный серыми глинами	4	2,31	1,55	0,35	1,4	II
61	27,4—35,0	Гипс серый, скрытокристаллический, массивный, плотный, загрязненный глинами		2,44	1,30	0,40	1,6	II
60	89,0—92,0	Аргиллит буровато-коричневый, тонкозернистый, плотный, с редкими включениями гипса		2,53	3,0	0,35	2,5	III
60	55,3—63,1	Аргиллит красновато-бурый, тонкозернистый, плотный, с прожилками гипса (тонкими)	2	2,46	2,66	0,45	3,0	III
60	42,2—55,3	Алевролит красновато-бурый, тонкозернистый, плотный с прожилками гипса		2,49	2,70	0,65	4,6	V
61	38,6—51,5	Целестин от белого до грязно-серого цвета, от мелко- до крупнокристаллического с прожилками гипса белого и грязно-белого цвета	1	2,71	1,70	0,70	3,5	IV
Штольня 19	27,4—35	Известняк серый тонкозернистый с прожилками целестина		2,66	4,87	0,70	7,5	VI
То же		Известняк брекчированный с целестином	3	3,21	4,16	0,75	7,4	VI
»		Известняк глинистый, темно-серый, тонкозернистый		2,58	6,06	0,75	9,8	VI
57	48,3—75,0	Алевролит плотный, крепкий, серого цвета, тонкозернистый и бурый с малиновым оттенком		2,44	2,89	0,75	5,2	V
57		Песчаник тонкозернистый, плотный, серого и буровато-малинового цвета		2,53	1,62	2,45	10,2	VII
	23,0—30,5	Песчаник мелкозернистый, плотный бурого цвета	2	2,56	1,36	2,03	10,2	VII
		Гипс мелкозернистый		2,41	1,57	0,55	2,2	III
				3	1	1	1	I

Таблица 15

## Механические свойства горных пород Верхнекамского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Песчаник . . .	5	<u>1,65—5,56</u>	<u>1,35—2,05</u>	<u>6,9—16,0</u>	VI
		3,35	1,66	13,46	
Алевролит . .	1	3,70	0,83	6,9	VI
Аргиллит . . .	2	<u>2,22—2,74</u>	<u>0,13—1,53</u>	<u>0,75—10,0</u>	V
		2,48	0,83	5,37	
Конгломерат слабый . . .	2	<u>1,72—2,30</u>	<u>0,18—0,48</u>	<u>1,0—2,25</u>	III
		2,01	0,33	1,62	
Методика . . .		1	1	1	I

## Украина. Приднепровская впадина (Новомосковская ГРЭ, Угольная ГРП)

Результаты определения механических свойств и категорий буримости приведены в табл. 16.

Таблица 16

## Механические свойства горных пород Приднепровской впадины

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Песчаник . . .	6	<u>0,73—4,8</u>	<u>0,69—2,4</u>	<u>6,35—20,0</u>	V— —VIII
		2,71	1,69	11,75	
Песчаник известковистый . . . .	2	<u>5,71—7,4</u>	<u>1,32—1,80</u>	<u>15,2—26,5</u>	VIII
		6,36	1,56	20,8	
Песчаник на глинистом цементе .	1	1,04	2,1	6,35	V
Песчаник кварцевый монолитный . . . . .	1	4,16	1,90	18,5	VIII
		3,08	0,70	5,3	
Аргиллит . . . . .	1	10,5	0,55	10,8	VII
Известняк . . . . .	1	1	1	1	I
Методика . . . . .					

## Северо-Западный Донбасс (Красноармейская ГРЭ)

Механические свойства горных пород, установленные по ОСТ 41-89—74, приведены в табл. 17.

Т а б л и ц а 17

### Механические свойства горных пород Северо-Западного Донбасса

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Песчаник мелкозернистый . . .	3	1,90—2,98	1,50—2,20	10,1—11,0	VII
		2,26	1,90	10,56	
Песчаник среднезернистый . . .	1	0,89	2,40	6,5	V
Сланц песчаный . . . . .	6	3,51—6,06	0,65—1,20	5,7—10,0	V—VI
		4,01	1,15	8,74	
Методика . . . . .		1	1	1	1

### Твердость и пластичность осадочных неметаморфизованных пород по методу вдавливания штампа

Фактические данные определения твердости и пластичности типичных осадочных пород, установленные Л. А. Шрейнером, приведены на рис. 3.

Согласно этим данным твердость, их составляет:

глины и сланцеватые глины . . . . .	от 5 до $25 \cdot 10^{-7}$ , Па
глинистые сланцы . . . . .	от 17 до $77 \cdot 10^{-7}$ , Па
опаловые глинистые сланцы . . . . .	от 77 до $180 \cdot 10^{-7}$ , Па
известняки и доломиты . . . . .	от 10 до $204 \cdot 10^{-7}$ , Па
сульфатные породы . . . . .	от 25 до $153 \cdot 10^{-7}$ , Па

Коэффициент пластичности изменяется в следующих пределах:

глин и глинистых мергелей . . . . .	от 6,0 и более
сланцеватой глины . . . . .	от 1,0 до 2,0
глинистых сланцев и аргиллитов . . . . .	от 1,0 до 3,5
опаловых глинистых сланцев . . . . .	от 2,0 до 3,0
известняков и доломитов . . . . .	от 1,5—2,0 до 6,0 и более
сульфатных пород . . . . .	от 2,0 до 4,0



### § 3. ОСАДОЧНЫЙ МЕТАМОРФИЗОВАННЫЙ КОМПЛЕКС И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД

#### Центральный Казахстан

#### Джездинское месторождение марганца

Рудовмещающими породами месторождения являются различные по зернистости песчаники. В табл. 18 приведены параметры физико-механических свойств пород и марганцевых руд [64].

Обращается внимание на связь значений физико-механических свойств песчаников с их зернистостью.

Крупнозернистые песчаники отличаются от среднезернистых, особенно от мелкозернистых, меньшей объемной массой ( $2,4$  против  $2,8 \cdot 10^{-3}$ ,  $\text{кг/м}^3$ ), временным сопротивлением раздавливанию ( $418$  против  $1071 \cdot 10^{-5}$ , Па), пределом прочности на растяжение ( $13-35$  против  $61-82 \cdot 10^{-5}$ , Па).

Руды отличаются от песчаников более высокой объемной массой ( $2,90$  против  $2,40-2,80$   $\text{кг/м}^3$ ). Коэффициент сцепления близок к показателю для среднезернистого песчаника.

Таблица 18

Физико-механические свойства горных пород и руд  
Джездинского месторождения

Генетические различия пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ $\text{кг/м}^3$	$\sigma_{\text{сж}} \cdot 10^{-5}$ , Па	
		от—до	среднее
Песчаник крупнозернистый . . . . .	2,38—2,42	418—622	13—35
	2,40	418	24
Песчаник среднезернистый . . . . .	2,58—2,65	660—857	25—38
	2,60	765	32
Песчаник мелкозернистый . . . . .	2,78—2,81	908—1255	61—82
	2,80	1071	71
Песчаник кварцево-полевошпатовый . . . . .	2,62—2,72	—	—
	2,67	—	—
Руда марганцевая, плотная . . . . .	2,80—3,00	—	71—106
	2,90	—	88
Руда трещиноватая . . . . .	—	—	11
Методика . . . . .	3	15	15

## Джезказганское месторождение медистых песчаников

Рудовмещающие породы представлены в основном красными и серыми аркозовыми песчаниками. Красные песчаники отличаются от серых меньшими значениями динамической прочности ( $F_d$ ), абразивности ( $K_{абр}$ ), объединенного показателя ( $\rho_m$ ) и категорий буримости (табл. 19).

Таблица 19

### Механические свойства песчаников Джезказганского месторождения меди

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Песчаники красные . . . . .	13	10,6	0,78	11,8	VII
» серые . . . . .	37	14,2	1,23	29,4	IX
Методика . . . . .		1	1	1	1

Для более отчетливого представления о породах Джезказганского месторождения в табл. 20 приведены параметры механической прочности на сжатие и растяжение, угла внутреннего трения, сцепления, скорости продольных и поперечных волн и др. [26].

Из данных табл. 20 следует, что серые песчаники по сравнению с красными более прочны. Наименьшие значения предела прочности на сжатие и растяжение имеют глинистые сланцы красного цвета. По значениям угла внутреннего трения и сцепления, а также по акустическим и другим параметрам породы отличаются незначительно, исключением является оруденелый песчаник, характеризующий повышенным значением объемной массы и механической прочности на сжатие и изгиб.

## Донбасс

### Никитовское месторождение киновари

Вмещающими породами месторождения являются песчаники и глинистые сланцы. Первое представление о значениях физико-механических свойств указанных пород можно получить из табл. 21 [82].

Обращается внимание на параметры оруденелых песчаников. По сравнению с безрудными песчаниками они более прочны. В свою очередь богатые руды менее прочны. Показательны для этих пород скорости продольных и поперечных волн, а также значение модуля упругости. Для богатой руды значение  $E$  невелико ( $1,8 \cdot 10^{-5}$ , Па), а для оруденелых песчаников — около  $4,0 \cdot 10^{-5}$ , Па.

Для более полной характеристики пород Никитовского месторождения приводятся результаты исследования, выполненные в ВИМСе в связи с классификацией морфологии рудных тел на месторождениях цветных металлов.

Таблица 20

## Физико-механические свойства пород Дезказганского месторождения

Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v_p$ , м/с	$v_s$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$K_{хр} = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$
Песчаник с глинисто-карбонатным цементом . . . . .	—	711	—	—	—	—	—	—	—
Песчаник с глинисто-кремнистым цементом . . . . .	—	877	—	—	—	—	—	—	—
Красные глинистые сланцы . . . . .	—	500	—	—	—	—	—	—	—
Песчаник серый аркозовый . . . . .	—	627	—	—	—	3,6	—	—	—
То же . . . . .	—	949	—	—	—	5,12	—	—	—
То же, с прожилками кварца . . . . .	—	503	—	—	—	4,46	—	—	—
Серый аркозовый песчаник . . . . .	—	807	—	—	—	2,55	—	—	—
» . . . . .	—	602	—	—	—	3,99	—	—	—
Красный аркозовый песчаник . . . . .	—	1142	—	—	—	7,65	—	—	—
Серый песчаник . . . . .	—	1275	51	—	—	5,51	2,3	0,21	25
Красный песчаник . . . . .	—	918	41	—	—	4,34	1,8	0,21	30
Красный сланец . . . . .	—	510	20	—	—	—	—	—	25
Серый аркозовый песчаник . . . . .	—	—	—	5000	2491	5,2	2,21	0,28	—
Песчаник оруденелый . . . . .	2,75	1681	196	4871	3062	6,28	2,67	0,17	8,6
Песчаник серый среднезернистый . . . . .	2,70	1420	116	4600	3105	5,80	2,69	0,08	12,2
То же, мелкозернистый . . . . .	2,62	996	109	4911	3081	6,38	2,58	0,17	9,1
То же, тонкозернистый . . . . .	2,65	535	85	5503	3207	6,78	2,82	0,24	6,3
Песчаник красный . . . . .	2,67	689	28	5243	3233	6,85	2,88	0,19	7,7
Красный сланец . . . . .	2,66	389	71	5833	3108	6,90	2,65	0,30	5,5
Методика . . . . .	3	15	15	11	11	11	11	11	28

$v_p$  — скорость продольной волны, м/с;  $v_s$  — скорость поперечной волны, м/с;  $K_{хр}$  — коэффициент хрупкости.

Таблица 21

Средние показатели физико-механических свойств пород Никитовского

Порода	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па
Песчаник . . .	5	2,07—2,46	87—170	555—1575
		2,33	114	1160
Песчаник рудный . . . . .	4	2,23—2,36	105—168	1286,0—2464
		2,28	143,0	1804,0
Богатая руда .	1	2,38	164,6	1017
Мелкозернистый песчаник .	3	2,22—2,44	79,0—148,0	1268,0—1563
		2,35	128,0	1443
Песчаник трещиноватый, среднезернистый . .	1	2,31	99	888
Глинистый сланец . . . . .	1	2,41	46,00	350
Сланец глинистый у лежащего блока песчаника .	1	2,18	40	412
Методика . .	3	3	15	15

Примечание. Здесь и в последующих таблицах в числителе даны

месторождения

$K_{хр} = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$	$f$	$v_p$ , м/с	$v_s$ , м/с	$\mu$	$E \cdot 10^{-10}$ , Па
6,38—9,26	6,08—12,32	2700—5330	1680—2660	0,186—0,334	1,4—4,7
10,18	9,85	3720	2060	0,258	2,7
12,2—14,67	10,7—17,1	3876—6000	2250—2667	0,100—0,334	2,5—6,5
12,62	13,55	4594	2445	0,202	4,0
6,18	8,92	3200	1857	0,315	1,8
16,05—10,56	10,6—12,24	3625—4500	1850—2250	0,315—0,375	2,3—3,06
11,27	11,58	4153	2057	0,341	2,7
8,97	8,3	5167	2583	0,334	4,2
7,61	4,53	2214	1550	0,037	1,2
10,3	5,02	4375	2500	0,315	1,9
28	30	11	11	11	11

пределы значений, в знаменателе — средние значения.

минерал (киноварь) выполняет поровые пространства и в большинстве случаев сам является цементом, то влияние оруденения на указанные свойства становится очевидным.

Если сравнить физико-механические свойства безрудных песчаников софийской и чегарникской толщ северного крыла, то можно увидеть, что они близки. Это можно объяснить почти одинаковым составом этих разностей песчаников и отсутствие оруденения в них.

Следует также сравнить результаты изучения залегающих на северном крыле складки песчаников софийской толщ с вкрапленным оруденением с рудоносными песчаниками южного крыла (жильный тип оруденения) чегарникской толщ. Из табл. 22 видно, что песчаники чегарникской толщ отличаются повышенными значениями плотности (3,02 против 2,71), объемной массы (2,75 против 2,52) и пониженными значениями пористости (7,36 против 8,78) и водонасыщения (2,86 против 31,9). В свою очередь они характеризуются меньшими скоростями продольных волн (2507 против 2864), удельного акустического сопротивления (0,69 против 0,71), относительной напряженности (0,22 против 0,28). Приведенные значения в известной степени объясняются различием в составе пород. Чегарникская толща песчаников характеризуется неодинаковым их строением. Наряду со сравнительно однородными песчаниками, близкими по со-

Помимо сбора различных геологических материалов по данному месторождению были отобраны образцы руд и вмещающих пород для изучения их физико-механических свойств.

При отборе образцов руководствовались необходимостью характеристики свойств песчаников софийской и чегарникской свит, отличающихся по составу и степени оруденения (рис. 4).

В табл. 22 приведены результаты определения физико-механических свойств образцов песчаников.

Песчаники софийской толщ с вкрапленным характером оруденения отличаются от безрудных песчаников этой же толщ более высокими значениями плотности (2,71 против 2,65) и объемной массы (2,52 против 2,44), скорости распространения продольных волн (2860 против 2350 м/с), акустического сопротивления (0,72 против 0,57), относительного напряжения (0,28 против 0,17), несколько меньшими значениями пористости (7,36 против 7,77%) и водонасыщения (2,86 против 3,17%). Если обратиться к петрографической характеристике указанных пород, то увидим, что основное их отличие заключается в составе цемента. Песчаник с вкрапленным оруденением имеет железисто-кварцево-каолинито-серицитовый цемент, а безрудный песчаник — кварцево-хлорито-серицитовый.

Различие значений физико-механических свойств пород указанных разностей обуславливает оруденение. Если учесть, что рудный

## Физико-механические свойства песчаников Никитовского месторождения

Номер образца	Свита	Тип оруденения	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$ ,	$\gamma \cdot 10^{-3}$ ,	$P_{эф}$ , %	$W$ , %	$V_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$R \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$	$\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па	$H_{ист}$
			кг/м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>							
4 1 2	Софийская	Вкрапленное	2,79	2,63	5,60	2,13	2700	1,93	0,90	0,35	—
			2,65	2,43	8,45	3,49	2840	1,97	0,70	0,24	—
			2,70	2,50	8,05	2,96	3060	2,33	0,8	0,28	—
5 10 17	Чегарникская	»	2,78	2,54	8,71	3,43	2280	1,32	0,6	0,15	—
			2,70	2,51	7,00	2,78	3060	2,36	0,8	0,33	228
			2,74	2,54	7,38	2,93	3270	2,70	0,8	0,37	445
12 13	Софийская	Безрудный участок	2,68	2,49	7,12	2,85	1930	0,93	0,5	0,13	68
			2,62	2,40	8,42	3,50	2770	1,84	0,7	0,21	113
3 16	Чегарникская	То же	2,69	2,48	8,05	3,24	1980	0,97	0,5	0,12	13
			2,58	2,38	7,90	3,31	2580	1,6	0,6	0,21	7
8 9 14	»	Жильный участок	2,96	2,74	7,46	2,72	3370	3,18	0,9	0,43	169
			3,37	3,01	10,60	3,54	2240	1,50	0,7	0,14	—
			2,73	2,50	8,28	3,31	1910	0,92	0,5	0,11	6
15 11	Софийская	Безрудный участок	2,56	2,31	10,00	4,35	2300	1,2	0,5	0,12	3
			2,63	2,29	12,77	5,56	2180	1,1	0,5	0,08	18
Методика			3	3	3	6	11	11	12	13	25

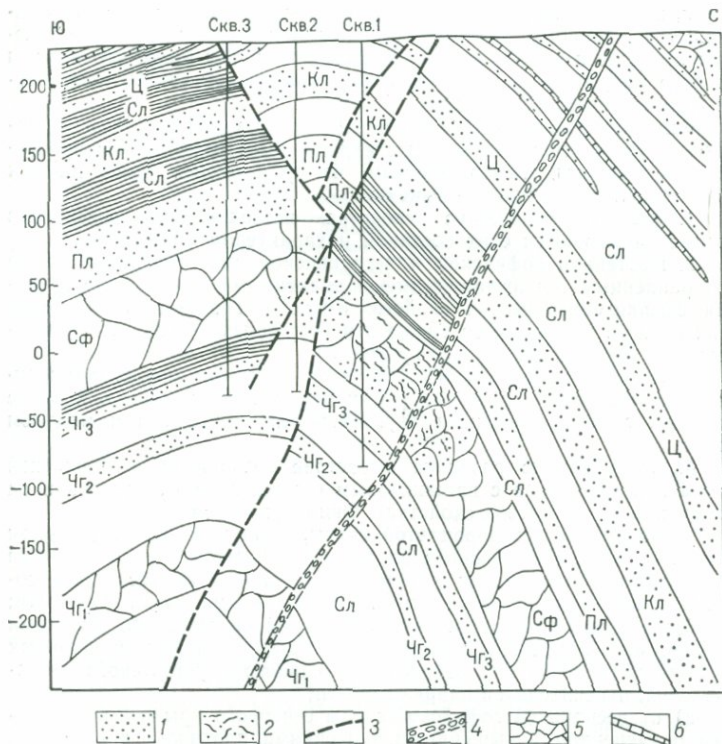


Рис. 4. Геологический разрез месторождения киновари.

Толщи песчаников: Сф — софийская, Чг — чегарникская; горизонты песчаников: Ц — церковный, Кл — кладбищенский, Пл — песчаники плитчатые, Сл — сланцы. 1 — песчаники рудовмещающие; 2 — рудная минерализация; 3 — тектонические нарушения; 4 — секущая жила; 5 — песчаники рудоносные; 6 — известняк

ставу и структуре к песчаникам софийской толщи, встречаются брекчиевидные их разности.

Такие физические свойства, как пористость и водопоглощение, вполне увязываются с брекчиевидным строением породы.

В свою очередь угловатая форма зерен кварца, обломки пород и наличие густой сети мелких трещин могут служить объяснением меньших значений модуля упругости и акустических свойств.

Характерными являются физико-механические свойства безрудных песчаников северного и южного крыльев складки, относящихся к софийской толще. Из табл. 22 видно, что значения их физико-механических свойств практически близки между собой, за исключением пористости и коэффициента водонасыщения, значения которых выше у песчаников южного крыла. Есть некоторые отличия и в значениях других свойств, но они незначительны, за исключением твер-

дости, которая ниже у песчаников южного крыла. Эти отличия объясняются различным пространственным положением пород, слагающих северное и южное крылья антиклинали, тем более что породы южного крыла, судя по песчаникам чегарникской свиты, отличаются большей трещиноватостью.

Физико-механические свойства песчаников софийской и чегарникской толщ северного крыла с вкрапленным оруденением практически одинаковы. Таким образом, из приведенных выше данных можно сделать следующие выводы.

1. Физико-механические свойства исследованных песчаников вполне увязываются с их составом и характером оруденения.

2. Песчаники софийской и чегарникской свит северного крыла с вкрапленным оруденением имеют практически одинаковые значения физико-механических свойств. Большое сходство в значениях этих свойств наблюдается также и в безрудных песчаниках указанных свит северного и южного крыльев.

3. Песчаники софийской свиты с вкрапленным оруденением существенно отличаются от безрудных пород этой свиты — они более плотные, с более высокими акустическими свойствами и модулем упругости.

4. Существенное различие в составе песчаников чегарникской свиты южного крыла с прожилковым оруденением отразилось и на их физико-механических свойствах. Они отличаются:

а) от безрудных пород этой свиты, залегающих на северном крыле, большими значениями плотности, объемной массы, скорости продольных волн, модуля упругости, удельного акустического сопротивления, коэффициента относительного напряжения, твердости;

б) от безрудных песчаников софийской свиты более высокими значениями плотности и объемной массы, скорости продольных волн, модуля упругости, твердости, удельного акустического сопротивления, относительной напряженности;

в) от песчаников софийской свиты северного крыла с вкрапленным оруденением повышенными значениями плотности и объемной массы, пористости и коэффициента водонасыщения. По другим свойствам (акустическим и механическим) они отличаются меньшими значениями. Полученные результаты можно объяснить различиями в составе и структуре пород.

5. Существующие различия между физико-механическими свойствами рудных и безрудных песчаников рассмотренных свит позволяют использовать некоторые из этих свойств (например, акустические) при поисках новых рудных участков геофизическими и другими методами.

## **Южный Казахстан**

### *Ачисайское месторождение свинца и цинка*

Изучение физико-механических свойств горных пород, слагающих указанные месторождения, проводилось МГРИ, ВИРГом, ЛГИ, Казахским государственным университетом и др. в связи с поисками новых месторождений геофизическими методами.

Исследование физико-механических свойств горных пород проводилось также с целью определения роли этих свойств в рудооб-

Рис. 5. Числовые значения пустотности рудовмещающих пород Ачисайского и Миргалымсайское месторождений свинца и цинка

1 — Миргалымсайское месторождение; 2 — Ачисайское месторождение; 3 — предел пустотности, благоприятный для локализации оруденения



разовании. Так, Р. В. Мухамеджановой получены некоторые сведения о причине избирательного свойства известняковой толщи к процессам метасоматического характера оруденения.

Изучение физико-механических свойств горных пород месторождения Ачисай в незначительном объеме проводилось в физико-механической лаборатории ВИМСа. Образцы горных пород (керны) были отобраны лишь из основных (рудных) горизонтов, слагающих месторождения. Так, были взяты образцы доломитов и известняков, представляющие фаменский ярус девонской свиты и образцы, характеризующие нижнекаменноугольную карбонатную свиту, расчлененную на пять горизонтов: базальный, искристый, турланский, рудничный, бельмазарский (табл. 23).

Данные табл. 23 показывают, что второй ленточный горизонт (рудный) отличается от других пород более высокими значениями плотности (2,93 против 2,82) и объемной массы (2,86 против 2,70), и меньшей пористостью (2,39 против 3,60), повышенной твердостью (114,0 против 38,0), процентом усадки (41,0 против 37,0) и коэффициентом пустотности (7,11 против 4,76).

Рудовмещающий горизонт искристых доломитов отличается от примыкающих к нему пород более высокими значениями процента усадки (38,0 против 35,0) и меньшей пустотностью после сжатия (16,7 против 20,0).

На рис. 5 сопоставлены рудные и нерудные горизонты по значениям пустотности. Из приведенных данных видно, что руды искристого и второго ленточного горизонтов отвечают значениям пустотности в пределах 16—17%, а вмещающие их породы характеризуются в основном более высокими значениями пустотности.

Таблица 23

## Физико-механические свойства горных пород Ачисайского и других

Номер образца	Порода	Горизонт	Глубина, м	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %
1	Брекчия	Турланский <i>ct-c</i>	165	2,75	2,68	2,54
2	Доломит	Искристый <i>ct-b</i>	340	2,83	2,76	2,47
4	»	Верхний ленточный <i>djm-8</i>	410	2,89	2,80	3,11
5	»	Верхний комковатый <i>djm-7</i>	450	2,83	2,70	4,59
6	Известняк	Плитчатый <i>djm-6</i>	510	2,81	2,68	4,62
7	»	Средний комковатый <i>djm-5</i>	580	2,79	2,66	4,66
11	»	Второй ленточный горизонт (рудный) <i>djm-4</i>	—	2,93	2,86	2,39
10	»		650	2,77	2,68	3,25
12/2408	»	Бельмазарский <i>ct-e</i>		2,78 (2,70)	2,68 (2,70)	3,6
13/2403	Доломит	Турланский <i>ct-c</i>		2,89	2,76 (2,79)	4,5
16/2407	»	Искристый <i>ct-b</i>		2,88	2,76 (2,79)	4,1
14/2403	Известняк	Базальный <i>ct-a</i>		2,78	2,66 (2,63)	4,3
15/2403	Брекчия	Надвиговый шов <i>ct</i>		2,89	2,58 (2,63)	10,7
Методика				3	3	3

Обращает на себя внимание тот факт, что искристый горизонт не является рудным, однако пустотность его близка к пустотности аналогичного горизонта на Ачисае. Это можно объяснить отсутствием тех благоприятных геологических предпосылок, которые необходимы для образования месторождения.

Зона благоприятной для рудоотложения среды хорошо видна и на рис. 6, где отражено значение коэффициента пустотности (отношение пустотности сжатого порошка  $l_p$  к первоначальной пористости массива  $P_{эф}$ ). Этот коэффициент для рудного горизонта находится в пределах 6,6 (для искристого горизонта *ct-b*) и 7,11 (для второго ленточного горизонта). Для пород нерудных горизонтов он меньше. Таким образом, отношение  $l_p/P_{эф}$  — это второй физический индикатор, который может быть принят как фактор, отражающий причины избирательного характера оруденения. Третьим индикатором может служить отношение показателей временного сопротивления на сжатие к временному сопротивлению породы на скалывание. Разница между разрушающими и трещинообразующими напряжениями, по Р. В. Мухамеджановой, должна

## месторождений

$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$H_{ист}$	$v_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$K_p$	$C_f$ , %	$\chi \cdot 10^{-6}$ , CGSM	$l_p$ , %	$\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_{сж}}$	$\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па
64	818	27	4934	6,65	2,06	38,0	—	—	12,8	—
96	872	49	4462	5,50	1,87	37,0	53	16,3	9,1	6,73
54	731	70	5310	8,04	1,87	39,0	130	17,6	13,5	5,77
39	818	32	4967	6,79	1,88	34,0	75	17,7	21,1	3,94
89	—	35	4950	6,70	2,03	39,0	59	18,6	16,6	4,10
72	1034	18	4000	4,35	1,80	35,0	104	15,8	14,2	3,97
64	—	114	4900	7,01	1,82	41,0	223	17,0	—	7,25
61	852	37	4967	6,74	1,92	38,0	37	14,8	13,9	4,64
69	—	24	4884	6,71	—	35,0	4,8	20,2	—	—
64	—	28	4186	4,94	—	34,0	18	20,1	—	—
65	—	30	4967	6,95	—	38,0	36	16,7	—	—
50	—	21	5237	7,44	—	37,0	—	—	—	—
68	—	23	3934	4,06	—	37,0	33	19,8	—	—
16	15	25	11	11	14	14	8	14	28	13

быть небольшой. В нашем случае эта величина определена лишь для рудного горизонта одного месторождения и равна 9,1. Для пород других горизонтов числовые значения отношения временного сопротивления сжатию ( $\sigma_{сж}$ ) к временному сопротивлению скалыванию ( $\sigma_{ск}$ ) — выше.

Результаты исследований показали, что известняк второго ленточного горизонта, вмещающий оруденение, обладает по сравнению с другими породами более высокими значениями объемной массы и плотности, меньшей пористостью, повышенными значениями твердости, процента усадки и коэффициента пустотности; доломиты искристого горизонта отличаются от примыкающих к ним пород более высокими значениями процента усадки и меньшей пустотностью после сжатия.

Обращают на себя внимание пределы пустотности (16—17%) и коэффициенты пустотности (6,60—7,11), которым удовлетворяют рудовмещающие породы месторождений. Эти параметры могут служить дополнительным критерием в обосновании избирательного характера оруденения.

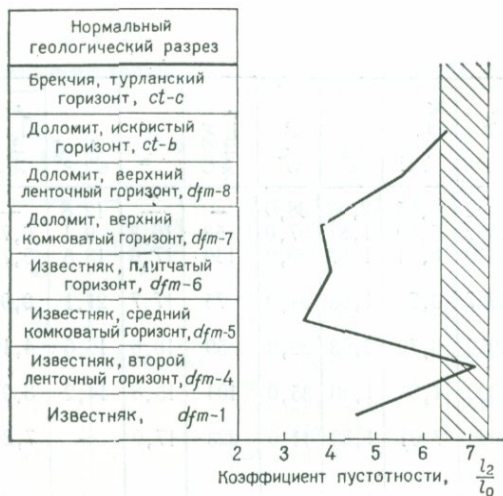


Рис. 6. Коэффициент пустотности доломитов искристого и известняков второго ленточного рудных горизонтов Ачисайского и Миргалмсайского месторождений (заштрихован предел пустотности, благоприятный для локализации оруденения)

## Северо-Восток

### Месторождение золота

С целью прогнозирования результатов отбойки породы и руды при добычных работах были определены некоторые физико-механические свойства рудовмещающих пород одного из месторождений золота. Результаты определений приведены в табл. 24.

Из данных табл. 24 видно, что исследованные породы близки по значениям плотности и акустической жесткости, за исключением туфогенных развалцованных сланцев, у которых значения указанных свойств ниже.

Для наиболее распространенных типов руд значения коэффициента Пуассона составили 0,255—0,266, а для сланцев развалцованных 0,132.

Наблюдается зависимость показателей дробимости пород от их прочности на сжатие и растяжение, а также от акустической жесткости. Отмечается также зависимость акустической жесткости от предела прочности на сжатие.

Исследованиями доказывается, что в качестве основного фактора, определяющего прочность пород, выступает динамометаморфизм. В целом на месторождении с точки зрения прочностных свойств имеются два резко различающихся типа руд: более прочные, чем вмещающие породы, в связи с их прокварцеванием, и менее прочные вследствие их деформированности.

## Восточное Забайкалье

### Северо-Акатуйевское месторождение полиметаллов

В одной из работ [66] С. С. Смирнов указывал на то важное обстоятельство, что большинство полиметаллических месторождений

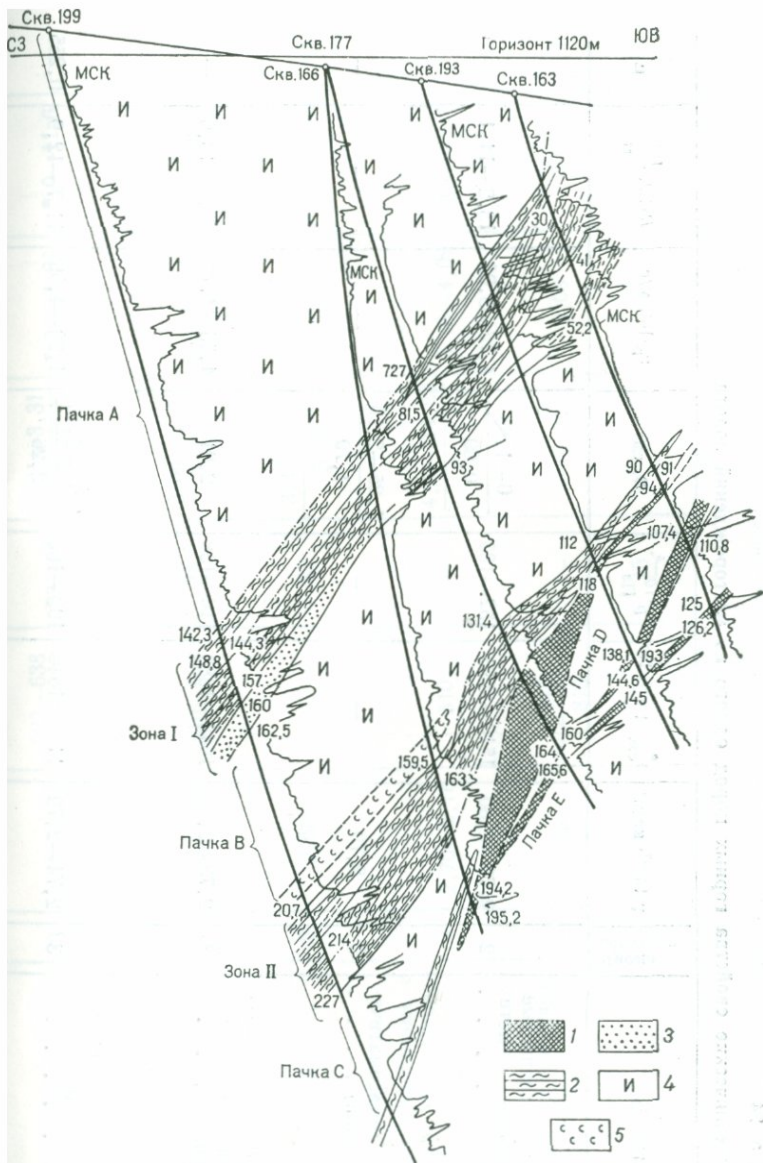


Рис. 7. Северо-Акатуевское месторождение.

1 — сульфидная руда; 2 — углисто-глинистые сланцы; 3 — зоны дробления; 4 — известняки; 5 — скарны. Пачка А — покрывающие известняки; пачка В — нижележащие известняки; пачка С — подстилающие известняки сланцы; пачка Д — известняки, залегающие между рудными телами; пачка Е — известняки, подстилающие рудное тело; зона I — сланцы, удаленные от рудного тела; зона II — сланцы оруденелые

Таблица 24

## Физико-механические свойства горных пород одного из месторождений золота

Порода	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж}^* \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	$D$ , см <sup>2</sup>	$v_p \cdot 10^3$ , м/с	$R \cdot 10^4$ , $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$	$\mu$
Сланцы глинистые, окварцованные, метасоматические . . . . .	2	2,79—2,80	1510—2091	152—183	$\frac{0-1,85}{0,90}$	4,76—5,03	13,2—14,1	—
Кварц метасоматический (сливной) . . . . .	2	2,79	—	—	$\frac{1,25-2,10}{1,70}$	—	—	—
Сланцы туфогенные, окварцованные, метасоматические . . . . .	2	2,73—2,76	1642—1683	118—158	2,01	4,55—4,74	12,3—13,0	—
Сланцы туфогенные с кварцевым прожилкованием . . . . .	3	2,74—2,79	1112—1846	103—162	$\frac{1,94-2,45}{2,26}$	4,20—4,66	11,7—12,9	0,255
Сланцы туфогенные . . . . .	3	2,71—2,73	$\frac{580-638}{989}$	83—87	$\frac{2,24-3,31}{2,57}$	3,31—4,26	9,0—11,6	—
Сланцы туфогенные окварцованные, метасоматические, перемятые . . . . .	5	2,70—2,80	510—632	74	$\frac{3,04-5,73}{4,02}$	3,04—3,53	8,4—10,0	0,260
Кварц жильный . . . . .	2	2,60	—	83	$\frac{3,42-7,70}{5,56}$	—	—	—
Сланцы туфогенные с кварцевым прожилкованием, перемятые . . . . .	4	2,70—2,76	510	—	$\frac{4,09-14,23}{7,76}$	3,42—4,09	9,3—11,3	—
Сланцы туфогенные, развальцованные . . . . .	2	2,59	$\frac{145}{816}$	—	13,35	3,06	7,9	0,132
Методика . . . . .	3	—	15	15	23	11	12	11

\* Числитель — параллельно слоистости; знаменатель — перпендикулярно слоистости.

Таблица 25

**Физико-механические свойства пород  
Северо-Акатуевского месторождения**

Пачки и зоны	Порода	Число образцов	Физико-механические свойства пород				
			в раздробленном состоянии		в массиве		
			процент усадки	гистерезис, %	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\sigma_{Ск} \cdot 10^{-5}$ , Па	$P_{эф}$ , %
A	Известняки мало измененные	51	37,8	4,6	5,76	88	3,4
I	Сланцы	14	40,3	6,7	6,49	117	3,7
B	Известняки измененные	35	39,4	4,8	6,90	84	3,7
II	Сланцы	25	41,1	5,2	5,31	91	4,5
C	Известняки измененные между сланцами и рудой	15	37,9	4,5	6,15	69	2,5
D	Известняки измененные между рудами	6	34,6	5,5	5,30	51	7,6
E	Известняки измененные ниже руды	18	38,0	4,5	6,08	70	2,9
	Методика		14	14	11	16	3

Нерчинско-Заводской группы приурочено к контактным зонам карбонатных пород со сланцами. На границе этих двух комплексов пород, различно реагирующих на складчатость, по его мнению, проявляются наиболее благоприятные условия для развития смятых трещинных зон. Это замечание относится и к Акатуевскому месторождению. Подтверждением может служить геологический разрез данного месторождения (рис. 7).

На разрезе выделяются известняки покрывающие (пачка А), сланцы (зона I), известняки между сланцами (пачка В), сланцы (зона II), известняки между сланцами и рудой (пачка С), известняки между рудой (пачка D), известняки ниже руды (пачка Е). В соответствии с этим делением нами исследованы физико-механические свойства образцов из указанных разностей пород в раздробленном состоянии при сжатии и в монолите (табл. 25).

Следует обратить внимание на то, что сланцы зоны II и известняки пачек С, D и Е непосредственно примыкают к рудному горизонту. Сланцы зоны II имеют более высокий процент усадки (41,1%) по сравнению с подстилающими их известняками (34,6—37,9)%. Это не могло не сказаться на формировании рудного тела,

Таблица 26

## Физико-механические свойства вмещающих пород

Показатели	Значения физических свойств (индикаторов) известняков, залегающих между рудами (пачка D)	Значения физических свойств пачек известняков				Методика
		A	B	C	E	
Модуль упругости породы в образце $E \cdot 10^{-10}$ , Па . . . . .	3,9—6,08	5,41—6,10	6,13—7,54	5,6—6,30	5,69—6,35	11
Гистерезис породы в раздробленном состоянии после снятия нагрузки, % . . . . .	4,8—6,3	3,7—5,9	3,9—5,8	4,3—10,1	2,3—6,3	14
Эффективная пористость породы в образце $P_{эф}$ , % . . . . .	5,5—12,5	1,9—2,9	2,1—4,6	2,0—2,9	1,3—9,5	3
Пористость (пустотность) породы в раздробленном состоянии после сжатия $I_p$ , % . . . . .	18—28	11,8—15,9	5,2—14,1	4,3—12,9	8,2—17,9	14
Усадка раздробленной породы после сжатия, $C_f$ , % . . . . .	29—40,4	35,6—41,3	38,3—42,6	37,2—48,2	35—42	14
Магнитная восприимчивость породы $\chi \cdot 10^{-6}$ , CGSM . . . . .	95—130	69—1159	23—718	26—402	31—455	8
Объем породы в раздробленном состоянии после сжатия $V \cdot 10^{-6}$ , м <sup>3</sup>	110—134	102—127	102—115	106—144	99—119	14

Таблица 27

## Физико-механические свойства верхней пачки и околорудных пород

Показатели	Пределы числовых значений для сланцев		Методика
	верхней пачки удаленной (зона I)	околорудных (зона II)	
Эффективная пористость образца $P_{эф}$ , % . . . . .	3,2—4,8	3,8—6,2	3
Пористость (пустотность) сжатого порошка $l_p$ , % . . . . .	8,0—13,1	2,6—5,2	14
Пористость (пустотность) после разгрузки, $l'_p$ , % . . . . .	18,5—22,8	12,2—14,2	14
Усадка $C_f$ , % . . . . .	38,9—41,8	43,6—45,2	14
Модуль упругости образца $E \times 10^{-10}$ , Па . . . . .	5,66—6,62	5,25—6,48	11
Модуль упругости сжатого порошка $E_2 \cdot 10^{-10}$ , Па . . . . .	0,097—0,138	0,224—0,341	14
Относительная пустотность $\eta$ , % . . . . .	2,5—2,9	0,6—1,2	14
Относительная упругость $\epsilon \times 10^{-10}$ , Па . . . . .	42—64	16—26	14
Относительная напряженность образца в монолите $\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па . . . . .	1,3—2,0	0,8—1,6	13
Относительная напряженность образца в раздробленном состоянии $\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па . . . . .	4—7,14	14,3—25	14

на что, в частности, указывает пространственное тяготение главного рудного тела к пачке сланцев зоны II (см. рис. 7).

Рассмотрим пористость указанных разностей пород. Наименьшая пористость (2,5%) приурочена к известнякам, залегающим между сланцами, и рудой, т. е. к породам, прилегающим к рудной зоне с всякого бока. Они могли быть естественной преградой распространения руды в этом направлении. В свою очередь, наибольшая пористость (7,6%) приурочена к известнякам, залегающим между двумя рудными телами (пачка D). Благоприятным показателем этих пород является и более низкая механическая прочность на скальвание. Если при этом еще учесть малую пористость и повышенную механическую прочность ( $69 \cdot 10^{-5}$ , Па) подстилающих пород (пачка E), то все эти факторы могут иметь большое значение для объяснения условий локализации оруденения не только с геологической, но и с точки зрения физико-механических свойств рудовмещающих пород.

В поисково-разведочной практике весьма важно уяснить критерии отличия метаморфических пород от первоначально осадочных. Между тем обнаружить эти различия не всегда легко, так как в большинстве случаев перекристаллизация карбонатных пород не

Рис. 8. Индикатриса физико-механических свойств измененных (околорудных) пород.

1 — сланцы околорудные; 2 — сланцы, удаленные от рудной зоны;  $E_2$  — модуль упругости

сжатого порошка;  $\lambda = \frac{E}{P_{эф}}$  —

носительная напряженность образца породы в монолите;  $\eta =$

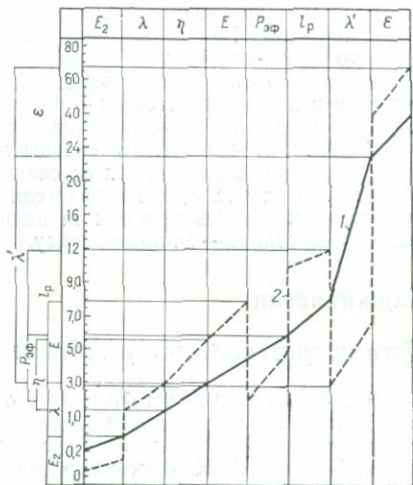
$\frac{l_p}{P_{эф}}$  — относительная пу-

стотность;  $E$  — модуль упругости образца в монолите;  $P_{эф}$  —

эффективная пористость образца в монолите;  $l_p$  — пористость

(пустотность) сжатого порошка;  $\lambda'$  — относительная напряженность сжатого порошка;  $\varepsilon$  —

относительный модуль упругости



связана с изменением их состава и сопровождается лишь проявлением некоторых отличий структурно-текстурного характера.

В этой связи важное значение приобретают исследования физико-механических свойств рудовмещающих горных пород не только в монолите, но и в раздробленном состоянии после сжатия. В последнем случае результаты определения этих свойств будут зависеть только от вещественного состава. Поэтому следует обращать внимание на значения пористости (пустотности) раздробленных пород после сжатия.

Эти сведения в общем дополняют результаты определения пористости в массиве (в керне). Однако если представить себе, что пустотность раздробленных пород после сжатия зависит в основном только от вещественного состава, то полученные числовые данные ее приобретают до некоторой степени контролирующее значение индикатора при рассмотрении геолого-структурных условий залегания околорудных пород.

В табл. 26 и 27 приведены некоторые физико-механические свойства вмещающих пород. В них сохранено основное деление известняков и сланцев на пачки и зоны, о которых было сказано выше.

При сопоставлении данных табл. 26 желательно иметь породы с эталонными значениями этих свойств. Но, к сожалению, все разности известняков в той или иной степени изменены. Однако в первом приближении такими породами могут быть полосчатые известняки (составная часть пачки А), и в этом отношении они могут служить некоторым эталоном малозмененных пород.

По данным табл. 26 отчетливее выявляются известняки пачки Д, залегающие между рудными телами, по сравнению с известняками пачек А, В, С, Е и околорудные сланцы зоны II, по сравнению со сланцами зоны I, удаленными от рудного тела (табл. 27).

Если считать физико-механические свойства известняков пачки D и сланцев зоны II за показатели, указывающие на близость рудного тела, то они приобретают значение индикаторов. Известняки пачки D особенно отличаются по модулю упругости, пористости и пустотности и в меньшей степени — по данным усадки объема сжатого порошка и магнитной восприимчивости.

Из табл. 27 следует, что сланцы зоны I, удаленные от рудного тела, значительно отличаются от сланцев зоны II. Это особенно хорошо видно на рис. 8, где показатели физико-механических свойств околорудных сланцев приняты за индикаторы близости рудного тела, а их сочетание — за индикатрису.

## Таджикистан

### *Джизжикрутское месторождение*

В табл. 28 приведены физико-механические свойства горных пород Джизжикрутского месторождения, по данным тематической партии по технике разведки Таджикского геологического управления (Е. А. Кучер и А. К. Ососов), в связи с составлением эталонных коллекций пород по буримости на основе значений динамической прочности, абразивности и объединенного показателя  $r_m$ .

В табл. 28 приведены значения и других физико-механических свойств, в том числе механической прочности по методу сжатия, твердости по методу штампа Шрейнера и контактной прочности по методу Барона.

Из табл. 28 видно, что значения механических свойств пород близки между собой, особенно по плотности (2,6—3,09), механической прочности (512—950) и коэффициенту Протодяконова (5,65—8,60).

По твердости и контактной прочности меньшими значениями отличаются кристаллические сланцы; что касается известняков и доломитов, то их твердость изменяется от 82 до 137 для известняков и до 182 для доломитов. Контактная прочность изменяется от 150 до 222 для известняков и до 294 для доломитов.

Из этих примеров следует, что определение не одного-двух, а нескольких свойств пород является наиболее правильным, позволяющим выделять породы, отличающиеся по тем или иным свойствам. В данном случае твердость и контактная прочность позволили выделить более твердые и менее твердые породы.

По динамической прочности выделяются сланцы и доломиты, по абразивности — сланцы, доломиты и некоторые разности известняков.

### *Месторождение Кара-Камар*

По данным тематической партии по технике разведки Таджикского геологического управления рудовмещающие породы довольно разнообразны по составу и физико-механическим свойствам (табл. 29). Наименьшие значения механических свойств относятся к алевролитам и углисто-глинистым сланцам, а также к брекчии и брекчированной породе. Более прочными и твердыми являются кон-

Таблица 28

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Джижикрут

Скважина	Интервалы глубин, м	Геологическое описание горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \times 10^{-5}$ , Па	$f$	$P_k \times 10^{-7}$ , Па	$P_{шт} \times 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	Объединенный показатель	Категория по $\rho_M$
640П	81—87	Известняк светло-серый, мелкозернистый, небольшие включения кальцита	2,69	656	6,77	97	156	8,0	0,55	9,0	VI
611П	97—103	Известняк доломитизированный мелкозернистый	2,72	612	6,48	95	153	8,69	0,50	9,0	VI
611П	162—170	Известняк темно-серый, мелкозернистый, трещиноватый, трещины выполнены кальцитом и серицитовым сланцем	2,78	601	6,40	141	226	10,0	1,10	20	VIII
611П	140—147	Известняк полосчатый, брекчированный, мелкозернистый, трещиноватый	2,70	760	8,48	140	224	8,68	0,55	9,75	VI
611П	147	Известняк полосчатый, мелкозернистый, плотный	2,70	951	8,60	99	159	7,40	0,70	11	VII
798ПГ	56—69	Известняк брекчированный, мелкозернистый, обломки известняка бурого цвета цементированы светлым известняком	3,09	930	8,50	102	164	6,06	0,80	10,2	VII
		Доломит темно-серый, мелкозернистый, трещиноватый	2,78	656	8,0	187	300	12,50	1,0	23,0	IX
		Брекчия сланцево-карбонатная	2,69	593	5,97	84	135	5,0	0,60	6,80	VI
		Сланец серицитовый, окварцованный, темно-серый	2,6	512	5,63	9	15	7,40	0,90	13,5	VII
		Сланец кварц-хлорит-серицитовый плейчатый, зеленого цвета	2,65	522	5,65	9	15	2,59	1,20	8,0	VII
Методика			3	15	29	18	24	1	1	1	I

Таблица 29  
Физико-механические свойства горных пород месторождения Кара-Камар

Скважина	Глубина, м	Геологическое описание горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \times$ $\times 10^{-5}$ , Па	$f$	$P_K \times$ $\times 10^{-7}$ , Па	$P_{шт} \times$ $\times 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	Объединенный показатель $\rho_m$	Категория по $\rho_m$
135	302	Конгломерат мелкогалечный, галька представлена черными кремнями, белым кварцем, мелкозернистыми песчаниками и известняками	2,69	1100	7,93	197	318	16,66	2,20	60	XI
134	385	Гравелит крупнообломочный, обломочный материал представлен кремнями черного и зеленого цвета, белым кварцем, тонкозернистым песчаником, известняками	2,64	1084	7,82	131	210	10,0	1,80	35	IX
135, 134	310, 388	Песчаник среднезернистый, прокварцованный	2,67	1696	10,68	236	378	13,38	1,70	39	X
135	237	Алевролиты тонкозернистые, хлоритизированные	2,73	691	7,0	21	35	9,09	1,0	17	VIII
59	443	Известняк окварцованный скрытокристаллический, с кальцитовыми прожилками	2,68	751	7,4	106	171	11,11	1,0	20	VIII
134	391	Кремнистая брекчированная порода, окварцованная	2,85	—	—	—	—	7,40	1,95	29	IX
59	405	Брекчия кварц-кремнистого состава	2,67	—	—	—	—	7,14	1,80	25	IX
135	300	Сланцы углисто-глинистые с линзовидными обломками мелкозернистых полимиктовых песчаников	2,73	321	4,60	9	15	8,0	1,0	15,1	VII
Методика			3	15	29	18	24	1	1	1	1

гломераты, песчаники и гравелиты. Эти породы также более абразивны. В данную группу по абразивности следует отнести брекчию кварц-кремнистого состава и окварцованную брекчированную породу.

#### § 4. МЕТАМОРФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД

##### Железорудные месторождения Кривой Рог и КМА

Большое место в этой группе месторождений занимают Кривой Рог и КМА. Породы данных регионов изучались с различными целями, поэтому сведения о них встречаются во многих источниках, освещающих этот вопрос в соответствии с поставленной целью.

Таблица 30  
Значения прочности горных пород и руд  
Большого Кривого Рога

Горные породы и руды	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$
Мартитовые роговики и джеспилиты . . . . .	2591	—	—
	⊥ 2887	10,00	0,21
Магнетитовые и мартит-магнетитовые роговики . . . . .	2601	8,87	0,20
	⊥ 2479	9,18	0,21
Мартитовая руда весьма крепкая плотная . . . . .	2336	11,93	0,30
	⊥ 2264	16,32	0,40
Амфиболиты . . . . .	1928	9,79	0,20
Микроклин-плагноклазовые и микроклиновые граниты . . . . .	1683	7,06	0,21
Аркозовые метапесчаники . . . . .	⊥ 1316	2,30	0,16
Мигматиты . . . . .	⊥ 1224	1,80	0,26
Амфиболовые гнейсы . . . . .	⊥ 1122	1,90	0,24
Силикатные роговики . . . . .	⊥ 1122	—	—
Филлиты . . . . .	⊥ 1081	7,14	0,26
Биотитовые гнейсы . . . . .	⊥ 1061	1,20	0,25
Графит-серицит-кварцевые сланцы	⊥ 1448	6,00	0,33
Хлорит-аспидные сланцы . . . . .	847	7,73	0,17
	745	5,51	0,30
Карбонатные породы с биотитом и амфиболом (до 15—20%) . . . . .	⊥ 612	2,86	0,14
	683	1,36	0,24
Мартитовые руды пористые . . . . .	⊥ 561	0,80	0,33
Карбонат-хлорит-талковые сланцы	⊥ 235	1,02	0,23
Методика . . . . .	15	11	11

⊥ — испытание перпендикулярно к слоистости;  
|| — то же, параллельно слоистости

Таблица 31

## Значения жесткости горных пород Большого Кривого Рога

Группа жесткости	Горные породы и руды	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$
Весьма высокая	Мартитовые руды плотные	5,80	16,30	0,30
	Мартитовые руды и джеспилиты	4,60 4,13	11,93 10,00	0,40 0,21
Высокая	Амфиболиты	4,08	9,80	0,20
	Магнетитовые и мартит-магнетитовые роговики	3,77	9,18	0,17
	Микроклин-плагиоклазовые и микроклиновые граниты	3,67 3,37	8,75 6,92	0,30 0,21
	Графит-серицит-кварцевые сланцы	3,26	7,73	0,17
Средняя	Филлиты	2,86	7,10	0,26
	Мартитовые руды пористые	2,73	6,89	0,33
	Графит-серицит-кварцевые сланцы	2,24	5,90	0,33
	Хлорит-серицитовые сланцы	2,14	5,42	0,30
Низкая		1,22	2,80	0,14
	Аркозовые метапесчаники	1,12	2,25	0,16
	Амфиболовые гнейсы	0,76	1,86	0,24
	Мигматиты	0,71	1,75	0,26
	Карбонатные породы с амфиболом и биотитом	0,50	1,33	0,24
	Биотитовые гнейсы	0,48	1,19	0,25
Методика	Хлорит-тальковые сланцы	0,41	1,02	0,23
		11	11	11

В работе Г. В. Тохтуева [77] породы Кривого Рога изучались в связи с формированием рудоконтролирующих структур и локализацией железных руд докембрия на Украине (табл. 30).

В табл. 30 породы расположены в убывающем порядке значений временного сопротивления пород сжатию, в основном в направлении, перпендикулярном к напластованию. Из таблицы видно, что другие показатели (динамический модуль упругости и коэффициент Пуассона не повторяют этого порядка).

В другом примере (табл. 31) дан ряд пород большого Кривого Рога по значению жесткости. Последовательность изменения жесткости пород установлена по значению модуля сдвига. По другим параметрам эта последовательность нарушается.

В группу пород весьма высокой жесткости вошли плотные мартитовые руды, джеспилиты и амфиболиты. Высокую жесткость имеют железистые роговики, граниты и кристаллические (аспидные) сланцы.

В третьей группе объединены породы средней жесткости типа филлитов, пористых мартитовых руд и метапесчаников со значительным содержанием серицита.

Таблица 32

Физико-механические свойства горных пород  
и руд месторождений Кривого Рога (Южный горно-обогатительный комбинат)

Группа пород и руд по крепости	Подгруп- пы	Порода	$P_{эф}, \%$	$\gamma \cdot 10^{-3},$ кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_p \cdot 10^{-5},$ Па	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5},$ Па	$\tau_{ср} \cdot 10^{-5},$ Па	$D, \text{см}^3$	$E \cdot 10^{-10},$ Па	$\mu$
А. Весьма крепкие	1	Магнетит-мартитовые и магнетит-мартитовые и мартитовые тонкополосчатые роговики очень плотные	2,1	3,51	$\frac{187}{74}$	$\frac{3070}{2998}$	$\frac{602}{469}$	1,81	$\frac{12,81}{13,49}$	$\frac{0,18}{0,21}$
Б. Крепкие	1	Тонкополосчатые гематит-магнетитовые роговики	0,2	3,75	$\frac{152}{67}$	$\frac{2591}{3142}$	$\frac{510}{469}$	1,99	$\frac{12,81}{13,16}$	$\frac{0,16}{0,18}$
	2	Тонко- и неяснополосчатые магнетитовые роговики	0,3	3,58	$\frac{147}{88}$	$\frac{2723}{2856}$	$\frac{510}{469}$		2,61	$\frac{12,60}{12,60}$
В. Средней крепости	1	Средне- и широкополосчатые роговики	0,3	3,66	$\frac{130}{70}$	$\frac{2530}{2703}$	$\frac{459}{428}$	3,12	$\frac{11,61}{12,19}$	$\frac{0,18}{0,20}$

Группа пород и руд по крепости	Подгруп- пы	Порода	$R_{эф}, \%$	$\gamma \cdot 10^{-3},$ кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_p \cdot 10^{-5},$ Па	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5},$ Па	$\tau_{ср} \cdot 10^{-5},$ Па	$D, \text{см}^3$	$E \cdot 10^{-10},$ Па	$\mu$
	2	Тонко- и среднеполосчатые карбонатно-магнетитовые и силикатно-карбонатно-магнетитовые роговики	0,3	3,43	$\frac{132}{8}$	$\frac{2356}{2468}$	$\frac{459}{416}$	3,16	$\frac{9,70}{9,60}$	$\frac{0,21}{0,24}$
	3	Средне- и широкополосчатые магнетит-силикатно-карбонатные роговики, некондиционные	0,3	3,34	$\frac{134}{70}$	$\frac{2458}{2774}$	$\frac{479}{438}$	3,32	$\frac{10,00}{10,40}$	$\frac{0,24}{0,25}$
Г. Низкой крепости		Кварц-биотит-хлоритовые и кварц-хлорит-амфиболовые сланцы	0,4	3,22	$\frac{110}{57}$	$\frac{1530}{1550}$	$\frac{316}{265}$	2,34	$\frac{7,34}{8,26}$	$\frac{0,20}{0,21}$
Д. Весьма низкой крепости		Средне- и широкополосчатые лимонит-маритовые и маритовые роговики пористые	11,0	3,10	$\frac{42}{13}$	$\frac{775}{908}$	$\frac{153}{122}$	4,95	$\frac{4,92}{5,43}$	0,26
Методика			3	3	15	15	15	23	11	11

В числителе указаны значения параметров, определявшиеся перпендикулярно к слоистости, в знаменателе — параллельно слоистости.

Таблица 33  
Механические свойства пород Кривого Рога

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Песчаник среднезернистый, полимиктовый . . . . .	3	10,53—15,38	1,34—2,38	36—46	X
		13,4	1,72	39	
Песчаник мартитовый, сливной . . . . .	1	25,0	2,4	90	XII
		10,0	2,86	55	
Конгломераты крепкие . . . . .	1	20—29	0,72—1,82	11—60	VIII
		12	1,25	26	
Сланцы магнетит-силикатные, кварцсерицит-хлорит-биотитовые . . . . .	8	8,3—16,7	2,48—2,93	51,5—80,0	XI
		13,5	2,76	66	
Кварциты безрудные . . . . .	3	22,2—25,0	2,37—2,42	80—90	XII
		23,6	2,39	85	
Джеспилиты мартитовые . . . . .	2	6,45—28,6	0,92—2,83	32—100	XI
		18,8	2,04	61	
Роговики силикатно-магнетитовые . . . . .	19	8,3—28,6	1,85—2,92	40—112	XI
		17,48	2,25	66	
Роговики мартитовые, иногда с магнетитом . . . . .	16	13,3—22,2	1,18—1,23	30—42	IX—X
		17,8	1,20	36	
Роговики безрудные . . . . .	2	11,1—16,7	1,32—2,83	34—52	X
		14,4	2,01	49	
Карбонато-кварцевая порода . . . . .	3	25,0	2,5	90	XII
Руда мартитовая, крепкая . . . . .	1				

Таблица 34  
Физико-механические свойства горных пород Белозерского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Серые граниты и мигматиты среднезернистые или с реликтовой полосчатостью . . . . .	7	6,06—11,76	1,97—2,35	25—52	IX—X
		9,38	2,11	37	X
Гнейсы биотитовые, гранитизированные, слаботрещиноватые . . . . .	9	4,54—13,33	0,6—2,21	17—37	VIII—X
		9,38	1,27	23	IX
Гнейсы гранат-биотитовые гранитизированные, слоистые . . . . .	6	8,34—10,00	1,52—2,05	24—33	IX
		8,86	1,70	30	
Сланцы кварц-хлоритовые с магнетитом	6	18,18—22,23	0,67—0,85	23—29	IX
		19,15	0,74	25	
Сланцы кварц-хлоритовые окисленные с прожилками сливного кварца (мощность прослоев 1—5 см) . . . . .	5	7,41—14,28	0,32—1,55	6,4—32	V—IX
		10,14	0,79	20	VIII
Кварц-серицитовые слаботрещиноватые породы (по кератофирам) . . . . .	4	4,45—5,71	1,4—1,45	14—16	VIII
		5,04	1,42	15	
Кварциты амфибол-магнетитовые мелкозернистые тонкополосчатые, слоистые . . . . .	9	16,67—20,00	1,92—2,07	55—67	XI
		17,93	1,98	60	
Кварциты магнетит-биотитовые, гранитизированные, малорудные, трещиноватые . . . . .	9	9,09—14,28	1,8—2,15	36—60	X—XI
		13,03	2,02	48	X

Кварциты амфибол-магнетитовые среднезернистые, слоистые, полосчатые . . . . .	6	8,69—12,50	2,00—2,47	35—56	X—XI
		10,32	2,18	41	X
Кварциты магнетитовые, грубополосчатые слаботрещиноватые . . . . .	10	10,0—16,67	1,9—2,47	38—68	X—XI
		13,25	2,08	49	X
Кварциты магнетитовые тонкополосчатые слаботрещиноватые . . . . .	5	11,12—16,67	1,4—1,87	34—42	X
		13,22	1,66	38	
Кварциты мартит-дисперсно-гематитовые грубо- и среднеслоистые, сильно трещиноватые . . . . .	9	11,12—28,58	2,1—2,7	48—90	X—XII
		14,73	2,32	59	XI
Кварциты дисперсно-гематит-мартитовые грубослоистые, трещиноватые . . . . .	8	5,0—18,18	1,03—2,53	21—66	VIII—XI
		10,29	2,0	40	X
Кварциты мартит-дисперсно-гематитовые средне- и тонкослоистые . . . . .	7	11,12—20,0	1,87—2,20	38—74	X—XI
		15,77	2,05	59	XI
Руда мартит-дисперсно-гематитовая . . . . .	7	5,40—33,34	0,65—1,35	15—40	VIII—X
		18,27	1,07	30	IX
Сланцы магнетит-силикатные, кварц-серицит-хлорит-биотитовые . . . . .	8	20,0—29,0	0,72—1,82	11—60	VII—XI
		12,0	1,25	26	IX
Джеспилиты мартитовые . . . . .	2	22,2—25,0	2,37—2,42	80—90	XII
		23,6	2,39	85	
Кварциты безрудные . . . . .	3	8,3—16,7	2,48—2,93	51,5—80,0	XI
		13,5	2,76	66	

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Роговики силикатно-магнетитовые . . . . .	19	$\frac{6,45-28,6}{18,8}$	$\frac{0,92-2,83}{2,04}$	$\frac{32-100}{61}$	$\frac{X-XII}{XI}$
Роговики мартитовые, иногда с магнетитом . . . . .	16	$\frac{8,3-28,6}{17,48}$	$\frac{1,85-2,92}{2,25}$	$\frac{40-112}{66}$	$\frac{X-XII}{XI}$
Роговики безрудные . . . . .	2	$\frac{13,3-22,2}{17,8}$	$\frac{1,18-1,23}{1,20}$	$\frac{30-42}{36}$	$\frac{IX-X}{IX-X}$
Карбонатно-кварцевая порода . . . . .	3	$\frac{11,1-16,7}{14,4}$	$\frac{1,32-2,83}{2,01}$	$\frac{34-52}{49}$	$\frac{X-XI}{X}$
Руда мартит-гематитовая . . . . .	6	$\frac{28,58-5,40}{18,75}$	$\frac{1,3-0,65}{1,12}$	$\frac{15-44}{31}$	$\frac{VIII-X}{IX}$
Серпентинит . . . . .	9	$\frac{13,33-7,14}{8,31}$	$\frac{1,65-1,50}{1,61}$	$\frac{21-38}{28}$	$\frac{VIII-IX}{IX}$
Методика . . . . .		1	1	1	1

Четвертая группа характеризует породы низкой жесткости. В нее входят гнейсы, карбонатные породы и хлорит-тальковые сланцы.

Представляют интерес данные по физико-механическим свойствам горных пород и руд Южного горнообогатительного комбината [3].

В табл. 32 породы разделены на весьма крепкие, крепкие, средней крепости, низкой крепости и весьма низкой крепости. Указанная последовательность в общем подтверждается эффективной пористостью, плотностью и значениями временного сопротивления пород растяжению и сжатию, а также показателями дробимости пород. Значения модуля упругости и коэффициента Пуассона в этом отношении менее характерны.

Обращено внимание на показатели сопротивления пород одноосному сжатию параллельно слоистости, которые в данном случае выше, чем сопротивление их перпендикулярно к слоистости, что является исключением. Обычно же наблюдается обратное явление.

В связи с исследованием буримости горных пород некоторых месторождений железа были определены их физико-механические свойства по ОСТ 41-89-74 [48].

В табл. 33 приведены параметры механических свойств пород, установленных по образцам из разных месторождений Кривого Рога.

### Белозерское месторождение

Результаты определения динамической прочности ( $F_d$ ), абразивности ( $K_{абр}$ ), объединенного показателя ( $\rho_M$ ) и категорий буримости приведены в табл. 34.

Таблица 35

### Физико-механические свойства горных пород Стойленского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Сланец биотитовый . . . . .	3	8,9—11,8	0,68—1,55	12—30	VII—IX
		10,9	1,07	21	VIII
Кварцит амфибол-магнетитовый	10	8,0—16,16	2,25—2,83	38—65	X—XI
		11,84	2,62	54	XI
Кварцит амфибол-магнетитовый с железной слюдой . . . . .	15	7,14—20,0	1,65—2,90	32—75	IX—XI
		13,88	2,35	55	X
Сульфидная руда (лебединит) . . . . .	1	9,52	1,45	25	IX
Методика . . . . .		1	1	1	1

Т а б л и ц а 36

Физико-механические свойства горных пород  
Ново-Оскольского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Диоритовый порфирит . . .	1	22,22	2,03	65	11
Пегматит . . .	1	14,28	2,25	55	10
Амфиболит . .	1	15,38	1,00	26	9
Гнейс . . . .	1	13,33	1,70	38	10
Кварциты магнетитовые, амфибол-магнетитовые	6	$\frac{22,22-50}{33,18}$	$\frac{1,32-2,78}{1,84}$	$\frac{65-140}{82}$	$\frac{11-12}{12}$
Сланец кварц-магнетитовый . .	1	28,57	1,85	80	12
Методика . . . .		1	1	1	1

Обращают на себя внимание железистые кварциты, которые являются наиболее прочными и абразивными и относятся к X—XII категориям по буримости, установленным на основе объединенного показателя  $\rho_M$ .

*Стойленское, Ново-Оскольское  
и Лебединское месторождения*

Физико-механические свойства пород и руд указанных месторождений приведены в табл. 35, 36 и 37.

Т а б л и ц а 37

Физико-механические свойства горных пород  
Лебединского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Микродиорит .	1	22,22	1,28	45	X
Порфирит . .	1	16,66	0,88	24	IX
Песчаник кварцитовидный . . . .	2	$\frac{7,79-9,52}{8,66}$	$\frac{2,25-2,50}{2,38}$	$\frac{38-40}{39}$	X
Кварцит амфибол-магнетитовый мелко-среднезернистый . . . .	7	$\frac{18,19-40}{25,56}$	$\frac{2,78-1,65}{1,93}$	$\frac{58-80}{67}$	$\frac{XI-XII}{XI}$
Методика . . . .		1	1	1	1

Таблица 38

Физико-механические свойства горных пород  
месторождения Мурунтау

Порода	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$F_d$	$K_{абр}$	Объединенное значение РМ
Габбро-диорит . . .	1	—	—	—	16,7	1,45	40
Сиепито-диорит . . .	1	—	—	—	12,5	2,20	45
Гранит . . . . .	2	—	—	—	13,3	2,70	60
» . . . . .	1	—	—	—	10,0	2,45	45
Конгломерат . . . .	1	—	—	—	9,1	1,68	28
Кварцевый песчан- ник . . . . .	1	—	—	—	20,53	1,48	43
Алевролит изменен- ный . . . . .	1	2,24	2,73	0,36	—	—	—
Алевролит . . . . .	1	2,64	2,62	0,76	—	—	—
Алевролит с порфи- робластами биотита	1	2,73	2,70	1,10	—	—	—
То же, с микрокли- ном и биотитом . . .	1	2,63	2,59	1,52	—	—	—
То же . . . . .	8	2,68	2,67	0,37	—	—	—
То же, окварцован- ный . . . . .	1	2,67	2,64	1,12	—	—	—
То же . . . . .	1	2,72	2,56	5,88	—	—	—
То же, ороговико- ванный . . . . .	1	2,66	2,63	1,13	—	—	—
Известняк . . . . .	1	2,95	2,41	18,6	—	—	—
Сланец углистый . .	1	2,71	2,69	0,74	—	—	—
Сланец филлитовид- ный . . . . .	1	2,85	2,83	0,70	—	—	—
» углистый . . . . .	5	2,71	2,69	0,74	—	—	—
Сланец . . . . .	1	2,68	2,63	1,87	—	—	—
» с кварцевы- ми прожилками . . .	1	2,73	2,65	2,93	—	—	—
Сланец . . . . .	—	—	—	—	12,5	2,00	43
» . . . . .	—	—	—	—	15,3	0,80	23
» . . . . .	—	—	—	—	16,7	1,05	27,5
Сланец с гнездами руды . . . . .	—	—	—	—	11,2	1,50	30
То же . . . . .	9	—	—	—	11,2	1,10	22,5
Кремнистая порода	—	—	—	—	18,2	2,00	60
То же . . . . .	—	—	—	—	14,3	2,25	55
То же, с включения- ми кварца . . . . .	—	—	—	—	9,1	2,10	35
То же . . . . .	—	—	—	—	13,3	1,17	27,5
Роговик . . . . .	1	—	—	—	17,9	2,23	62,10
Кварц-микрокли- новый метасоматит	1	2,69	2,66	1,10	—	—	—
То же, с сульфида- ми . . . . .	1	2,72	2,69	1,10	—	—	—

Порода	Число образцов	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$F_d$	$K_{абр}$	Объемное значение $\rho_M$
Кварц-микроклин- новый метасоматит с кварцем . . . . .	6	2,66	2,64	0,75	—	—	—
То же, без кварца	1	2,66	2,65	0,37	—	—	—
Кварцевый метасо- матит с турмалином	1	2,70	2,65	1,85	—	—	—
Сланец с кварце- выми прожилками .	1	2,73	2,65	2,93	—	—	—
Кварц из мощной жилы . . . . .	1	2,64	2,62	0,76	—	—	—
Методика . . . . .	3	3	3	3	1	1	1

## Узбекистан

### Месторождение Мурунтау

В табл. 38 приведены параметры физико-механических свойств некоторых разновидностей пород с использованием экспериментальных данных, выполненных в связи с контрольным определением категорий буримости по ОСТ 41-89—74.

## Южный Казахстан

### Джанатасское месторождение фосфоритов

Продуктивная толща данного месторождения представлена осадочными породами (известняки, доломиты), в различной степени окремненными фосфоритами, фосфорито-кремнистыми сланцами и кремнями. Изверженные породы (диориты) имеют подчиненное распространение. Значения механических свойств пород, установленных по ОСТ 41-89—74, приведены в табл. 39.

Обращают на себя внимание высокие показатели динамической прочности и абразивности фосфорито-кремнистых пород. Кремни являются наиболее абразивными, но их динамическая прочность невысока.

## Забайкалье (Мамско-Чуйская ГРЭ)

Имеющиеся данные по физико-механическим свойствам относятся к пегматитам, гранито-гнейсам, диопсизитам и измененным породам (табл. 40). Как видно из приведенной таблицы, породы ха-

Таблица 39

## Физико-механические свойства горных пород Джантасского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Диорит мелкокристаллический, плотный	3	6,7—7,7	0,98—2,85	15—44	8—10
		7,4	1,75	26	9
Известняк глинистый, выветрелый, мелкозернистый . . .	7	2,0—2,9	0,9—2,43	2,9—14	4—7
		2,3	1,31	8	6
То же, слабо зеленоватый, массивный	5	11,0—20,0	1,25—1,75	32—45	9—10
		14,3	1,57	38	10
Доломит кремнистый, серый, плотный, мелкозернистый . . .	7	12,5—20,0	1,05—2,72	32—65	9—11
		17,1	1,57	41	10
То же, песчанистый, мелкозернистый	12	4,1—20,0	0,50—2,4	7—50	6—10
		10,14	1,24	25	9
Фосфатно-кремнистый, сланец тонкозернистый . . . . .	10	10,1—20,0	1,40—2,50	41—75	10—11
		16,05	2,12	59	11
Фосфатно-кремнистая порода, мелкозернистая . . . . .	5	9,5—20,0	1,53—2,55	45—67	10—11
		15,5	2,17	55	10
Фосфатно-карбонатная порода . . . . .	3	9,1—16,7	1,87—2,60	48—67	10—11
		13,7	2,23	55	11
Фосфорит кремнистый, черный . . . . .	7	6,45—15,0	2,27—3,20	32—60	9—11
		10,7	2,65	44	10
Кремень серый, плотный, массивный	7	6,0—10,5	2,45—3,60	34—57	10—11
		7,3	2,91	44	10
Фосфорит темно-серый, полосчатый . . . . .		8,3	23,3	38	10
Методика . . . . .		1	1	1	1

Таблица 40

## Физико-механические свойства горных пород Забайкалья

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Пегматит . . .	7	1,92—4,44	2,32—2,80	12—27,5	VII—IX
		3,04	2,59	19	VIII
Гнейс мусковит-биотитовый . . . . .	2	1,38—1,39	2,25—2,30	8,5—8,8	VII
		1,38	2,28	8,7	
Гранито-гнейс . . .	4	6,89—4,44	2,25—2,78	23—40	IX—X
		5,86	2,47	32	IX
Гнейс . . . . .	10	2,50—6,06	2,07—2,63	15,5—33	VIII—IX
		4,43	2,13	23	
Диопсизит . . .	1	5,27	1,55	17,5	VIII
Окварцованные и измененные породы	2	6,06—12,50	2,20—2,40	31,5—50,0	IX—X
		9,28	2,30	41	X
Методика . . .		1	1	1	1

характеризуются низкими значениями динамической прочности и сравнительно высокими значениями абразивности. Категория буримости по  $\rho_m$  = VII—X.

## § 5. КОМПЛЕКС ОСНОВНЫХ И УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД

### Урал

#### Гусевогорское месторождение титаномагнетита

Имеющиеся сведения по физико-механическим свойствам пород данного месторождения [78] касаются их прочности (табл. 41).

Механическая прочность пород невысока ( $500—900$ )· $10^5$ , Па, но встречаются разности пород (плагноклазиты и тонкозернистые пироксениты), у которых предел прочности на сжатие до ( $1250—1500$ )· $10^5$ , Па.

Таблица 41

**Физико-механические свойства пород Гусевогорского  
титаномагнетитового месторождения**

Генетические различия пород	$f$	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па
<b>Месторождение</b>		
Пироксениты диаллаговые:		
тонкозернистые . . . . .	13,3	1255±235
мелкозернистые . . . . .	11,4	1010±222
среднезернистые . . . . .	10,1	847±144
крупнозернистые . . . . .	8,1	602±108
<b>Главная залежь</b>		
Пироксениты роговообманковые:		
крупнозернистые . . . . .	6,9	653±137
мелко- и среднезернистые . . . . .	10,3	868±139
Пироксениты оливниновые мелко- и сред-		
незернистые . . . . .	8,3	826±173
Плагиоклазиты роговообманковые . . . . .	14,8	1438±417
Верлиты . . . . .	11,2	967±159
Габбро . . . . .	10,5	918±154
Горнблендиты . . . . .	10,1	836±167
<b>Средняя залежь</b>		
Пироксениты выветрелые с бурыми плен-		
ками окислов . . . . .	7,1	494±80
То же, оливниновые мелкозернистые . . . . .	10,2	872±140
То же, оливниновые среднезернистые . . . . .	10,2	852±128
То же, оливниновые крупнозернистые . . . . .	9,9	806±105
То же, диаллаговые мелко- и среднезер-		
нистые . . . . .	10,2	869±204
Верлиты . . . . .	10,2	852±128
Плагиоклазиты . . . . .	15,4	1512±469
Габбро . . . . .	11,5	1040±166
Горнблендиты . . . . .	10,1	816±14
Методика . . . . .	29	15

**Южно-Воронежский кристаллический массив**
*Южно-Воронежское месторождение никеля*

В табл. 42 приведены значения механических свойств пород, установленные по ГОСТ 41-89—74.

Обращает на себя внимание широкий диапазон генетических типов пород, слагающих месторождение и рудное поле в целом. Однако оруденение связано в основном с кристаллическим массивом основных и ультраосновных пород, поэтому рассмотрение физико-

Таблица 42

Физико-механические свойства горных пород  
Южно-Воронежского месторождения никеля

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Перидотит серпентинизированный мелкозернистый . . . . .	13	5,27—20,0	0,45—1,45	6—30	VIII
		13,4	0,81	18	
Пироксенит порфировидный с прожилками плагиоклаза, крупнозернистый . . . . .	12	10,53—18,18	0,67—1,35	16—34	VIII—IX
		11,18	0,96	23	
Горнблендит . . . . .	1	16,67	1,25	35,5	X
Габбро мелко-среднезернистое . . . . .	9	14,29—22,22	0,85—1,90	30—51	X
		16,09	1,40	38	
Диорит мелкозернистый . . . . .	8	8,00—20,0	1,28—2,60	35—50	X
		15,12	1,76	38	
Гранит, плагиогранит мелко-среднезернистый . . . . .	11	2,56—20,0	0,95—2,75	6—76	X
		11,21	2,04	43	
Диабаз (долерит)	1	22,22	0,68	23,5	IX
Базальт . . . . .	1	20,00	1,00	32,0	IX
Аплит . . . . .	1	16,67	1,23	35,5	X
Кварц жильный . . . . .	1	13,33	2,78	65,0	XI
Гнейс графитизированный . . . . .	8	4,44—12,50	0,90—2,35	15—50	IX
		7,66	1,95	29	
Мигматит . . . . .	4	6,89—16,67	1,07—2,18	23—49	X
		12,44	1,66	35	
Роговик полевошпатово-биотит-кварцевый . . . . .	1	6,25	2,55	34,5	X
Серпентинит карбонатизированный хлоритизированный . . . . .	4	7,15—20,0	0,28—0,75	8—12	VII
		12,44	0,49	10	

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Амфиболит . . . . .	1	22,22	0,90	32,5	VIII
Катаклазированные хлорит-амфиболовые, биотит-плагноклазовые породы . . . . .	7	8,7—15,4	0,67—1,45	18—35	IX
		11,65	1,25	26	
Метапесчаник . . . . .	6	1,24—16,67	0,50—2,0	2—45	VIII
		8,65	1,43	24	
Методика . . . . .		1	1	1	1

механических свойств пород данного месторождения с учетом преимущественного развития этих пород является наиболее целесообразным.

## Кавказ

### Месторождение золота

Характеристика физико-механических свойств основных разновидностей рудовмещающих пород (габбро, перидотиты и др.) дана по результатам исследований ЦНИГРИ (табл. 43).

Рудные тела, развитые в габбро, часто прерываются на контакте с перидотитами. Приведенные данные свидетельствуют о том, что перидотиты как более прочные породы могли являться менее благоприятной средой для развития рудовмещающих структур.

Данные по динамической прочности этих пород (см. табл. 43) подтверждают их различие по механическим свойствам. Так, динамическая прочность измененных перидотитов составляет 11,5, а измененных габбро 9,0. Показателем также динамический модуль упругости, который для перидотитов равен 6,18, а для габбро 5,11.

Дополнительным критерием может служить различная твердость этих пород. Судя по данным табл. 6, твердость ультраосновных пород, к которым относятся перидотиты, по всем упомянутым методам (вдавливания штампа, истирания и отскока) ниже у ультраосновных (перидотитов) и выше у основных (габбро). Это в свою очередь указывает на различную хрупкость пород. Породы более высокие по твердости, как правило, более хрупки и благоприятны для трещинообразования.

Для полной характеристики пород рудного поля в табл. 44 приводятся значения их физико-механических свойств [43].

Нетрудно заметить, что породы габбро по сравнению с пироксенитом менее прочны, имеют высокую пористость и коэффициент водонасыщения. Это в свою очередь указывает на большую деформационную способность габбро по сравнению с пироксенитом, близким по составу к перидотиту.

Таблица 43

**Физико-механические свойства горных пород  
одного из месторождений золота**

Показатели	Разности пород				Методика
	Дайка кварцевых лигнитов, вме- щающая золото- рудную минера- лизацию	габбро	перидотит	Лиственная порода вмещаю- щая золоторуд- ную минерализа- цию	
Динамическая прочность $F_d$	8,11	9,00	11,51	7,58	1
Удельное акустическое со- противление $R, \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ . . . . .	0,83	0,11	0,12	0,88	12
Скорость распространения продольных волн $v_p, \text{м/с}$ . . . . .	3250	3670	4270	3060	11
Плотность $\gamma_0 \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$ . . . . .	2,61	3,01	3,04	2,93	3
Объемная масса $\gamma \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$	2,42	2,96	2,97	2,86	3
Эффективная пористость $P_{эф},$ %	7,46	2,0	2,45	3,05	3
Динамический модуль упру- гости $E \cdot 10^{-10}, \text{Па}$ . . . . .	4,49	5,21	6,30	3,35	11

**Кольский полуостров**
*Хибиногорский массив горных пород*

В табл. 45 приведены данные динамической прочности, абразивности, объединенного показателя  $\rho_m$  и категорий буримости пород. Приведенные сведения достаточно представительны и вполне отражают существо генетических типов указанных пород.

Для более полной характеристики вмещающих пород и руд хибиногорских апатитовых месторождений приведены данные по плотности, эффективной пористости, коэффициенту Пуассона, динамическому модулю упругости и модулю сдвига (табл. 46). Обращают на себя внимание деформационные свойства нефелиновых сиенитов и трахитоидных ийолитов и луавритов. Значения коэффициента Пуассона, модулей упругости и сдвига для нефелиновых сиенитов высокие.

По данным В. Н. Титова [74], эти отличия обуславливаются приуроченностью оруденения к трахитоидным ийолитам. В этом случае нефелиновые сиениты как более упругие породы могли экранировать апатитообразующие флюиды, что отчетливо наблюдается на месторождении.

В качестве дополнительного справочного материала в табл. 47 приведены физико-механические свойства основных и ультраосновных горных пород из различных регионов страны.

Таблица 44

Петрографические особенности и физико-механические свойства главных разновидностей осадочных и магматических пород Зодского рудного поля (Армения)

Возраст	Порода	Число определений	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>		$\omega$ (за 45 суток), %	P <sub>общ.</sub> , %	P <sub>эф.</sub> , %	v <sub>p.</sub> , м/с	$\mu$	E $\cdot 10^{-10}$ , Па	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_{ср} \cdot 10^{-5}$ , Па
			$\gamma_0$	$\gamma_1$								
Сенон	Диабазовый порфирит	4	2,82	2,75	0,85	2,48	2,34	5000	0,26	6,04	1187	1375
	Габбро мезократовое	7	2,92	2,85	0,40	2,05	1,15	6300	0,31	8,31	1127	1344
	Габбро-норит	7	3,10	2,99	0,69	3,54	2,06	6300	0,29	9,24	740	613
Нижний сенон	Габбро мезократовое	7	2,79	2,77	0,95	0,73	0,69	6200	0,24	9,21	1974	1873
	Пренит-хлоритовая, апогаббровая	6	2,83	2,73	1,18	3,53	3,22	5200	0,23	6,77	760	818
	Пироксенит	8	3,17	3,16	0,04	0,31	0,13	7400	0,27	14,13	1513	1969

Возраст	Порода	Число оп- ределений	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\omega$ (за 45 суток %)	$P_{общ}$ , %	$P_{эф}$ , %	$v_p$ , м/с	$\mu$	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_{ср} \cdot 10^{-5}$ , Па
Нижний сенон	Гарцбургит	7	2,83	2,80	0,21	1,06	0,60	5500	0,29	6,89	977	1812
	»	7	2,87	2,83	0,15	1,39	0,37	6000	0,33	6,93	1688	2306
	Серпентинит	7	2,72	2,54	2,52	6,62	6,40	4350	0,24	4,15	947	754
	»	7	2,76	2,48	3,97	10,14	9,85	4150	0,27	3,49	798	1118
Верхний сенон	Известняк глинистый	5	2,67	2,46	2,75	7,86	6,77	5700	0,28	5,95	685	970
Палеоген	То же	4	2,77	2,73	0,23	1,44	0,63	6100	0,22	8,64	1005	1153
	Кварцевый плагиопорфир	5	2,72	2,27	5,72	16,54	12,80	4700	0,26	4,18	727	628
Методика			2	2	2	2	2	11	11	11	15	15

Примечание. 1. Срез определяется обжатием по образующей цилиндра. 2. По  $\gamma_0$ ,  $\omega$ ,  $P_{общ}$  и  $P_{эф}$  приведены средние значения.

Таблица 45

**Физико-механические свойства горных пород  
Хибиногорского массива**

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Луаврит . . .	5	4,55—8,33	2,20—2,30	21—38	VIII—X
		6,10	2,26	28	IX
Уртит . . . .	1	6,07	2,40	28	IX
Фойяит . . .	2	3,18—3,92	2,18—2,30	17—19	VIII
		3,55	2,24	18	
Мончикит . .	1	15,4	1,48	38	X
Сиенит нефелиновый мелкозернистый . .	3	5,00—9,09	1,83—2,28	18,5—38,0	VIII—X
		6,80	2,12	32	IX
Гранито-гнейс .	2	4,08—4,35	2,38—2,43	21—22	VIII
		4,21	2,40	22	
Методика . .		1	1	1	1

Характерно отметить, что породы, приведенные в этой таблице, имеют высокие значения плотности (2,75—3,54), скорости продольных волн (5850—8160) и модуля упругости (6,77—20,67). Обращает на себя внимание близость большинства значений указанных свойств, несмотря на различное местоположение месторождений указанных пород. Так, подавляющее количество значений объемной массы колеблется от 3,25 до 3,54 кг/м<sup>3</sup>, общая пористость изменяется от 0,23 до 0,49%, скорость продольных волн от 6700 до 8000 м/с, модуль упругости от 11,90 до 18,18·10<sup>-10</sup>, Па. Это подтверждает мнение о том, что породы одинакового генетического типа должны иметь близкий состав и значения физико-механических свойств независимо от географического положения месторождения.

**§ 6. КОМПЛЕКС ГРАНИТОИДОВ  
И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ  
РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД**
**Средняя Азия**
*Канимансурская ГРЭ*

В табл. 48 приведены физико-механические свойства рудовмещающих пород с объекта разведки указанной экспедиции, установленные тематической партией по технике разведки Таджикского

Таблица 46

## Физико-механические свойства вмещающих пород и руд хибинских апатитовых месторождений

Порода, руда	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$\mu$	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па
Нефелиновые сиениты, хибинит . . . . .	7	2,674—2,997	0,51—0,73	0,30—0,35	6,23—7,29	2,28—3,47
		2,793	0,62	0,32	6,71	2,59
Ловчоррит . . . . .	5	2,751—2,865	0,53—0,76	0,27—0,30	7,35—7,00	2,67—2,86
		2,805	0,63	0,28	7,16	2,74
Трахитоидный ийолит . . . . .	6	2,785—2,896	0,42—0,71	0,22—0,29	4,08—5,39	1,60—2,14
		2,844	0,62	0,27	5,07	2,00
Мелкозернистые ийолиты (тектониты)	5	2,874—3,138	0,19—0,31	0,11—0,22	9,38—10,74	4,04—4,69
		2,758	0,24	0,16	9,96	4,27
Ийолит мелкозернистый из дислоцированной рудной зоны . . . . .	3	2,847—2,921	0,32—0,35	0,05—0,11	4,12—7,34	1,93—3,26
		2,888	0,34	0,08	6,21	2,88
Уртиты массивные . . . . .	7	2,288—2,829	0,44—0,65	0,15—0,22	6,61—8,36	2,72—3,49
		2,514	0,59	0,19	7,74	3,93
Уртит массивный среднезернистый «жильный», крупнозернистый . . . . .	5	2,598—2,962	0,48—0,67	0,27—0,29	6,53—8,46	2,63—3,28
		2,752	0,59	0,28	7,43	2,87
Трахитоидные ийолит-уртиты с признаками перекристаллизации . . . . .	9	2,411—3,411	0,40—0,56	0,22—0,32	8,77—10,71	3,45—4,05
		2,871	0,47	0,26	9,41	3,72

Калишпатизированные породы, нефелиновые сиениты, рихчоррит в лежачем боку ийолит-уртитов . . . . .	8	2,206—2,595	0,48—0,75	0,23—0,32	5,30—7,35	2,01—2,95
		2,468	0,60	0,26	6,70	2,66
Ювит . . . . .	5	2,535—2,988	0,77—1,97	0,26—0,28	5,51—7,08	2,42—2,83
		2,717	1,24	0,26	6,53	2,62
Руды:						
Ийолит мелкозернистый с редкими прожилками апатита . . . . .	4	2,821—2,945	0,38—0,51	0,20—0,23	6,96—8,46	2,89—3,94
		2,881	0,45	0,21	7,31	3,15
Сетчатая (бедная) руда, линзовидно-полосчатая руда . . . . .	7	2,869—3,132	0,30—0,71	0,21—0,24	6,17—9,01	2,44—3,73
		2,945	0,50	0,22	7,44	3,10
Линзовидно-полосчатая руда . . . . .	3	2,885—2,959	0,37—0,48	0,33—0,35	3,30—5,90	1,20—2,25
		2,911	0,43	0,34	4,32	1,61
То же . . . . .	4	2,883—3,202	0,41—0,62	0,25—0,27	4,95—5,87	1,94—2,35
		3,035	0,50	0,26	5,26	2,08
Пятнистая (богатая) руда . . . . .	4	2,800—3,142	0,36—0,52	0,29—0,38	2,22—3,80	0,79—1,40
		2,980	0,43	0,35	3,07	1,16
Апатитовая мономинеральная руда . . . . .	2	3,188—3,295	0,27—0,38	0,39—0,42	2,37—1,73	0,54—0,86
		3,241	0,33	0,41	2,04	0,72
Методика . . . . .	3		3	11	11	11

Таблица 47

Физико-механические свойства наиболее распространенных разновидностей основных и ультраосновных пород различных регионов СССР

Генетические разновидности пород, возраст	Регион, район	Месторождение		Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{\text{общ}}$ , %	$P_{\text{эф}}$ , %	$v_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$\sigma_{\text{сж}} \cdot 10^{-5}$ , Па
Габбро	Аджария			—	—	—	1,76	—	7,86	2,93	0,32	—
Габбро-диабаз	»			—	—	—	1,03	—	8,49	2,90	0,295	—
Габбро-монзонит	»			—	—	—	1,02	—	6,91	2,78	0,245	1510
Лабрадорит	Украина	Карьер рево	Лека-	—	2,75	0,28	—	5850	8,93	—	—	—
»	»	Карьер вино	Голо-	—	2,90	0,46	—	6200	9,33	—	—	—
Габбро	»	Карьер ричи	Косо-	—	3,13	0,23	—	7000	12,14	—	—	—
»	»	Карьер чицы	Смен-	—	2,98	0,12	—	6700	12,39	—	—	—
Пироксенит	Кольский остров	полу-	Монче-Тундра	—	3,29	0,32	—	7330	15,81	—	—	—
То же, жадеит	Оз. Балхаш		То же	—	3,28	0,15	—	8700	18,54	—	—	—
Перидотит	Кольский остров	полу-		—	3,25	0,29	—	7000	16,01	—	—	—
Эклогит порфиритизированный	Полярный Урал			—	3,50	0,49	—	7400	15,45	—	—	—
То же, мелкозернистый	То же			—	3,54	0,22	—	8160	21,60	—	—	—
То же	»			—	3,49	0,33	—	8000	21,08	—	—	—
Габбро (докембрийский)	Украина			2	—	—	0,15	—	12,75	—	0,38	3233
Лабрадорит	»			3	—	—	0,40	—	9,28	—	0,33	2346
Диабаз	»			2	—	—	0,30	—	11,73	—	0,26	3284
Лабрадориты крупнозернистые	Украинский щит			3	2,77	—	0,42	6760	8,40	—	0,34	—
Габбро и диабазы	»	»		3	3,00	—	0,25	6740	10,85	—	0,28	—
То же	Балтийский щит			2	3,19	—	0,40	—	11,93	—	—	—
Методика				2	2	2	2	11	11	11	11	15

Таблица 48

Физико-механические свойства горных пород коллекции с объекта разведки Канмансурской ГРЭ

Скважина	Интервал глубины, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$R_{шт} \cdot 10^{-2}$ , Па	$R_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
1093	250	Скарны светло-серого цвета, тонкозернистые, слабохлоритизированные, кальцитизированные, с небольшими гнездами граната, с дендритами окислов марганца, слегка выщелаченные	2,81	1948	14,3	121	10,5	1,80	34	IX
1160	0—8,5	Гранодиориты розовато-бурые с зеленоватым оттенком, слабо хлоритизированные с гнездами и прожилками эпидота, местами окварцованные, мелкозернистые до тонкозернистой структуры, трещиноватые, в трещинах налет лимонита, эпидота, есть окварцевание в виде зерен светло-серого цвета, зерна 5×2 мм	2,76	2785	18,6	97	18,0	2,1	58	XI
1228	35,7—43	Брекчированная порода, состоящая из обломков гранодиорита, хлоритизированная, бурая, альбитизированная, сцементированная серпентином и эпидотом	3,03	1790	13,5	81	18,18	1,3	37	IX
1160	35,2—48	Гранодиориты порфиroidные рогообманковые, мелкозернистые плотные, местами трещиноватые, трещины 1—2 мм выполнены кальцитом, хлоритом, слабо окварцованные	2,70	2285	16,1	111	20,0	1,1	32	IX
1160	48,7—54	Гранодиориты порфиroidные рогообманковые буровато-коричневато-серые с зеленым оттенком, эпидотизированные, местами скарнированные. Порфиroidность представлена таблитчатыми плагноклазами, окварцевание отдельными зернами светло-серого цвета. Роговая обманка представлена таблитчатыми разностями темно-зеленого цвета. Гранодиориты мелкозернистые, плотные, местами трещиноватые	2,90	852	8,0	90	33,7	1,35	13	VII
1033	305,5	Гранодиориты порфиroidные, серые, среднезернистые, интенсивно измененные, хлоритизированные	2,97	2846	18,9	128	33,83	1,0	52	XI
1160	252,8—273	Гранодиориты розовато-серые с буроватым оттенком слабо хлоритизированные, местами эпидотизированные, от мелко до тонкозернистой структуры, местами трещиноватые, трещины 1—2 мм, выполнены хлоритом, эпидотом, с редкорассеянной вкрапленностью пирита	2,69	2224	15,8	39	10,00	1,35	23	IX
1160	183,4—189,7	Гранодиориты нацело скарнированные пироксен-флогопитом, хлоритизированные, эпидотизированные, зеленовато-серого цвета с розоватым оттенком, кальцитизированные, местами ожелезненные, среднезернистые, плотные с рассеянной вкрапленностью мелкозернистого пирита	3,30	1561	12,24	197	9,0	1,3	21	VIII

Скважина	Интервал глубины, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ ,	$\sigma_{\text{сж}} \cdot 10^{-5}$ ,	f	$P_{\text{штг}} \cdot 10^{-7}$ ,	F <sub>A</sub>	K <sub>абр</sub>	ρ <sub>M</sub>	Категория по ρ <sub>M</sub>
			кг/м <sup>3</sup>	Па		Па				
1160	189,7—202	Гранодиориты нацело скарнированные пироксен-флогопитом, хлоритизированные, эпидотизированные, зеленовато-серого цвета с розовым оттенком, кальцитизированные, местами ожелезненные, среднезернистые, плотные, вкрапленность пирита	3,02	1856	13,9	78	10,0	1,3	23	IX
1160	169,7—177,3	Постепенный переход измененных хлоритизированных гранодиоритов в гранодиориты порфиroidные буровато-серые с зеленоватым оттенком, мелкозернистые с вкрапленностью пирита	2,85	1117	9,72	80	18,2	0,85	24	IX
1160	219—226,4	Гранодиориты буровато-красновато-серые с зеленоватым оттенком, слабохлоритизированные, местами эпидотизированные, кальцитизированные, крупнозернистые до мелкозернистых, слабо трещиноватые, рассеянная вкрапленность пирита	2,59	1668	12,8	83	12,5	1,5	32	IX

1160	336,7—364,5	Гранодиориты буровато-розовато-красные с зеленоватым оттенком, хлоритизированные, местами эпидотизированные с тонкими прожилками кальцита от мелко до тонкозернистой структуры, трещиноватые, трещины 1—2 мм выполнены хлоритом, лимонитом с редкорассеянной мелкозернистой вкрапленностью пирита	2,67	1499	11,9	63	15,4	1,3	33	IX
1194	120	Гранодиориты порфиroidные, слабэпидотизированные, среднезернистые	2,67	3173	20,77	226	16,66	2,2	60	XI
1063	224	Гранодиорит среднезернистый	2,65	2686	18,13	228	22,22	1,35	45	X
1228	60—68	Обломки гранодиоритов и эпидотгранатового скарна в зоне дробления, сцементированы кальцитом, хлоритом, наблюдается интенсивное ожелезнение, пиритизация	2,77	2244	15,9	75	16,66	1,35	35	X
		Гранодиорит-порфиры в приконтактной зоне					16,66	1,35	35	X
		Гранодиорит-порфиры с тонкозернистой основной массой и порфиroidными выделениями полевых шпатов и темноцветных минералов					20,0	1,1	36	X
430	396	Липаритовый порфир, основная масса скрытокристаллическая, порфиroidные выделения полевого шпата	2,62	1309	10,78	83	9,27	1,7	28	IX
1228	521—531	Известняк серый, в зоне разлома хлоритизированный, кальцитизированный	2,66	346	4,5	41	8,0	0,7	11	VII

Скважина	Интервал глубины, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$P_{плг} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_D$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
1084	452	Известняк светло-серый, мелкокристаллический, мраморизованный	2,79	959	8,7	58	3,33	0,9	7	VI
		Известняк слабо хлоритизированный					10,0	1,25	22,5	VIII
1194	120	Известняк мраморизованный, слабо серпентинизированный, тонкозернистый	2,57	1602	11,9	44	10,0	0,7	13	VII
1194	342	Известняк мраморизованный, серпентинизированный, гнезда кальцита	2,28	750	7,4	62	10,6	0,6	10,5	VII
1033	94,8—100,4	Известняк серый, местами светло-серый с зеленоватым и розоватым оттенком, мелкозернистый, плотный. Порода окварцована, эпидотизирована и серицитизирована. Редкие мало мощные до 1 мм вертикальные прожилки, выполненные карбонатами розовых оттенков	3,23	816	7,8	60	20,0	1,0	30	IX
1033	63,2—67,6	Известняк мраморизованный светло-серого цвета с розоватым оттенком (за счет лимонитизации основной массы породы) от мелко- до среднезернистой структуры. Порода частично окварцована. Редкие прожилки выполнены кальцитом	2,55	456	4,8	18	8,33	0,9	14	VII

1091	122—128	Гранатовый скарн, тонкозернистый до скрыто кристаллической структуры	3,44	1119	9,71	215	7,4	1,5	20	VIII
1091	122	Карбонат-скарнированная порода (в гранодиоритах) эпидотизированная	3,30	1689	13,0	301	6,66	2,4	31	IX
1070	60	Гранатовый скарн мелкозернистый, светло-серый	2,92	—	—	43	2,1	1,4	7,5	VI
1063	24	Гранатовый скарн, развитый по гранодиоритам	2,38	365	2,25	47	3,5	1,4	10,6	VII
		Мелкозернистый гранатовый скарн					15,33	1,3	33	IX
1033	250	Скарны хлорит-эпидотовые по известнякам серого и светло-серого цвета с зеленоватым оттенком мелкозернистой структуры и пятнистой, иногда мелкополосчатой текстуры. Изредка отмечается неравномерная вкрапленность тонкозернистого пирита. Порода окварцована, рассечена разноориентированным под (80°) тонкими (до 1 мм) прожилками карбонатов и редко хлорита	2,47	816	7,8	24	10,0	1,25	22,5	VIII
1033	110	Светло-серая измененная порода, интенсивно окварцованная, слабоперемьятая с обломками розовато-серых гранодиоритов. По трещинам вкрапленность пирита и ожелезнение	3,06	826	7,9	197	25	1,5	55	XI

Скважина	Интервал глубины, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-6}$ , Па	$f$	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
1084	351—362	Измененная окварцованная, скарированная пироксено-гранатовая порода, от светло-серого до коричневого цвета с зеленоватым оттенком от мелко до тонкозернистой структуры, местами хлоритизирована, каолинизирована, вкрапления пирита	3,57	1540	12,1	736	6,45	1,3	16	VIII
1084	205	Окварцованная порода светло-серого цвета, от тонко до среднекристаллической структуры с рассеянными скоплениями мелкозернистого пирита	2,69	2897	19,2	67	10,0	1,3	24	IX
1084	193	Рудная минерализация представлена вкрапленностью, гнездами сфалерита, гнездами и единичными зернами галенита	3,00	1489	11,8	52	15,33	1,3	35	IX
1228	337—339	Сфалерит-магнетитовая руда черного цвета, среднезернистая, трещиноватая, слабо хлоритизированная. Вкрапленность пирита очень тонкорассеянная. Тонкие прожилки кальцита мощностью 0,1 мм	3,7			130	11,8	2,65	53	XI
Методика			3	15	29	24	1	1	1	1

геологического управления в связи с составлением эталонной коллекции по категориям буримости на основе фактических данных по механическим свойствам.

Обращают на себя внимание сравнительно низкие значения твердости гранодиоритов по методу вдавливания штампа и абразивности этих пород. В то же время значения механической прочности по методу одноосного сжатия и динамической прочности по методу толчения достаточно высоки. Эти особенности до некоторой степени объясняются петрографическим составом гранодиоритов. По приведенным данным можно заключить, что эти породы сильно изменены (хлоритизированы, карбонатизированы, эпидотизированы и ожелезнены). Менее измененные разновидности гранодиоритов (обр. 45А и 52А) имеют нормальную твердость и абразивность.

Более полная характеристика физико-механических свойств пород рудного поля приведена в табл. 49.

### *Табашарская ГРП*

В табл. 50 приведены параметры физико-механических свойств горных пород из объектов разведки Табашарской геологоразведочной партии, полученные тематической партией по технике разведки Таджикского геологического управления.

Из описания следует, что породы сильно изменены, о чем свидетельствуют их физические и механические свойства.

### *Месторождение Тулу-Сай*

На этом месторождении были проведены тематической партией по технике разведки Таджикского геологического управления работы по определению физико-механических свойств пород. Результаты приведены в табл. 51.

Граносиениты достаточно прочные, твердые и абразивные. Порфиры имеют более низкие значения твердости и абразивности, за исключением порфиритов андезит-дацитового состава. Диабазы имеют сравнительно высокую твердость и повышенную абразивность. Наибольшую твердость, абразивность и механическую прочность имеет монолитный кварц.

### **Забайкалье, Центральный Казахстан**

#### *Вольфрамовые месторождения штокеркового типа*

Параметры физико-механических свойств некоторых месторождений Забайкалья (Восточно-Забайкальское и др.) приведены в табл. 52.

Результаты определения физико-механических свойств пород одного из месторождений Центрального Казахстана отражены в табл. 53 и на рис. 9. Данные рис. 9 свидетельствуют о том, что интенсивно грейзенизированный гранит, содержащий вольфрамовое оруденение, имеет более высокую пористость, меньший модуль упругости, малую относительную напряженность, меньшую скорость продольных волн, малое акустическое сопротивление и низкую магнитную восприимчивость.

Таблица 49

## Физико-механические свойства гидротермально измененных пород рудного района

Порода и процессы гидротермального изменения	Чис- ло об- разцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$v_p$ , м/с	$\mu$	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па
Кварцевые диориты серицитизированные, пелитизированные с рудными минералами . . . . .	1	2,71—2,76	1,44—2,50	4200—4920	0,11—0,28	4,91—5,39	2,13—2,26
Гранодиориты интенсивно серицитизированные, хлоритизированные . . . . .	2	2,61—2,65	1,32—4,23	4720—5080	0,25—0,35	3,6—5,00	1,80—1,93
Гранодиориты серицитизированные, эпидотизированные, окварцованные и т. д. . . . .	2	2,60—2,70	1,04—2,24	3040—5080	1,15—0,32	2,19—5,72	0,92—2,32
Гранодиориты грейзенизированные, гематизированные . . . . .	2	2,55—2,61	1,62—4,08	5200	0,38	3,88	1,53
Гранодиориты катаклазированные с окварцеванием, хлоритизацией, серицитизацией . . . . .	2	2,53—2,66	2,46—7,40	4440—5240	0,18—0,34	4,8—5,5	2,50—2,60
Граниты серицитизированные, хлоритизированные, эпидотизированные, иногда грейзенизированные, альбитизированные . . . . .	3	2,54—2,60	1,27—3,40	3560—5560	0,20—0,34	3,16—5,30	1,1—2,74
Граниты катаклазированные с окварцеванием, серицитизацией . . . . .	3	2,44—2,59	1,15—7,20	3680—5000	0,25—0,31	2,86—3,24	1,2—2,18
Микродиориты гидротермально-измененные . . . . .	11	2,74	1,59	5080	0,16	6,91	3,01
Гранодиорит-порфиры измененные . . . . .	3	2,61—2,68	1,06—2,06	5000	0,22	5,96	2,57
Аплиты гидротермально-измененные . . . . .	3	2,55—2,58	1,28—1,48	4880—5160	0,16—0,19	5,72—6,6	2,4—2,86
Пегматиты гидротермально-измененные . . . . .	3	2,57	1,76	4920	0,28	5,3	2,13
Гранит-порфиры хлоритизированные, грейзенизированные, слабо окварцованные, карбонатизированные . . . . .	4	2,63—2,67	1,03	4920	0,29	5,00	1,94
Кварцевый порфир и сие-нит-порфир измененный . . . . .	4	2,60—2,67	0,93—2,37	4880—4920	0,19—0,632	4,5—6,01	1,7—2,55
Кварц-баритовая порода . . . . .	2	2,60—2,69	0,44—1,20	4800—5600	0,14—0,20	6,12—7,55	2,55—3,16
Кварц с сульфидными минералами . . . . .	2	2,44—2,77	0,77—7,20	4880—5000	0,26—0,131	3,26—5,27	1,7—2,18
Методика . . . . .	3	3	3	11	11	11	11

Таблица 50

## Классификация горных пород Табашарской ГРП по буримости и крепости

Скважина	Интервал глубины, м	Месторождение, площадь	Геологическое описание горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$F_d$	$R_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
10	23—30	Кариахан	Диориты темно-серые, слабо серицитизированные с тонкими прожилками кальцита, вкрапленниками пирита	2,71	2844	18,91	123	1,0	30	IX
0112	206—207	Алтын-Тепе	Гранодиориты среднезернистые, слабо серицитизированные, хлоритизированные, с прожилками кварца, калишпатизированные	2,60	2393	16,66	166	1,6	40	X
0112	165—167	То же	Гранодиориты среднезернистые, калишпатизированные, лимонитизированные (до 10%), хлоритизированные	2,69	1715	13,07	82	1,55	34,5	X
0112	179—181	»	Гранодиориты среднезернистые, калишпатизированные (50%) плотные, хлоритизированные по трещинам	2,60	1469	11,72	140	2,6	54	XI
0114	170	»	Гранодиориты мелкозернистые, серицитизированные (до 15%), плотные	2,28	2481	17,11	221	1,55	40	X
096	9—10	»	Гранодиориты среднезернистые, плотные, неизменные	2,65	2400	16,68	107	1,9	51	X
637	157—159	»	Гранодиориты среднезернистые, плотные, контакт с кварц-диоритовыми порфирами	2,66	1102	9,60	165	1,1	38	X
7	—	Кариахан	Гранодиориты интенсивно-серицитизированные (до 30%), калишпатизированные, крупнозернистые	2,52	429	6,14	64	1,35	24	IX
479	822—827	Алтын-Тепе	Гранодиориты розовато-серые, среднезернистые, интенсивно калишпатизированные (до 30%) с прожилками гранит-аплитов	2,60	1436	11,53	157	1,8	36	X
201	20—23	Четсу	Гранодиориты среднезернистые, окварцованные (до 30%), слабо серицитизированные	2,61	1029	9,16	189	1,35	35	X
7	150—157	Кариахан	Гранодиориты красные, слабосерицитизированные, хлоритизированные	2,65	1553	12,15	194	1,8	38	X
234	135—140	Северный	Гранодиориты окварцованные (до 40%), окварцевание прожилковое, кварц сливной, белый	2,88	1350	11,04	179	1,35	58	XI
400	70—74	Матренская	Граниты зеленовато-серые, мелкозернистые, серицитизированные (до 80%) с гидроокислами железа	2,58	—	—	84	1,75	—	—
201	20—23	Четсу	Граниты светло-розовые, мелкозернистые, слабо серицитизированные, по трещинам хлоритизированы, с вкрапленниками пирита	2,57	2182	15,57	163	1,50	38	X
10	36—40	Кариахан	Гранодиорит-порфиры, сиреневые, слабо серицитизированные, порфировой структуры	—	—	—	151	1,1	—	—

Скважина	Интервал глубины, м	Месторождения, площадь	Геологическое описание горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$ , %	$P_{сж} \cdot 10^{-7}$ , Па	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
1	115	Терекликан	Гранодиорит-порфиры сургучного цвета, основные массы тонкозернистые, плотные	—	—	—	142	0,9			
19	82—85	Кариахан	Кварцевые порфиры розовые, тонкозернистые, серицитизированные	2,65	1041	9,22	56	1,5	24		IX
208	10—13	Четыу	Кварцевые порфиры светло-розовые, трещиноватые, по трещинам омарганцевание	2,55 2,60	1493 1268	11,83 10,53	164 109	1,7 1,6	45		X
420	220—221	Талды-Қан	Диабазовые порфириты темно-зеленые, тонкозернистые с прожилками кальцита	2,65	2391	16,65	158	1,1	30		IX
7	162—168	Кариахан	Песчаники темно-серые с кварцевыми прожилками, тонкозернистые, плотные	2,65	1655	12,52	102	1,5	33		IX
19	202—208	»	Метаморфизованные глинистые сланцы зеленовато-серые	2,74	1486	11,80	42	1,1	11		VII
479	263—266	Алтын-Тепе	Кварц светло-серый сливной с редкими включениями гранодиоритов	3,50	1394	11,30	195	2,15	60		XI
500	285—287	»	Кварц светло-серый сливной, с редкими включениями кальцита, трещиноватый, по трещинам хлоритизация	2,50	3067	20,02	195	1,75	56		XI
Методика				3	15	1	24	1	1		I

Таблица 51

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Тулу-Сай

Скважина	Глубина, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$ , %	$P_{сж} \cdot 10^{-7}$ , Па	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_D$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Шт. 5	15,0	Граносиенит розовато-бурый, мелкозернистый, массивный, с включениями розовых полевых шпатов и редко кварца, значительное количество темноцветных	2,49	1372	11,16	180	290	8,0	2,40	37	X
Шт. 5	26,0	Граносиенит розовый, массивный, тонкозернистый с порфировыми выделениями розового цвета полевых шпатов, очень редко округлой формы серого кварца	2,48 2,48	1668 1520	12,82 11,99	103 166	142 224	11,76 9,88	1,60 2,00	35 36	X
Шт. 5	37,0	Диабаз черного цвета, скрытокристаллический с тончайшими прожилками карбонатов, с включениями темноцветных минералов	3,09	2084	15,05	163	263	16,66	1,60	43	X
Шт. 5	56,0	Диабазовый порфирит зеленовато-серый, тонкозернистый с включениями отдельных вытянутой формы кристаллов полевых шпатов, темноцветных и редко белого цвета кальцитов	2,66	1573	12,20	84	135	10,0	1,05	18	VIII

Скважина	Глубина, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$R_{к \cdot 10^{-7}}$ , Па	$R_{шт \cdot 10^{-7}}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категории по $\rho_m$
Шт. 4	8,0	Порфирит андезито-дацитовый, светло-серый средне- и крупнозернистый, серицитизированный, трещиноватый, лимонитизированный	2,56	836	7,94	43	69	4,44	1,10	11	VII
Поверхность висячего бока жилы	—	Порфирит андезито-дацитовый, среднезернистый, с белыми и розовыми полевошпатами, с включениями серого кварца	2,76	1856	11,00	167	269	11,16	1,10	23	IX
Шт. 4	2,5	Кварц белый, монолитный, с мелкими ксенолитами гранодиоритов, слабо лимонитизированный, по трещинам отдельности с дендритами гидроокислов марганца	2,90	1714	13,08	246	396	5,70	2,10	24	IX
Шт. 4	2,70	Кварц белый монолитный, с мелкими включениями вмещающих пород, с включениями кварца, с окислами на плоскостях трещин	2,91	2060	15,00	192	308	6,66	2,00	25	IX
Методика			3	15	29	18	24	1	1	1	1

Таблица 52

## Физико-механические свойства горных пород месторождений вольфрама

Номер образца	Порода	$F_d$	$v_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$R$ , Па·с/м	$\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па	$\chi_{ср} \cdot 10^{-6}$ , CGSM
Восточно-Забайкальское месторождение							
Ж-1	Гранит	4,4	4178	6,77	1,10	3,64	2483,0
Ж-2	»	4,7	5006	9,90	1,27	6,52	18,0
Ж-3	»	4,4	4625	8,36	1,21	7,41	944,0
Ж-4	Гранит-порфир	8,0	3240	4,20	0,82	1,21	240,0
Ж-5	Мелкозернистый диорит	8,0	4250	6,75	1,16	3,77	3640,0
Ж-6	Гранит	3,3	3807	5,68	0,99	3,02	496,0
Месторождение Берья							
Бр-7	Гранит	—	4143	6,68	1,09	4,46	1433,0
Месторождение Андакачен							
Ал-3 Методика	Гранит	3,9 1	2571 11	2,61 11	0,66 12	1,14 13	466,0 8

*Дарасунское золоторудное месторождение*

По литературным источникам [59, 84] имеется возможность дать представления о некоторых физико-механических свойствах гранитоидов Дарасунского месторождения золота (табл. 54).

*Молибденовые месторождения в Забайкалье*

Исследования физико-механических свойств горных пород проводились по образцам, отобраным на четырех месторождениях в связи с изучением условий локализации оруденения.

**Месторождение I** сложено в основном интрузивными, значительно меньше эффузивными и жильными породами. Месторождение штокверкового типа расположено в приосевой части плутона, в зоне контакта меланократовых интрузивных пород, слагающих западную и центральную части рудного поля, с лейкократовыми гранитами, преимущественно распространенными в его северной и восточной частях. Геологами, изучавшими месторождение (М. С. Бакланов),

## Физико-механические свойства горных пород одного из месторождений вольфрама (Центральный Казахстан)

Номер образца	Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$v_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu_{ср} \cdot 10^{-6}$	$\frac{Pa \cdot c}{m}$ , R	$\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па
Ко-231	Гранит	2,61	2,55	2,30	3433	7,14	0	0,88	3,12
Ко-237	»	2,63	2,59	1,52	3454	7,60	0	0,90	5,00
Ко-244	»	2,64	2,54	3,78	3125	3,92	0	0,85	1,04
Ко-249	Гранит среднезернистый	2,65	2,57	3,02	3550	5,00	0	0,91	1,65
Ко-247	»	2,62	2,54	3,05	2928	3,44	0	0,74	1,12
Ко-218	Гранит слабо грейзенизированный	2,67	2,60	2,62	3461	4,70	0	0,90	1,80
Ко-228	То же	2,71	2,60	4,06	2447	2,35	4,5	0,63	0,57
Ко-232	»	2,76	2,71	1,81	3750	5,29	8,5	1,02	2,94
Ко-229	»	2,72	2,62	3,67	3325	4,30	4,5	0,87	1,17
Ко-223	»	2,71	2,66	1,84	4500	7,76	0	1,20	4,22
Ко-224	Гранит среднезернистый	2,64	2,54	3,78	3400	4,64	5	0,86	1,24
Ко-253 <sub>1</sub>	Гранит	2,74	2,68	2,18	4562	7,92	2,0	1,22	3,63
Ко-253	»	2,73	2,69	1,46	4500	7,68	0	1,21	5,37
Ко-252	»	2,60	2,54	2,31	4055	6,60	0	1,03	2,84
Ко-251	Гранит среднезернистый	2,61	2,56	1,92	4808	9,21	235	1,23	4,79
Ко-233	То же	2,62	2,57	1,91	4176	6,92	0	1,07	3,62
Ко-235	»	2,61	2,56	1,92	3611	5,19	0	0,92	2,70
Ко-217	»	2,28	2,23	2,19	4000	7,31	5	0,89	3,34
Ко-230	Гранит	2,74	2,69	1,82	3416	6,32	6,2	0,91	3,48
Ко-245	»	2,61	2,54	2,68	2635	2,78	0	0,67	1,04
Ко-243	»	2,61	2,57	1,53	4250	7,17	0	1,09	4,68
Ко-246	»	2,62	2,53	3,43	3916	6,18	2,5	0,99	1,81
Ко-240	»	2,59	2,55	1,54	3750	5,62	24	0,96	3,65
Ко-227	»	2,29	2,26	1,31	3800	6,52	10	0,86	4,98
Ко-236	»	2,59	2,55	1,54	4222	7,13	0	1,07	4,63
Ко-221	»	2,63	2,57	2,28	4115	6,72	0	1,06	2,95
Ко-225	Гранит крупнозернистый	2,65	2,59	2,26	3076	3,72	0	0,8	1,65
Ко-254	То же	2,61	2,56	1,92	3759	5,63	50	0,96	2,92
Ко-226	»	2,63	2,58	1,90	2900	1,91	0	0,75	0,98
Ко-222	»	2,62	2,56	2,29	4214	7,08	0	1,08	3,09
Ко-234	»	2,62	2,57	1,91	2937	3,43	0	0,76	1,80
Ко-242	»	2,60	2,54	2,31	3833	5,90	11	0,97	2,55
Ко-241	Эндоконтакт гранитов с липаритовыми порфирами	2,64	2,59	1,89	4100	6,62	4,5	1,06	3,50
Ко-250	Липаритовый порфир	2,67	2,65	0,75	5500	11,64	11	1,46	15,51
Ко-238	То же	2,65	2,62	1,13	4785	8,91	11	1,25	7,88
Ко-248	Рудный грейзен	2,73	2,69	1,46	4708	8,40	14	1,27	5,75
Ко-219	Грейзен	2,65	2,57	3,02	3553	5,00	3	0,91	1,6
	Методика	3	3	3	11	11	8	12	13

Таблица 54

## Физико-механические свойства горных пород Дарасунского золоторудного месторождения

Генетические разности пород	Участок	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-6}$ , CGSM	$J_n \cdot 10^{-6}$ , CGSM	Фактор Q	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %
Габбро-пироксен-роговообманковые	—	16*	1520—8686	717—2300	0,18—0,58	—	—
			6722	1350	0,5		
Габбро и габбро-диабазы	Южный	27	482—4480	82—1840	0,14—1,06	0,65—0,70	2,93—2,99
			1752	568	0,33		
Амфиболиты	Центральный	37	—	—	—	2,84	0,74
Кварцевые диориты, гранодиориты			12—1181	3—1180	0,08—1,26	2,75	0,89
Кварцевые диориты			852	194	0,38	—	—
Гранодиориты	Южный	29	—	—	—	2,67—2,70	0,76
			681—2628	77—430	0,09—0,56	—	—
			1721	272	0,27	—	—
Граносениты и сениты	Центральный		28—10 600	10—59 792	0,15—37,6	2,68	0,96
			3298	4008	2,2		
Граниты	Южный		—	—	—	2,63	1,15
			—	—	—	2,57	2,21
Лейкократовые граниты			105—3250	70—13 814	0,01—26,8	2,63	2,45
			—	—	—		
Гранодиорит-порфиры и плагиогранит-порфиры			1405	3989	5,8	2	2
			8	9	9		
Методика							

\* Число образцов относится только к измерениям магнитных свойств.

Таблица 55

## Физико-механические свойства горных пород месторождения I

Номер образ-ца	Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$v_p$ , м/с	$\omega$ , %	$\sigma_{ск} \cdot 10^{-5}$ , Па	$H_{ист}$	$\kappa_{ср} \cdot 10^{-6}$ , CGSM	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па	Акустическое сопротивление $R$ , $\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$
388	Лейкократовый гранит	2,62	2,51	4,2	—	1,509	83	—	—	—	—	—
393	То же	2,65	2,56	3,4	—	0,583	104	—	—	—	—	—
389	»	2,78	2,68	3,6	3664	0,378	106	700	97 280	3,66	1,02	0,98
392	Диорит роговообманковый	2,75	2,71	1,42	4154	0,556	122	329	—	4,85	3,42	1,12
275	Диорит на контакте с гранитом	2,72	2,64	3,09	3930	0,635	114	299	—	4,18	1,37	1,04
394	Роговик	2,88	2,83	1,76	3930	0,581	140	273	—	4,44	2,53	1,11
391	Гранодиорит (за пределами рудного поля)	2,71	2,56	5,53	3682	0,580	140	454	42 987	3,54	0,93	9,42
387	Габбро-диорит	2,88	2,74	4,86	4037	0,558	139	327	12 162	4,55	0,93	1,11
390	То же	2,90	2,73	5,86	4422	0,458	160	341	78 462	5,44	0,93	1,21
1593	Порфир	2,60	2,52	3,34	3913	0,907	120	481	—	3,98	1,19	0,99
	Методика	3	3	3	11	6	16	25	8	11	13	12

В. Г. Михалев, Ю. Д. Скобелев, М. Ф. Соловьянович, А. В. Семенов), отмечено, что штокверковое молибденовое оруденение развито главным образом в лейкократовых гранитах и почти не распространяется в меланократовые породы их кровли. Экранирующее влияние меланократовых пород, по данным В. Т. Покалова и др., вряд ли было связано с отличием их химического состава от состава лейкократовых гранитов, поскольку в практике изучения молибденовых месторождений имеется много примеров концентрации оруденения в породах среднего и основного состава. Очевидно, экранирующая роль меланократовых пород в рудном процессе на этом месторождении была определена не химическим или минеральным составом этих пород, а их, механическими свойствами. Для подтверждения этого вывода упомянутые выше авторы отобрали штучные образцы разных пород, не затронутых процессами гидротермальных изменений, для изучения их физико-механических свойств. Результаты исследований приведены в табл. 55.

Анализируя данные, приведенные в этой таблице, нетрудно заметить, что лейкократовые граниты обладают наименьшей механической прочностью на скалывание (от 83,0 до  $104,0 \cdot 10^{-5}$ , Па) по сравнению с механической прочностью меланократовых пород ( $136,0—157,0 \cdot 10^{-5}$ , Па). Поэтому лейкократовые граниты являются наиболее благоприятной средой для развития дорудных трещин, чем породы их кровли. Вследствие этого последние явились средой, менее пригодной для рудоносных растворов, и оказали на них экранирующее воздействие. Величина механической прочности субщелочных кварцсодержащих порфиров занимает промежуточное положение. Такое же положение эти породы занимают и по степени концентрации в них оруденения.

**Месторождение II.** В строении рудного поля участвуют габбро-диабазы и порфириты среднего кембрия, прорванные в центральной части разновозрастными интрузиями габбро-диоритов, гранитов, микродиоритов, гранит-порфиров, кварцевых порфиров и диабазовых порфиритов, образующих на поверхности серию крупных и мелких выходов, ориентированных преимущественно в близмеридиональном направлении. Этому главному структурному направлению соответствует зона перекристаллизованных, разгнейсованных в результате динамотермального метаморфизма гранитов и эффузивов, которые вместе с выходами магматических пород подчеркивают существование долгоживущей тектонической зоны.

Зона разгнейсования и рассланцевания пород, возникшая в первый этап метаморфизма, прослеживается в центральной части месторождения в меридиональном направлении и захватывает как граниты, так и эффузивы.

Во второй этап метаморфизма происходит дальнейшее рассланцевание эффузивов, чаще оно развивается по зонам первого этапа, приурочено к контактам эффузивов и гранитов и сопровождается интенсивным образованием мелкочешуйчатого зеленого биотита.

Кроме того, между этими двумя этапами динамотермального метаморфизма рассланцованные граниты были интенсивно калишпатированы.

У геологов, изучавших данное месторождение, возник вопрос о том, почему первый период метаморфизма проявился как на интрузивных (гранитах), так и на эффузивных (диабазы, порфириты) породах, а второй период его сказался лишь на эффузивах.

Таблица 56

## Физико-механические свойства горных пород месторождения II

Номер образца	Порода	Место взятия образца	$P_{эф.}$ %	$\omega$ , %	$\sigma_{ск} \cdot 10^{-5}$ , Па	$H_{ист}$
459	Гранит: неизмененный	За пределами рудного тела	4,04	0,758	73	361
717	среднезернистый слабо измененный	Скв. 9	6,32	0,446	136	704
952	слабо измененный	Скв. 3	8,00	0,743	131	489
466/3	перекристаллизованный	Шт. 3 (рассечка 33)	3,39	0,398	179	832
343	полосчатый микроклинизированный	Скв. 33	3,76	0,291	173	809
233	перекристаллизованный, микроклинизированный	Скв. 47	5,55	0,379	186	990
358	перекристаллизованный и микроклинизированный	Скв. 61	4,15	0,300	153	436
304	Диабаз: неизмененный	За пределами рудного поля	3,02	0,128	267	500
472	полосчатый	Шт. 3 (рассечка 26)	6,02	1,725	137*	123
469	полосчатый	То же, рассечка 40	5,55	0,540	270**	—
861	диабазовый порфирит послерудный	Скв. 14	7,05	0,218	185	225
	Методика		3	6	16	25

\* Вдоль полосчатости.

\*\* Поперек полосчатости.

Логично предположить, что к моменту возникновения первого периода метаморфизма граниты и эффузивные породы имели близкие физико-механические свойства, а к моменту возникновения второго этапа метаморфизма они отличались по своим характеристикам.

С целью выяснения этого вопроса были определены механическая прочность, твердость и другие физико-механические свойства (табл. 56). Этим предположением вполне удовлетворяют данные по твердости пород (средняя твердость малоизмененного гранита 511, диабаза 500).

Типы пород	Число образцов	Пористость аффативная $R_{эф}, \%$	Динамический модуль упругости $E \cdot 10^{-10} \text{ Па}$	Коэффициент относительной напряженности $\eta$	Скорость распространения продольных волн $V_p, \text{ м/с}$	Акустическое сопротивление $R, \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{м}$	Магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-6}$ CGSM
Туфогенная порода липаритового состава, ортогнейсованная	3	1,2 0,75 1,92	9,73 8,74 11,41	7,66	5031 4785-5500	13,14 12,31-14,58	85,6 11 263
Гранит среднезернистый, порфириовидный, неизмененный	3	1,53 1,52 1,54	6,68 5,91 7,45	4,36	3818 3454-4250	9,81 8,95-10,92	8,0 24
Гранит среднезернистый, порфириовидный, грейзенизированный	10	2,13 1,90 2,62	6,04 1,87 7,00	2,36	3599 2900-4214	9,36 7,48-10,79	0,76 1,57
Гранит среднезернистый, порфириовидный, грейзенизированный	8	3,44 2,68 4,05	3,99 2,30 5,06	1,16	3165 2447-3125	5,84 6,36-9,91	2,01
Грейзен кварцевый, кварцево-слюдистый, частично оруденелый	8	2,02 1,46 3,02	5,56 4,91 7,76	3,29	4002 3416-4708	10,40 8,75-12,66	5,4 0 14,0

Рис. 9. Физико-механические свойства рудовмещающих горных пород месторождения вольфрама (Центральный Казахстан)

В результате перекристаллизации и калишпатизации гранитов (первый этап метаморфизма) прочность их на скалывание и твердость по методу истирания значительно возросли (соответственно  $K_{ск} = 173 \cdot 10^{-5}$ , Па и  $H_{ист} = 850$ ). В эффузивах (полосчатых) механическая прочность на скалывание становится меньше вдоль полосчатости ( $137 \cdot 10^{-5}$ , Па) и остается прежней поперек полосчатости ( $270 \cdot 10^{-5}$ , Па). В то же время твердость по методу истирания в них снижается, что и обуславливает, по-видимому, развитие зон метаморфизма второго этапа преимущественно в эффузивах.

Твердость и механическая прочность пород, вероятно, сказались и на последующем предрудном дроблении и распределении оруденения. Граниты в центре месторождения после их перекристаллизации и калишпатизации превратились в жесткий массив, обладающий более высокой твердостью (832—990), механической прочностью ( $175—186 \cdot 10^{-5}$ , Па), малой пористостью (3,39—5,55%) и водонасыщением (0,29—0,39%). Вследствие этого дробление проходило в основном вокруг него. Соответственно кольцеобразно вокруг гранитов расположилось и оруденение.

Указанная геологическая интерпретация результатов испытания физико-механических свойств показывает, что числовые значения твердости и механической прочности исследованных пород могут быть использованы для разрешения поставленных геолого-генетических вопросов. Другие свойства пород, приведенные в табл. 56, так-

же находятся в тесной зависимости от вещественного состава и степени их изменения.

**Месторождение III.** Рудное поле месторождения (по данным А. Г. Евдохина, Б. С. Чернова, В. Г. Кругловой и др.) сложено гранитами среднепалеозойского возраста, прорванными верхнеюрскими эффузивными кварцевыми порфирами (южный массив), поздне-верхнеюрскими гранит-порфирами (центральный массив), кварцевыми порфирами и лампрофирами (дайки).

В 1956 г. Н. А. Хрущов впервые высказал идею о концентрически-зональном строении месторождения, над развитием и обоснованием которой сотрудники партий ВИМС работали в последующий период. В результате этих работ было установлено, что в центральной части месторождения вокруг вытянутого в меридиональном направлении тела гранит-порфиров располагаются сильно раздробленные, калишпатизированные и окварцованные граниты, образуя так называемое «ядро» грубо изометрической формы. Вокруг этого «ядра» расположена «внешняя зона» сильно гидротермально измененных (осветленных), преимущественно серицитизированных гранитов.

К этим породам, в частности, и приурочено рудное тело, представляющее собой штокверк кольцеобразной формы, включающий различно ориентированные кварц-молибденовые жилы и прожилки.

В пределах месторождения наиболее четко проявлена меридиональная тектоническая зона, которая фиксируется телами молодых эффузивных и интрузивных пород, многочисленными брекчиями и четко выраженной системой трещин близмеридионального простирания.

Для месторождения характерно интенсивное проявление околорудных изменений вмещающих пород (в порядке убывающего значения): серицитизация, окварцевание, калишпатизация, березитизация, карбонатизация, хлоритизация, каолинизация.

Основной структурой, контролирующей оруденение, является долгоживущий (заложенный еще в палеозое) меридиональный разлом. Существенную роль для локализации оруденения играла также система дорудных трещин тектонической зоны северо-западного простирания, сопряженной с главным контролирующим разломом.

Большое влияние на морфологию рудного тела оказало внедрение штока гранит-порфиров, сопровождавшееся интенсивным дроблением.

При определении физико-механических свойств околорудных пород учитывался основной структурный признак данного месторождения, а именно: концентрически-зональное строение рудного поля, включающее внешний контур, промышленный контур и ядро.

Краевая часть массива представлена неизменным роговообманково-биотитовым гранитом; внешний контур пород — сильно серицитизированным каолинизированным и трещиноватым гранитом (в контуре этих пород имеется выход кварцевых порфиров с каолинизированными зернами полевых шпатов); промышленный контур — сильно измененными гранитами в результате серицитизации, березитизации и дробления и, наконец, породы ядра — окварцованным и калишпатизированным биотитовым гранитом, включающим шток гранит-порфира среднезернистой порфировой структуры.

В соответствии с этим делением приведены исследования физико-механических свойств пород, характеризующих указанные их разновидности (табл. 57).

Таблица 57  
Физико-механические свойства горных пород  
месторождения III

Показатели	Краявая часть рудного поля	Внешний контур		Промышленный контур	Ядро		Методика
		Граниты	Кварце- вые пор- фиры		Граниты	Гранит- порфиры	
Эффективная пори- стость, $P_{эф}$ , % . . . . .	3,39	10,11	6,46	8,14	5,44	3,07	3
Водонасыщенность $\omega$ , % . . . . .	0,672	5,596	3,97	1,678	1,128	0,823	6
Твердость по мето- ду истирания, $H_{ист}$ 1/см . . . . .	465	9	88	146	1056	520	25
Механическая проч- ность на скалывание, $\sigma_{ск} \cdot 10^{-5}$ , Па . . . . .	61	27	45	51	124	—	16
Скорость распрост- ранения продольных волн, $v_p$ , м/с . . . . .	3400	2475	2829	3108	4041	4219	11
Модуль упругости $E \cdot 10^{-10}$ , Па . . . . .	2,99	1,63	2,01	3,09	5,38	4,58	11
Относительная на- пряженность образца породы $\lambda' \cdot 10^{-10}$ , Па	0,8	0,17	0,30	0,45	0,96	—	14
Усадка при сжатии, $C_f$ , % . . . . .	28,1	37,7	32,6	39,7	33,1	—	14
Относительная пу- стотность $I'_p$ , % . . . . .	4,0	1,0	2,3	1,10	3,29	—	14

Приведенные в таблице показатели увязываются также с характером изменения этих пород; судя по описанию, изменение их связано в основном с дорудными процессами калишпатизации и окварцевания. Этим в значительной степени объясняется то обстоятельство, что породы ядра практически являются безрудными.

Исходя из фактических данных, можно предположительно считать, что наиболее благоприятными значениями физико-механических свойств измененных гранитов, сопутствующих оруденению, являются: пористость в пределах 8—10%, водонасыщение 1,5—5,0%, прочность на скалывание до  $100 \cdot 10^{-5}$ , Па, скорость продольных волн 1500—3000 м/с, коэффициент относительной напряженности до 0,5.

Изучение каменного материала месторождения в раздробленном состоянии дало дополнительные данные, например, усадка при сжа-

тии составляет 34—41%, коэффициент относительной пустотности—около 1,0.

Таким образом, результаты определения физико-механических свойств рудовмещающих горных пород в значительной степени подтверждают сложившееся представление о концентрическом строении данного месторождения.

Измененные граниты, слагающие внешний и промышленный контуры месторождения, отличаются от краевой части и ядра более высокими пористостью и усадкой, меньшими—твердостью, механической прочностью, модулем упругости. Характерные результаты получены и по другим свойствам, приобретающим значение физико-механических индикаторов околорудных пород.

**Месторождение IV.** Рудное поле месторождения (по данным А. Г. Евдохина) приурочено к южному эндоконтакту плутона киммерийского возраста (с жильными дериватами-аплитами и пегматитами), прорванного многочисленной серией дайковых тел. Восточный и юго-восточный фланги плутона граничат с полями развития юрских осадочных образований (песчаники и сланцы с прослоями конгломератов). Основной геологический фон рудного поля образуют биотитовые и биотит-роговообманковые граниты и гранодиориты обычно порфириовидного облика.

Отличительной чертой описываемого месторождения является жильная форма локализации оруденения. Такой характер морфологии рудных тел месторождения обусловлен унаследованным развитием трещинных структур, план которых не меняется на протяжении продолжительного периода.

Таблица 58

**Физико-механические свойства измененных и неизмененных горных пород**

Показатели	Породы		Методика
	измененные (околорудные)	неизмененные и малоизмененные	
Эффективная пористость в массиве, $P_{эф}$ , % . . . . .	4—5	(1,1—3,3)	3
Водонасыщение, $\omega$ , % . . . . .	0,9—1,70	0,6—0,8	6
Скорость распространения продольных волн, $v_p$ , м/с . . . . .	3000—3220	3300—4400	11
Твердость по методу истирания, $H_{ист}$ , 1/см . . . . .	150—200	470—671	25
Магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-6}$ , CGSM . . . . .	140—300	500—27 355	8
Механическая прочность по скальванию $\sigma_{ск} \cdot 10^{-5}$ , Па . . . . .	51—84	97—133	16
Относительная напряженность породы в монолите (в образце), $\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па . . . . .	0,6—1,1	1,3—5,8	14
Усадка при сжатии, $S_f$ , % . . . . .	34—38	30—32	14
Относительная пустотность, $I_p^1$ , % . . . . .	1,5—2,0	2,2—10,7	14

Изучение физико-механических свойств околорудных горных пород данного месторождения показало, что измененные породы по значению этих свойств резко отличаются от неизменных.

Обобщенные результаты исследований физико-механических свойств пород в монолите и в раздробленном состоянии применительно к измененным и малоизмененным породам приведены в табл. 58.

Из табл. 58 видно, что все значения физических и механических свойств измененных (околорудных) пород существенно отличаются от значений указанных свойств для неизменных и малоизмененных пород. Измененные граниты характеризуются большими значениями пористости и усадки, более высоким процентом водонасыщения, меньшими значениями магнитной восприимчивости, твердости, механической прочности и модулем упругости монолита.

## Урал

### Шаташское месторождение цветных металлов [69]

Физико-механические свойства гранитоидов месторождения приведены в табл. 59.

Т а б л и ц а 59

#### Физико-механические свойства горных пород Шаташского месторождения

Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P$ , %	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$
Гранит мелко-зернистый . . . .	2,64	0,8	1670—2162	42—66	5,88	0,143
Гранит средне- и мелкозернистый . .	2,65	0,6	1153	47	4,10	0,124
Методика . . . .	3	5	15	11	11	11

Из табл. 59 видно, что значения указанных свойств близки для обеих разновидностей гранитов.

## Средняя Азия

### Месторождение меднопорфировых руд Дальнее (Узбекская ССР)

В связи с контрольным определением категорий буримости пород месторождения были определены их механические свойства по ОСТ 41-89—74. Результаты определения приведены в табл. 60.

Таблица 60

## Механические свойства горных пород месторождения Дальнее

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория $\rho_M$
Кварцевый сиенит-диорит . .	5	10,64	1,28	22	IX
Диорит . . . . .	2	13,9	1,17	27	IX
Гранодиорит-порфир . . . . .	2	9,8	1,45	27	IX
Методика . . . . .		1	1	1	1

## Северный Кавказ

## Садонское месторождение полиметаллов

В связи с контрольным определением категорий буримости были определены механические свойства пород по ОСТ 41-89—74. Результаты определения приведены в табл. 61.

Таблица 61

## Значения механических свойств пород Садонского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Гранит средне-крупнозернистый . . . . .	3	7,4—20,0	1,33—1,43	20—58	VIII—X
		12,0	1,38	34	IX
Альбитофир . . . . .	3	13,33—25,0	0,65—1,10	24—27,5	IX
		18,33	0,94	26	
Кристаллический сланец . . . . .	4	22,22—33,33	0,8—1,45	35—65	X—XI
		28,17	1,12	45	X
Методика . . . . .		1	1	1	1

## Месторождения рассеянных элементов

В связи с контрольным определением категорий горных пород по буримости по ОСТ 41-89—74 на ряде месторождений рассеянных элементов были определены значения динамической прочности, абразивности, объединенного показателя и категории буримости (табл. 62).

Таблица 62

**Механические свойства горных пород месторождений  
рассеянных элементов**

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
<b>ГРП 37</b>					
Сиенит . . . . .	3	<u>8,0—11,11</u>	<u>2,10—2,65</u>	<u>40—50</u>	X
		9,8	2,62	47	
Гранит . . . . .	17	<u>4,9—9,52</u>	<u>1,90—2,75</u>	<u>20—49,5</u>	X—VIII
		7,23	2,12	30,8	IX
Гнейс . . . . .	10	<u>6,03—12,5</u>	<u>1,60—2,35</u>	<u>23—49,5</u>	IX—X
		8,8	1,91	35,9	
Мигматит . . . . .	6	<u>13,33—5,9</u>	<u>1,88—1,6</u>	<u>43,5—20</u>	X—VIII
		7,8	1,75	27	IX
Альбитит . . . . .	10	<u>5,7—14,3</u>	<u>0,7—2,0</u>	<u>34—15</u>	IX—VIII
		7,67	1,31	22,2	VIII
Альбит-хлоритовая порода . . . . .	2	<u>12,5—13,33</u>	<u>1,08—1,15</u>	<u>22—25</u>	VIII—IX
		12,9	1,12	24	
<b>ГРП 29</b>					
Гранит мелкозернистый плотный	5	<u>5,2—5,8</u>	<u>2,0—2,2</u>	<u>23—25</u>	IX
		5,4	2,1	24,2	
Гнейс амфиболобиотитовый, мелкозернистый, плотный . . . . .	5	<u>0,9—1,6</u>	<u>1,3—1,5</u>	<u>4—5,8</u>	V—IV
		1,14	1,3	4,92	V
Гнейс сильно окварцованный, плотный . . . . .	5	<u>1,9—5,8</u>	<u>1,5—1,9</u>	<u>16—20</u>	VIII
		4,2	1,74	18,8	
Мигматит . . . . .	5	<u>4,8—5,1</u>	<u>1,9—2,0</u>	<u>20—23</u>	VIII—IX
		5,0	1,96	21,2	VIII
<b>ГРП 46</b>					
Гранит крупнозернистый пегматитовидный, окварцованный . . . . .	10	<u>4,0—6,3</u>	<u>1,8—2,2</u>	<u>20—26</u>	VIII—IX
		5,2	1,98	22,2	VIII

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Гранит мелко-среднезернистый с гранатом . . . . .	10	$\frac{5,0-7,4}{6,63}$	$\frac{1,9-2,3}{2,12}$	$\frac{23-32}{27,5}$	IX
Гнейс корднерит-пироксен-биотитовый . . . . .	5	$\frac{6,7-14,2}{10,6}$	$\frac{1,5-2,1}{1,86}$	$\frac{22-50}{34,8}$	
Мигматит . . . . .	10	$\frac{6,1-8,3}{7,2}$	$\frac{1,7-2,1}{1,88}$	$\frac{23-31}{26,7}$	IX

## ГРП 17

Сиенит . . . . .	4	$\frac{6,7-8,3}{7,3}$	$\frac{1,4-2,0}{1,67}$	$\frac{19-33}{25}$	VIII-IX IX
Гранит розовый среднезернистый, слабо трещиноватый . . . . .	5	$\frac{6,1-7,2}{6,76}$	$\frac{1,6-2,3}{1,94}$	$\frac{21-31}{27}$	VIII-IX IX
Гранит мелкозернистый, лейкократовый . . . . .	11	$\frac{6,7-12,5}{7,9}$	$\frac{1,6-2,5}{1,94}$	$\frac{30-50}{36}$	X
Микрогнейс . . . . .	4	$\frac{8,7-10,0}{9,4}$	$\frac{2,0-2,3}{2,25}$	$\frac{37-42}{39}$	X
Мигматит . . . . .	3	$\frac{6,7-8,0}{7,5}$	$\frac{1,6-2,5}{2,0}$	$\frac{25-30}{28}$	IX

## ГРП 51

Сиенит . . . . .	5	$\frac{4,0-8,7}{7,8}$	$\frac{1,1-2,3}{1,74}$	$\frac{17-35}{25}$	VIII-X VIII-IX
Гранит биотитовый мелкозернистый . . . . .	5	$\frac{4,0-8,3}{5,8}$	$\frac{1,7-2,0}{1,9}$	$\frac{19-25}{23}$	VIII-X IX
Граниты порфиروбластические . . . . .	5	$\frac{5,0-9,5}{7,0}$	$\frac{1,4-2,0}{1,8}$	$\frac{22-30}{25}$	VIII-X IX
Гнейс биотитовый . . . . .	5	$\frac{5,9-9,5}{7,5}$	$\frac{1,6-2,7}{2,0}$	$\frac{20-45}{29}$	VIII-X IX

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Альбититы . . .	5	8,3—13,3	1,0—1,5	24—26	IX
		10,3	1,3	24,5	
Катаклазиты . . .	5	11,8—14,3	1,8—2,0	38—50	X
		12,5	1,9	44	
<b>ГРП 12</b>					
Гранит биотит-амфиболовый . . .	3	3,4—4,76	2,55—2,75	22,5—26	IX
		4,11	2,63	24	
Минетта . . . . .	1	9,52	1,60	27,5	IX
Ортофир . . . . .	1	11,11	2,20	44,5	X
<b>ГРП 22</b>					
Граниты среднезернистые — мелкозернистые и крупнозернистые . . .	13	4,4—8,0	1,0—2,20	15—26	IX
		6,1	2,1	25	
Граниты лейкократовые с прожилками кальцита	2	15,3—18,2	1,3—1,6	41—42	X
		16,7	1,45	42	
Граниты выветрелые . . . . .	1	5,0	0,90	11	VII
Песчаник . . . . .	5	4,7—9,1	1,0—1,50	12—27	VIII
		6,3	1,30	17	
Гравелит с обломками кварца, кремнистый . . . . .	1	4,7	2,00	22	VIII
<b>ГРП 102</b>					
Гранит среднезернистый, пегматоидный . . . . .	7	5,7—7,4	2,2—2,8	25—40	X
		6,7	2,4	33	
Сиенит . . . . .	1	10,5	2,0	42	X
Пегматит . . . . .	1	5,5	2,10	24	IX
		6,4—11,2	1,8—2,2	25—42	
Гнейс . . . . .	6	7,9	2,0	32	IX
		8,0—11,1	1,9—2,4	32—43	
Мигматит . . . . .	5	9,0	2,1	37	X
		7,1	2,2	30	
Гранито-гнейс . . . . .	1	7,1	2,2	30	IX
Методика . . . . .		1	1	1	1

## Механические свойства рудовмещающих горных пород

Номер образца	Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
886	Миаскит светло-серый, среднезернистый, массивный, трещиноватый, трещины скалывания неровные, от 70 до 90°, блочность 10—25 см	6	$\frac{2,0-5,7}{3,9}$	$\frac{1,0-2,9}{1,9}$	$\frac{8,2-21,5}{16,13}$	VII
887	Миаскит светло-серый, среднезернистый, блочность 10—23 см, трещины излома 80—90°	3	$\frac{3,0-4,1}{3,7}$	$\frac{1,9-2,6}{2,2}$	$\frac{18,8-19,7}{19,19}$	VIII
888	То же, окварцованный	1	4,3	1,5	14,09	VII
889	Миаскит светло-серый, среднезернистый, блочность 20 см, трещины излома под углом 85°, реже под углом 45°	2	$\frac{3,4-3,8}{3,6}$	$\frac{1,0-2,3}{1,6}$	$\frac{8,1-19,9}{14,0}$	VIII
890	Миаскит с примесью пироксенов, среднезернистый, полнокристаллический, блочность 25 см, излом 85—90°	1	3,1	2,2	16,02	VIII
891	Миаскит серый, крупнозернистый, массивный, блочность неравномерная, трещины идут под углом 40—45° с одной стороны блоков и под углом 60—70° с другой стороны	2	$\frac{2,1-3,0}{2,5}$	$\frac{1,1-1,7}{1,4}$	$\frac{6,7-14,3}{10,58}$	VI
892	То же, блочность 10—12 см	1	3,0	1,7	12,93	VII
893	Миаскит мелкозернистый, блочность 7—8 см, трещины идут под углом 45—50°	7	$\frac{3,0-3,3}{3,1}$	$\frac{1,5-3,6}{2,5}$	$\frac{10,8-29,7}{19,60}$	VIII
894	Миаскит серый, среднезернистый, массивный, блочность 6—7 см	9	$\frac{2,7-5,0}{3,5}$	$\frac{1,0-2,6}{2,3}$	$\frac{7,3-22,0}{19,0}$	VII
895	Миаскит серый, мелкозернистый, массивный, трещиноватый, блочность до 42 см	8	$\frac{2,9-4,8}{3,7}$	$\frac{0,8-2,2}{1,4}$	$\frac{7,4-18,0}{12,84}$	VII
896	Миаскит серый от крупного среднезернистого, блочность 20 см	3	$\frac{2,5-2,9}{2,7}$	$\frac{1,5-2,5}{1,9}$	$\frac{10,1-15,9}{12,25}$	VI
897	Миаскит серовато-розовый, крупнозернистый, содержание биотита неравномерное, сильно дробленный. Блоки 14, 9, 7 см. Наблюдаются пустоты выщелачивания	1	4,0	1,4	12,32	VII

Номер образца	Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
898	Миаскит розовый, переходит в серый, массивный. Блочность равномерная. Размеры 4—6 см и мельче. Трещины частые под углом 80—90°	1	4,0	1,0	9,03	VI
899	Миаскит серый, крупнозернистый, аналогичный вышеописанному, наблюдаются прожилки калиевого полевого шпата, мощность до 7 см и ориентированы под углом 35—40°	1	4,3	2,6	25,22	IX
899	Миаскит розовый, крупнозернистый, массивный, трещиноватый, трещины открытого типа, заполнены гидроокислами железа, ориентировка трещин под углом 40—50°	1	3,1	0,8	5,62	V
900	Миаскит серый, слоистость под углом 35—40°, слаботрещиноватый, блочность неравномерная	1	3,8	2,3	20,6	VIII
901	Миаскит розового цвета, крупнозернистый, массивный	5	$\frac{2,0-6,3}{3,8}$	$\frac{1,1-1,7}{1,6}$	$\frac{8,8-20,6}{13,0}$	VII
902	Миаскит розовый с сероватым оттенком, крупнозернистый, массивный, более плотный	1	2,1	1,3	7,09	VII
903	Миаскит серый с розовым оттенком крупнозернистый, массивный, сильно трещиноватый, затронут выветриванием	1	2,4	1,3	8,0	VI
904	Миаскит розовый с сероватым оттенком, среднекрупнозернистый, массивный, трещиноватый	1	2,6	1,9	12,12	VII
905	Миаскит розовый, крупнозернистый, трещиноватый	1	2,2	2,3	13,39	VII
906	Миаскит серый среднезернистый, массивный	3	2,3	2,2	12,6	VII
	Методика		1	1	1	1

## Южный Урал

### Челябинская ГРЭ, Миасская ГРП

Кафедрой техники разведки Свердловского горного института по договору с Уральским геологическим управлением произведены определения механических свойств рудовмещающих пород месторождения по ОСТ 41-89—74. Результаты определений приведены в табл. 63.

Как видно из таблицы, основная разность пород — миаскиты — аналоги нефелиновых сиенитов, развитых на Урале. Характерной их особенностью является сравнительно низкая динамическая прочность (2,0—6,3). Абразивность этих пород изменяется от умеренной (0,8—1,0) до сильной (2,0—2,5), что, вероятно, объясняется сохранностью породы и различным количеством ортоклаза и нефелина как наиболее твердых минералов.

### Украинский и Балтийский кристаллические массивы

Физико-механические свойства пород с объекта разведки Олевской ГРП (Северо-Западная оконечность Украинского щита) приведены в табл. 64.

Таблица 64

### Механические свойства пород северо-западной части Украинского щита

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Гранит с голубым кварцем . . .	4	5,4—9,1	3,05—3,17	37—53	IX—X
		6,7	3,10	42	IX
Гранит гнейсовидный . . . . .	6	4,8—9,5	2,75—3,33	32—41	VIII—IX
		7,1	3,01	38	IX
Гранит мелкозернистый . . . . .	3	5,7—12,5	3,15—3,36	39—70	IX—X
		10,6	3,25	54	X
Гранит с голубым кварцем грейзенизированный . . .	2	4,8—9,5	2,75—3,05	32—50	IX—X
		7,1	2,9	41	IX
Грейзен серицит-кварцевый . . . . .	2	6,06—7,6	2,38—3,25	30—50	IX—X
		6,83	2,81	40	IX
Методика . . . . .		1	1	1	1

Преобладающие разности пород — граниты. Наибольшим развитием пользуются граниты гнейсовидные, граниты с голубым кварцем и мелкозернистые разности. Подчиненное значение имеют грейзенизированные участки гранитов.

Обращают на себя внимание сравнительно низкие значения динамической прочности и высокие показатели абразивности гранитов. Это вполне объясняется составом пород и их структурой.

Гранит с голубым кварцем состоит из калишпата (60—65%),

Таблица 65

Упругие свойства (средние значения) основных типов горных пород Украинского и Балтийского щитов (по данным Б. П. Беликова)

Тип пород	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$v_p$ , м/с
Украинский щит						
Лабрадориты крупнозернистые	3	2,77	0,42	8,39	0,34	6764
Габбро и диабазы . . . . .	3	3,00	0,25	10,85	0,28	6735
Среднезернистые оснищкие биотитовые гранодиориты . .	4	2,74	0,52	6,94	0,24	5420
Плагиограниты, чарнокиты . .	8	2,73	0,49	6,95	0,22	5332
Граниты биотитовые . . . . .	15	2,66	0,67	6,06	0,20	5980
Мелкозернистые аплитовидные граниты . . . . .	2	2,65	0,42	7,85	0,22	5755
Среднезернистые токовские биотитовые граниты . . . . .	3	2,65	0,56	6,18	0,24	5192
Граниты крупнозернистые с трахитоидной структурой .	4	2,65	0,85	5,56	0,19	4756
Мелкозернистые коростенские граниты . . . . .	3	2,64	0,66	6,50	0,19	5152
Рапакиви . . . . .	4	2,64	0,82	5,99	0,20	4968
Мигматиты . . . . .	3	2,65	0,52	6,02	0,20	4970
Балтийский щит (Карелия и Ленинградская область)						
Габбро и диабазы . . . . .	2	3,19	0,40	11,93	—	—
Щелочные и основные интрузивы Хибин . . . . .	5	2,76	—	5,45	0,26	4857
Среднезернистые биотитовые граниты . . . . .	17	2,70	0,78	6,85	0,25	5465
Мигматиты беломорского комплекса и ладожской формации . . . . .	7	2,61	0,66	7,28	0,17	5355
Методика . . . . .	2	2	2	11	11	11

плагиоклаза (1—15%), кварца (30—35%) и биотита (3—4%). Гранит гнейсовидный содержит 50—60% калишпата, 5—20% плагиоклаза, 25—30% кварца и около 3% биотита.

На показателях динамической прочности, вероятно, сказалось малое количество цветных минералов, представленных биотитом, и хорошо выраженная кристаллическая структура породы. Кроме того, полевые шпаты с хорошо выраженной спайностью уменьшают сопротивление породы динамическим нагрузкам. Значительное количество кварца как наиболее хрупкого минерала также могло уменьшить динамическую прочность гранитов.

В свою очередь преобладающий состав породы (полевые шпаты и кварц) предопределил ее высокую абразивность, так как указан-

ные минералы отличаются сравнительно высокой твердостью (6—7 ед. по шкале Мооса).

Повышенные показатели динамической прочности мелкозернистого гранита можно объяснить структурой, а пониженные показатели абразивности грейзенизированного гранита и грейзена — изменением первоначального состава породы за счет серицитизации полевых шпатов.

Представляет интерес характеристика упругих свойств главных типов изверженных пород, залегающих на Украинском и Балтийском щитах, приведенная в табл. 65 по данным Б. П. Беликова [8].

Среди гранитов Украинского щита по значениям физико-механических свойств выделяются крупнозернистые граниты и граниты рапакиви. Они более пористы, имеют меньший модуль упругости и коэффициент Пуассона. У них также меньше скорость продольных волн.

Интрузивные породы основной магмы (лабрадориты, габбро) и эффузивы (диабазы) более плотны и менее пористы. Они имеют повышенные значения модуля упругости и коэффициента Пуассона. Скорость продольных волн более высокая.

Граниты из Балтийского щита по значениям указанных свойств близки к обычным гранитам из Украинского щита. Габбро и диабазы в свою очередь близки аналогичным породам Украинского щита.

## § 7. ВУЛКАНОГЕННЫЙ И ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

### Средняя Азия

#### *Бургундинское месторождение полиметаллов*

Физико-механические свойства пород Бургундинского месторождения изучались тематической партией техники разведки (ТПТР) Таджикского геологического управления. Результаты приведены в табл. 66. Из таблицы видно, что наиболее прочны на сжатие игнимбриты кварцевых порфиров, диоритовые порфириты, игнимбритоподобные туфы кварцевых порфиров. Динамическая прочность по методу толчения этих пород также высока. Алевролиты песчанистые, хотя и имеют высокое значение динамической прочности на сжатие, но это, вероятно, за счет остаточной деформации и уплотнения породы при испытании.

Для первых трех разностей пород характерны и высокая твердость по методу штампа и контактная прочность, а также абразивность по методу ЦНИГРИ.

Остальные разности пород имеют невысокие механические свойства и категории буримости.

#### *Месторождение Караташ-Котан*

Результаты определения значений физико-механических свойств данного месторождения, выполненные ТПТР Таджикского геологи-

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Бургунда

Скважина	Глубина, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$P_k \cdot 10^{-7}$ , Па	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$f$	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
4	84	Игнимбрилы кварцевых порфиров с обломками алевролитов	2,66	1323	197	317	10,88	11,76	1,60	32	IX
4	287	Туфы кварцевых порфиров игнимбрилоподобные с обломками алевролитов	2,65	1541	257	410	12,14	11,11	1,15	23	IX
4	247	Туфобрекчия кварцевых порфиров с обломками сланцев и алевролитов	2,66	714	173	279	7,15	10,0	1,50	17	VIII
4	147	Конгломераты из галек игнимбрилов, кварцевых порфиров на глинистом цементе	2,61	681	147	243	6,95	8,69	1,30	20	VIII
4	186	Сланцево-алевролитовая брекчия на цементе туфо-кварцевых порфиров	2,64	521	139	223	4,10	10,0	1,10	20	VIII
4	8,0	Розовые аркозовые песчаники, крупнозернистые на кремнистом цементе	2,54	1114	162	261	9,67	6,66	1,75	23	IX

4	116	Песчаники сиреневато-серые, полимиктовые, средне-крупнозернистые	2,66	962	148	239	8,74	8,0	1,40	22	VIII
4	105	Алевролиты песчаные сиреневато-серые, туффитоподобные	2,71	1980	135	217	14,50	11,11	1,30	25	IX
481	20	Известняки атритового горизонта с примесью песчанистого материала	2,64	788	146	238	7,65	16,16	0,70	18	VIII
480	88	Известняк калькаратусового горизонта с фауной брахиопод	2,66	580	102	164	6,25	11,11	0,50	10	VII
		Известняки песчанистого амфиорового горизонта	2,68	1184	168	271	10,08	11,11	1,60	32	IX
480	31	Доломиты ожелезненные амфиорового второго горизонта	2,64	898	150	240	18,34	12,50	0,70	15,1	VII
507	100	Доломиты черные, искристые амфиорового первого горизонта	2,79	611	110	177	6,47	11,11	0,80	16	VIII
Методика			3	15	18	24	29	1	1	1	1

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Караташ-Котан

Скажина	Глубина, м	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , МГ/М <sup>3</sup>	$\sigma_{сж}$ , Па	$f$	$P_{шт}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
16	35,30—361	Порфириды андезит-дацитовые, бурозеленого цвета	2,72	1427	11,45	204	8,0	1,20	17,5	VIII
16	313	То же, бурого цвета, много выделений полевых шпатов розового цвета	2,56	1966	14,46	443	11,11	1,40	26	IX
16	350	То же, бурые с фиолетовым оттенком	2,70	1134	9,81	62	10,0	1,40	24	IX
16	447	То же, темно-серые, плотные с очень редкой вкрапленностью пирита	2,72	1262	10,62	212	10,52	1,25	23	IX
16	88	Туфолавы тонкофлюидальные фельзит-порфириды, трещиноватые, очень слабо хлоритизированные, лимонитизированные, темно-бурого цвета. Породы фельзитового состава	2,53	1770	13,37	186	8,0	1,30	18	VIII
16	124	Туфы и лавобрекчии андезит-дацитовых порфиритов, темно-серого цвета, плотные, хлоритизированные с редкими прожилками кварца и кальцита	2,65	1399	11,72	395	10,0	0,95	16	VIII
16	429	Порфириды андезит-дацитовые, плотные, темно-серого (бурого) цвета, очень мелкие прожилки кальцита	2,72	1546	12,15	282	9,09	1,35	23	IX
16	152	Туфы светло-серые с желтым оттенком, слоистые, хлоритизированные, с очень редкой и мелкой вкрапленностью пирита	2,52	1057	9,29	169	5,0	1,40	15	VII
16	170	Туфы хлоритизированные, среднезернистые, розового цвета	2,49	1489	11,87	151	6,45	1,20	15,5	VIII

16	173	Туфолавы тонкофлюидальные (пестрые буровато-серого цвета)	2,55	983	7,90	188	4,44	1,20	12	VII
16	393	Порфириды андезит-дацитовые, плотные, мелкие прожилки кальцита; слабо-пиритизированная порода серовато-бурого цвета	2,70	1256	10,54	349	10,52	1,19	23	IX
16	43	Туфолавы фельзит-порфириды, плотные буровато-розового цвета, тонкофлюидные, слабохлоритизированные и лимонитизированные, редкие прожилки кварца	2,47	1732	13,16	256	9,52	1,10	18	VIII
16	23	То же, тонкофлюидальные, темно-бурые, очень слабо хлоритизированные, по трещинам омарганцованные	2,52	2080	15,02	421	11,76	1,10	23	IX
16	18	То же, тонкофлюидальные, светло-коричневого цвета, редко тонкие прожилки кварца	2,53	2098	15,12	292	12,50	1,30	27,5	IX
16	29	То же, серовато-бурого цвета слабо лимонитизированные и хлоритизированные	2,44	1978	14,50	378	10,0	0,85	15	VII
16	14	Туфолавы флюидальные буровато-розового цвета	2,56	1790	13,50	361	10,52	1,10	20	VIII
15	447	Туфолавы светло-серого цвета с зеленовато-розовым оттенком, хлоритизированные с вкрапленностью пирита	2,56	1784	13,50	259	10,0	1,20	21	VIII
15	145	Туфы светло-серые хлоритизированные, очень слабо омарганцованные		859	8,10	136	3,57	1,30	11	VII
21	495	Фельзит-порфиры флюидальные, темно-серые	2,62	1974	14,65	255	12,5	1,20	25	IX
1133	136	Кварцевые порфиры светло-розовые	2,50	1441	11,60	294	10,0	1,20	21	VIII
4	53	Лавобрекчии пепельно-серого цвета, хлоритизированные, слегка лимонитизированные, обломки величиной от 0,5 до 4—5 см; преобладают обломки фельзитов	2,42	563	1,84	59	3,84	1,15	10,5	VII
			3	15	29	24	1	1	1	

Таблица 68

Физико-механические свойства и буримость горных пород  
Ленинградского и Зырянского месторождений

Порода	Коэффициент крепости $f$			$P_k \cdot 10^{-7}$ , Па	$f$ по методу толчения	$P_{ш}$	$D$ , см <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па
	по образ- цам пра- вильной формы	по образ- цам непра- вильной формы	среднее значение					
Серицит-хлоритовые и сери- цит-глинистые сланцы . . . . .	4,3	5,5	5,2	28	5,5	24	0,56	439
Серицит-карбонатные средне- зернистые породы . . . . .	7,1	8,2	7,2	50	7,4	44	—	724
Окремненные серицит-хлори- товые сланцы . . . . .	7,7	8,7	8,1	84	11,1	63	0,74	785
Серицит-хлоритовый сланец с сульфидами . . . . .	8,5	8,9	8,7	50	7,8	—	—	867
Серицит-хлоритовый сланец с бедной вкрапленностью суль- фидов . . . . .	8,8	8,9	8,7	72	11,6	55	0,77	898
Слабо окремненный порфи- рит . . . . .	9,5	9,1	8,9	94	14,3	46	0,84	969
Среднезернистые кварц-хло- ритовые сланцы . . . . .	9,6	9,6	9,3	123	9,4	—	—	969

Агломератовые туфы и суль- фидные руды . . . . .	11,5	8,9	9,0	119	10,6	—	—	1173
Богатые сульфидные руды мелкозернистой структуры . . .	12	6,1	8,1	107	10,1	40	—	1224
Окварцованные карбонатизи- рованные микрокварциты . . .	13	9,2	10,2	189	13,6	74	0,68	1326
Среднезернистые порфириты	13,3	10,8	11,5	151	—	—	—	—
Алевриты известковистые	15,2	11,0	11,6	116	11,5	—	0,77	1357
Кварц-баритовые породы . . .	15,8	10,2	12,0	199	12,7	50	0,66	1550
Карбонатизированный оквар- цованный микрокварцит . . . . .	16,5	12	12,8	214	—	64	0,58	1637
Серицитизированный микро- кварцит . . . . .	16,9	11,5	13,6	236	11,5	65	0,8	1703
Окварцованные карбонати- зированные микрокварциты . . .	17,6	10,9	13,4	231	8,2	69	0,49	1795
Роговики . . . . .	18,1	11,3	14,8	208	14,3	—	—	1897
Кварцевый порфир . . . . .	19,7	15,0	16,3	262	15,7	—	0,88	2009
Очень плотные порфириты . . .	21,4	15,2	16,2	299	15,2	62	0,98	2183
Методика . . . . .	29	29	29	18	—	26	23	15

ческого управления в связи с составлением на месторождении эталонной коллекции рудовмещающих пород, приведены в табл. 67.

Обращают на себя внимание туфолавы своей повышенной механической прочностью на сжатие  $[(1770-2098) \cdot 10^{-5}, \text{Па}]$ . Некоторые образцы этих пород показали и повышенную твердость по методу штампа  $[(256-421) \cdot 10^{-7}, \text{Па}]$ . Порфириты, фельзиты и кварцевые порфиры обладают более изменчивыми значениями указанных свойств. Так, прочность на сжатие колеблется от 1134 до  $1966 \cdot 10^{-6}, \text{Па}$ , а твердость от 204 до  $444 \cdot 10^{-7}, \text{Па}$ .

Туфы менее прочны и тверды по сравнению с указанными разновидностями пород, что вполне соответствует их составу и структуре.

## Алтай

Литературные данные [21] и результаты экспериментальных исследований ЦНИГРИ позволяют привести значения физико-механических свойств рудовмещающих пород Лениногорского и Зыряновского месторождений полиметаллов (табл. 68).

Таблица 69

### Пористость пород Зыряновского рудного поля

Порода	Число образцов	Средняя пористость, %	
		$P_{эф}$	$P_{общ}$
Аргиллиты . . . . .	5	1,13	1,89
Лавы кварцевых альбитофинов . . . . .	5	0,48	0,98
Туфы кварцевых альбитофинов . . . . .	7	2,61	3,36
Лавы андезитовых базальтов . . . . .	6	1,17	1,69
Туфы андезит-базальтов . . . . .	5	1,46	1,97
Аргиллиты . . . . .	5	1,44	1,89
Песчанки . . . . .	5	1,07	1,47
Аргиллиты . . . . .	6	1,96	2,26
Лавы базальтов . . . . .	5	1,32	1,48
Туфы . . . . .	5	1,35	1,57
Аргиллиты*:			
неизменные . . . . .	3	1,24	1,71
слабо измененные . . . . .	3	1,90	2,44
сильно измененные . . . . .	3	4,98	6,28
Туфы кварцевых альбитофинов*:			
неизменные . . . . .	3	1,55	2,38
слабо измененные . . . . .	3	2,72	3,33
сильно измененные . . . . .	3	4,17	6,26
Лавы кварцевых альбитофинов*:			
неизменные . . . . .	3	0,44	0,95
слабо измененные . . . . .	3	0,55	1,05
сильно измененные . . . . .	3	0,85	1,50
Методика . . . . .		2	2

\* Изменение пористости в результате серицитизации.

Таблица 70

**Физико-механические свойства горных пород  
Старковского и Зырянского месторождений**

Генетические разности пород	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %	
			$P_{\text{общ}}$	$P_{\text{эф}}$
Старковское месторождение				
Диабаз . . . . .	3	3,14	2,07	1,79
		3,01		
		2,85		
Базальтовый порфирит . . .	2	2,67	3,01	1,32
		2,65		
Дацитовый порфир . . . . .	2	2,68	0,40	1,00
Лавы кислого состава . . . . .		2,63		
Зырянское месторождение				
Лавы базальтового состава . .	5	—	1,48	1,32
Лава андезито-базальтов . . .	6	—	2,69	1,17
Туф андезито-базальтов . . .	5	—	1,46	1,97
Лава кварцевых альбитофиров неизменная . . . . .	3	—	0,95	0,44
Лава кварцевых альбитофиров слабо измененная . . . . .	3	—	1,05	0,55
Лава кварцевых альбитофиров сильно измененная . . . . .	3	—	1,50	0,85
Туф кварцевых альбитофиров неизменный . . . . .	3	—	2,38	1,55
Туф кварцевых альбитофиров слабо измененный . . . . .	3	—	3,33	2,72
Туф кварцевых порфиров силь- но измененный . . . . .	3	—	6,26	4,17
Аргиллиты . . . . .	5	—	1,13	1,89
» . . . . .	5	—	1,89	1,44
» . . . . .	6	—	2,26	1,96
Аргиллиты неизменные . . . . .	3	—	1,71	1,24
» слабо измененные	3	—	2,44	1,90
» сильно измененные	3	—	6,28	4,98
Песчаники . . . . .			1,47	1,07
Методика . . . . .	2	—	5	2

В табл. 68 породы расположены по возрастающим значениям их физико-механических свойств. Как видно из приведенных данных, коэффициент крепости пород ( $f$ ) изменяется по образцам правиль-

Таблица 71

Механические свойства горных пород  
Ленинградского месторождения

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Кварцевый альбитофир . . . .	6	6,89—11,76	0,65—1,70	9,8—28	VI—IX
		9,28	0,93	17	VIII
Туфы кислого состава . . . .	1	8,0	0,40	6,3	V
Алевролит . . . .	5	10,52—18,18	0,30—0,75	6,0—14,5	V—VII
		14,37	0,47	11	VII
Известковистые алевролиты . . . .	4	14,29—15,38	0,10—0,20	2,75—5,2	III—V
		14,83	0,15	3,9	IV
Алевролит с ксенолитами углистого вещества и песчаников . . . .	5	10,0—12,50	0,28—0,43	6,3—9,3	V—VI
		11,54	0,36	7,5	VI
Серицит-кварцевая порода . . . .	3	10,52—20,0	0,15—0,65	3,8—22,5	IV—VII I
		14,93	0,42	15,1	VI
Методика . . . .		1	1	1	1

ной формы — от 4,3 (для серицит-хлоритовых и серицит-глинистых сланцев) до 21,4 (для порфиринов); по образцам неправильной формы — от 5,5 до 15,2; по методу толчения — от 5,5 до 15,2.

Сопротивление сжатию тех же пород колеблется в пределах  $(439—2180) \cdot 10^{-5}$ , Па.

Значения твердости исследованных пород по методу Шора не повторяют последовательности изменения механической прочности на сжатие, динамической прочности по методу толчения.

Наибольшие значения твердости по Шору относятся к окварцованным и карбонатизированным микрокварцитам, имеющим невысокое сопротивление сжатию  $(1663 \cdot 10^{-5})$ , Па.

Представляют интерес показатели пористости пород Зырянского месторождения, установленные в связи с изучением условий локализации полиметаллического оруденения (табл. 69). Из таблицы видно, что наименьшая эффективная пористость относится к лавам кварцевых альбитофиров, а наибольшая (2,61) — к туфам этих по-

род. Обращает на себя внимание зависимость пористости пород от степени их серицитизации. Эта зависимость отмечается как в аргиллитах, так и в туфах и лавах кварцевых альбитофиров.

Из литературных источников [21, 59] представляется возможность привести данные физико-механических свойств рудовмещающих пород Старковского месторождения и дополнить характеристику пород Зырянского месторождения (табл. 70).

С внедрением отраслевого стандарта 41-89—74 были определены значения  $F_d$ ,  $K_{абр}$ ,  $\rho_m$  и категория буримости по  $\rho_m$  рудовмещающих пород Лениногорского месторождения (табл. 71). Из таблицы следует, что наименьшую динамическую прочность и наибольшую абразивность имеют кварцевые альбитофиры. В свою очередь алевролиты и серицит-кварцевая порода имеют наибольшую динамическую прочность и относительно низкую абразивность.

## Дальний Восток

### Комсомольский рудный район

В табл. 72 приведены обобщенные данные по значениям  $F_d$ ,  $K_{абр}$ ,  $\rho_m$  и категориям буримости пород месторождения I, установленные по ОСТ 41-89—74. Из таблицы видно, что в основном все разности пород имеют высокую динамическую прочность (12—32), за исключением туфов порфиритов и частично туфопесчаников, у которых среднее значение  $F_d$  значительно ниже (4,8—9,2).

Вместе с тем средние значения абразивности пород сравнительно невысокие (1,2—1,6). Туф порфиритов является еще менее абразивным (0,75). Однако песчаник мелкозернистый и гидротермальная брекчия обладают наибольшей абразивностью (1,63—1,8), что в сочетании с высокой динамической прочностью дает высокое значение  $\rho_m$  и высокую категорию по буримости.

В табл. 73 приведены физико-механические свойства пород других объектов разведки.

Обращают на себя внимание сравнительно близкие значения указанных свойств пород для всех их комплексов. Некоторое исключение составляют кварцевые дациты, порфириты и туфы кварцевых дацитов. Они более плотные и менее пористые. У них также более высокий динамический модуль упругости. Отличаются туфо-алевролиты и по более высоким значениям скорости распространения продольных волн и динамического модуля упругости. Магнитная восприимчивость для всех пород относительно низкая.

### Норильский горнорудный район

В табл. 74 приведены значения многих физико-механических свойств пород медно-никелевого месторождения [23].

Разнообразие генетических типов пород (интрузивные, эффузивные, осадочные и метаморфические) и их количественная характеристика представляют большой интерес. По существу, эти данные характеризуют трапповые образования и связанные с ними медно-никелевые месторождения.

Таблица 72

## Физико-механические свойства горных пород месторождения I

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Гранодиориты .	2	9,0—15,3	1,3	21—32	IX
		12,1		27	
Порфириты диоритовые . . . . .	6	12,5—33,3	1,0—1,8	30—80	IX—XI
		22,8	1,40	50	X
Порфириты . . . . .	6	11,11—20,0	0,53—1,80	13—55	VII—XI
		16,4	1,20	34	IX
Туф порфиритов	2	7,1—2,5	0,8—0,7	4,5—10	IV—VI
		4,8	0,75	7,25	VI
Туф дацитов . . . . .	8	13,3—19,0	1,1—1,3	25—40	IX—X
		14,97	1,22	32	IX
Туф кварцевых порфиров . . . . .	43	24—25	0,15—2,0	7,5—65	VI—XI
		13,80	1,37	36	IX
Туфоалевролит . . . . .	1	11,11	1,25	30,5	IX
Туфопесчаники . . . . .	3	3,4—20,0	1,5—2,2	16—50	VIII—X
		9,2	1,9	28	IX
Туфопесчаники ороговикованные . . . . .	4	12,5—23,6	0,85—1,4	23—58	IX—XI
		16,4	1,0	34	IX
Туфоконгломерат . . . . .	11	5,8—44,4	1,05—1,88	18—90	VIII—XII
		16,64	1,4	38	IX

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
То же . . . . .	2	14,29—15,39	1,0—1,85	25—45	IX—X
		14,84	1,43	35	IX
Кремнистые аргиллиты . . . . .	3	13,3—25,0	1,48—1,7	35—65	X—XI
		18,8	1,6	50	XI
Алевролит . . . . .	2	18,1—20,0	1,4	45—50	X
		19,0		48	
Ритмичное переслаивание песчаников и алевролитов . . . . .	6	26,6—44,4	0,9—1,8	45—85	X—XII
		32,95	1,48	69	XI
Песчаник крупнозернистый . . . . .	1	24,1	1,75	61,5	XI
Песчаник среднезернистый . . . . .	4	16,6—25,0	1,4—1,5	40—60	X—XI
		21,17	1,47	49	X
Песчаник мелкозернистый . . . . .	21	7,69—33,3	1,0—2,5	24—75	IX—XI
		19,23	1,63	50	X
Песчаник тонкозернистый . . . . .	5	9,5—28,5	1,0—1,8	18—45	VIII—X
		14,8	1,4	35	IX
Кварц-серицитовая порода . . . . .	1	15,3	1,4	30	IX
Кварц-турмалиновая порода . . . . .	1	22,2	1,4	50	X
Гидротермальная брекчия . . . . .	4	20,0—28,6	1,4—2,6	50—80	X—XII
		23,2	1,8	62	XI
Методика . . . . .		1	1	1	1

Таблица 73

Физико-механические свойства горных пород месторождений II и III Комсомольского района

Порода	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$v_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\kappa \cdot 10^{-6}$ , CGSM
Месторождение II							
Спекшиеся туфы . . . . .	2	2,61—2,70	2,55—2,66	1,48—2,30	2260—3930	1,96—2,02	8—20
		2,65	2,60	1,89	3100	1,99	14
Туфоалевролиты . . . . .	2	2,69—2,72	2,64—2,66	1,12—2,94	3650—3930	5,15—5,91	15—24
		2,70	2,65	2,03	3790	5,53	19
Конгломерат хлоритизированный . . . . .	1	2,69	2,67	0,74	3040	3,53	22
Туфоконгломерат . . . . .	5	2,68—2,70	2,59—2,67	0,74—4,07	2530—3690	2,51—5,18	10—25
		2,69	2,64	1,78	3210	4,03	18
Месторождение III							
Кварцевый дацит . . . . .	1	2,73	2,71	0,73	2960	3,30	63
Порфирит . . . . .	1	2,72	2,69	1,10	2570	2,51	122
Туфы кварцевых дацитов . . . . .	4	2,71—2,77	2,65—2,72	0,37—2,21	2650—4240	2,64—6,73	29—78
		2,74	2,70	1,18	3440	4,61	47
Песчаник с коричневым оттенком . . . . .	2	2,65—2,67	2,63—2,66	0,37—0,75	3050—3580	3,59—4,91	14—25
		2,66	2,64	0,56	3310	4,24	19
Песчаник окварцованный . . . . .	2	2,68—2,69	2,67—2,67	0,37—0,74	3310—3480	4,18—4,61	20—33
		2,685	2,67	0,55	3390	4,40	26
Методика . . . . .		3	3	3	11	11	8

Преобладающее большинство разностей пород всех генетических типов высокопрочные. Так, временное сопротивление их при одноосном сжатии изменяется от 800—1000 до 2200—2600·10<sup>-5</sup>, Па. Сопротивление на разрыв меньше сопротивления на раздавливание в 8—10 раз.

Породы в основном очень плотные (2,6—3,2). Твердость по Шору сравнительно невысокая (30—60). Исключением являются габбро-диориты (85), габбро-диабаз (70), базальт пикритовый (75), песчаник полимиктовый (78), ороговикованный песчаник (90—93), скарн габбро-диабазовый (79), роговики (92,101).

Значения модуля упругости, коэффициент Пуассона относительно высокие, что указывает на сравнительно невысокие деформационные свойства исследованных пород.

## Урал

### *Механические свойства горных пород объектов разведки Восточной ГРЭ Оренбургского геологического управления*

В связи с контрольным определением категорий буримости пород были определены значения динамической прочности, абразивности и расчетный показатель  $\rho_m$  для наиболее распространенных пород, вмещающих медноколчеданные месторождения на Южном Урале (табл. 75).

Из таблицы видно, что большинство исследованных пород (эффузивы основного и кислого составов) имеют высокие значения динамической прочности. Это вполне увязывается с составом и структурой пород.

Абразивность пород изменяется в более широких пределах — от умеренно- и среднеабразивных (0,5—1,5) до сильно абразивных (2,0—2,5). Высокую абразивность имеют породы типа кварцевых порфиров, липаритов и альбитофиров, кремнистых туффитов, кварцитов и окремненных разностей пород.

### *Физико-механические свойства горных пород объекта разведки Поляковской ГРП*

Объектом разведки Поляковской ГРП являются медноколчеданные месторождения. Результаты исследований горных пород приведены в табл. 76. Эти данные служат дополнительной характеристикой механических свойств рудовмещающих пород месторождений колчеданного типа.

Таблица 74

Физико-механические свойства горных пород одного из медно-никелевых месторождений Норильского района

Генетические разности пород	Скважина	Глубина, м	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	Число испытаний $n$	Коэффициент вариации, %	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	Число испытаний $n$	Коэффициент вариации, %	$\sigma_{сж}/\sigma_p$	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	Число испытаний $n$	$R_{ш}$
Габбро оливниновое . . . . .	220	133,6	695—1530	7	19	77—207	34	27	9,1	2,84	5	64
			1122			122						
Габбро оливниновое . . . . .	259	258,0	689—1887	7	23	88—253	14	25	8,0	2,97	5	61
			1275			163						
Габбро-диорит . . . . .	123	585,1	1945—2897	10	10	160—375	37	20	8,44	2,84	5	85
			2315			274						
Габбро-диабаз безоливиновый	220	103,5	852—1760	11	15	27—244	39	21	8,98	2,86	5	59
			1510			168						
То же . . . . .	220	127,1	887—1693	10	15	65—214	22	25	9,4	2,80	5	70
			1373			146						
Габбро-диабаз контактовый	259	212,8	685—1031	3	11	52—163	8	16	11,0	3,28	2	32
			856			78						
Габбро-диабаз троктолитовый	246	222,0	902—1566	12	13	78—264	37	26	7,0	3,05	4	57
			1244			177						
То же . . . . .	2826	720,0	404—1295	14	24	84—179	26	21	8,0	2,93	6	64
			904			111						

Габбро-диабаз оливниновый	220	140,3	561—1142	10	17	67—171	30	25	8,3	2,72	1	47
			870			105						
То же . . . . .	220	148,7	1703—2366	9	8	107—370	23	26	8,3	3,01	6	64
			2091			253						
Габбро-долерит . . . . .	220	76,9	1112—2060	14	16	76—220	50	25	10,7	2,82	4	58
			1520			137						
Долерит . . . . .	123	457,9	1081—1480	10	8	52—255	21	32	8,32	2,93	2	63
			1324			159						
Долерит . . . . .	123	460	551—984	8	14	51—152	22	25	7,62	2,83	3	62
			770			101						
Базальт пикритовый . . . . .	413	156,0	658—1020	9	13	50—156	38	28	9,85	2,73	5	36
			913			93						
То же . . . . .	413	155,0	602—918	9	10	57—114	38	13	7,38	2,70	4	30
			775			105						
» . . . . .	413	54,0	1683—2417	12	12	101—391	69	37	10,9	2,83	5	75
			2326			212						
» . . . . .	413	56,0	1137—2060	22	14	100—247	29	23	10,0	2,74	4	61
			1612			161						
Базальт миндалекаменный . . . . .	111	223,6	826—1714	10	18	78—204	34	23	8,8	2,61	3	71
			1224			140						
Базальт толентовый . . . . .	314	63,8	1061—1836	16	12	75—248	29	26	9,8	2,70	4	59
			1622			165						

Генетические разности пород	Скважина	Глубина, м	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	Число испытаний $n$	Коэффициент вариации, %	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	Число испытаний $n$	Коэффициент вариации, %	$\sigma_{сж}/\sigma_p$	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	Число испытаний $n$	$R_{ш}$
Базальт толентовый . . . . .	111	31,5	765—1193	6	11	54—174	24	32	11,0	2,51	3	48
			1910			92						
Базальт двуполевошпатовый . . . . .	111	139,1	1475—2426	8	13	37—223	29	35	13,7	2,68	5	60
			1836			134						
Базальт лабрадорский . . . . .	111	181,3	1153—3060	7	23	93—310	35	27	10,5	2,72	4	65
			2060			197						
То же . . . . .	314	206,3	1428—2397	5	12	81—288	17	27	10,5	2,72	3	74
			2000			190						
Туффит . . . . .	413	81,5	959—1592	9	13	59—206	34	32	10,6	2,60	4	61
			1224			124						
Песчаник подмиктовый . . . . .	220	203,4	2203—3000	10	8	117—387	27	24	9,6	2,57	5	78
			2665			277						
Алевролит углистый . . . . .	2826	216,7	612—1591	15	27	63—216	44	35	8,0	2,67	5	52
			913			112						
Известняк . . . . .	123	433,3	969—1673	6	12	87—250	36	26	9,16	2,73	5	52
			1459			159						

Ангидрит . . . . .	123	544,9	960—1622	6	12	52—211	24	34	11,3	2,78	5	50
			1326			117						
» . . . . .	243	513,7	887—1596	4	16	65—144	16	20	11,3	2,86	3	38
			1102			97						
» . . . . .	243	513,5	816—1255	6	10	50—158	20	30	10,8	2,80	3	45
			460			90						
» . . . . .	243	465,0	1040—1270	7	6	72—174	28	26	8,1	2,91	3	43
			1138			99						
Мергель . . . . .	243	470,5	918—1714	9	17	58—165	25	21	9,1	2,93	3	54
			1122			124						
Скарн . . . . .	220	113,9	152—379	12	21	15—51	45	32	9,7	2,53	5	28
			267			27						
Ороговикованный песчаник . . . . .	413	269,6	1265—2122	8	13	139—272	33	16	8,06	2,56	3	90
			1693			210						
Скарн габбро-диабазовый . . . . .	303	255,8	1958—2917	4	10	199—354	16	13	8,1	2,93	5	79
			2372			294						
Ороговикованный песчаник . . . . .	246	—	1754—2876	5	12	148—270	17	16	12,5	2,55	4	88
			2417			192						
То же . . . . .	246	230,6	428—867	7	16	26—87	13	25	11,0	2,61	3	59
			689			59						
» . . . . .	259	252,3	856—1897	6	19	89—241	25	20	8,5	2,65	7	72
			1469			176						

Генетические разности пород	Скважина	Глубина, м	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	Число испытаний $n$	Коэффициент вариации, %	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па	Число испытаний $n$	Коэффициент вариации, %	$\sigma_{сж}/\sigma_p$	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	Число испытаний $n$	$R_{ш}$
Ороговикованный песчаник	245	230,3	$\frac{970-1540}{1244}$	9	12	$\frac{60-175}{106}$	22	27	11,5	2,50	6	73
» . . . . .	246	250,8	$\frac{1142-1387}{1285}$	4	5	$\frac{67-142}{107}$	18	17	12,0	2,58	4	59
Роговик . . . . .	220	165,0	$\frac{1795-3386}{2660}$	8	15	$\frac{136-426}{346}$	16	21	7,7	2,68	3	101
» . . . . .	220	167,5	$\frac{1428-3101}{2480}$	9	17	$\frac{181-477}{313}$	37	24	7,9	2,81	5	92
» . . . . .	123	307,0	$\frac{1255-2468}{1369}$	7	22	$\frac{61-209}{132}$	18	28	10,3	2,72	1	63
Методика . . . . .			15			15			28	3		26

Таблица 75

**Механические свойства горных пород объектов разведки  
Восточной ГРЭ Оренбургского геологического управления**

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
<b>Медногорский геологоразведочный отряд</b>					
Базальтовый порфирит трещиноватый	1	9,1	1,15	20	VIII
Липаритовый порфир трещиноватый, частично серицитизированный и хлоритизированный	6	$\frac{8,0-11,8}{10,23}$	$\frac{0,7-2,15}{1,73}$	$\frac{11-47,5}{34}$	VII—X IX
Туф агломератовый хлоритизированный, слабо трещиноватый	2	$\frac{6,2-10,0}{8,1}$	$\frac{0,75-1,65}{1,20}$	$\frac{10-30,5}{20}$	VII—IX VIII
<b>Джусинский геологоразведочный отряд</b>					
Диабаз трещиноватый	2	12,5	$\frac{0,95-1,03}{0,99}$	$\frac{21-23,5}{22}$	VIII
Андезит-базальтовый порфирит выветрелый, эпидот-хлоритизированный, окварцованный	7	$\frac{2,0-15,4}{10,1}$	$\frac{0,58-1,35}{0,88}$	$\frac{3,7-32}{18}$	IV—IX VIII
Андезит-дацитовый порфирит нацело окремненный с прожилками кварца	1	20,0	1,93	65	XI
Туф смешанного состава, умеренно трещиноватый	4	$\frac{12,5-16,7}{14,2}$	$\frac{0,78-1,65}{1,30}$	$\frac{20-38,5}{32}$	IX—X IX
Кремнистая порода брекчированная, кварц-серицитовая слоистая	2	$\frac{9,5-15,4}{12,5}$	$\frac{1,05-2,1}{1,58}$	$\frac{19-58}{38}$	VIII—XI IX
<b>Восточно-Оренбургский геологоразведочный отряд</b>					
Габбро-диабаз и диабаз	2	$\frac{8,0}{8,0}$	$\frac{0,6-0,83}{0,71}$	$\frac{10-14}{12}$	VII
Диорит	1	13,3	1,13	27	IX
Сиенито-диорит с кварц-карбонатными прожилками	1	11,1	0,85	18	IX
Гранодиорит умеренно трещиноватый	1	11,1	1,98	40	X
Порфирит пироксен-плагиоклазовый	5	$\frac{8,0-18,2}{11,9}$	$\frac{0,6-1,3}{0,86}$	$\frac{10-40}{20}$	VIII—X VIII
Порфирит кварцевый	1	13,3	1,68	39	X
Дацитовый порфирит тонкозернистый умереннотрещиноватый	2	$\frac{15,4-20,0}{17,7}$	$\frac{1,10-1,18}{1,14}$	$\frac{31,4-36}{33,5}$	IX—X IX VIII—IX
Туф смешанного состава	3	$\frac{11,8-16,7}{13,2}$	$\frac{0,78-1,3}{0,97}$	$\frac{18-26}{22}$	IX IX

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Кварц-хлорит-серицитовая порода . . . . .	2	<u>8,0—8,4</u> 8,2	<u>0,68—1,33</u> 1,0	<u>11—23</u> 17	VII—IX VIII
Амфиболит . . . . .	1	15,4	1,8	55	XI
Гайская геологоразведочная партия					
Габбро-диабаз мелкокристаллический . . . . .	5	<u>11,1—14,3</u> 12,8	<u>0,63—0,83</u> 0,72	<u>16—17</u> 17	VIII
Диабаз тонкозернистый . . . . .	4	<u>8,7—18,2</u> 12,7	<u>0,58—0,68</u> 0,61	<u>13—17</u> 14	VII—VIII
Базальт окварцованный . . . . .	2	<u>8,7—13,3</u> 11,0	<u>0,80—1,9</u> 1,4	<u>14—45</u> 29	VII—X VIII
Андезито-базальтовый порфирит хлоритизированный . . . . .	1	5,4	0,55	7	VI
Дацитовый порфирит . . . . .	4	<u>9,1—22,2</u> 12,8	<u>1,63—2,12</u> 1,89	<u>31—70</u> 43	X—XI X
Кварцевый липарито-дацитовый порфирит . . . . .	3	<u>9,1—11,8</u> 10,1	<u>1,68—2,23</u> 1,97	<u>30—43</u> 38	IX—X X
Кварцевый альбитофир сильно окварцованный . . . . .	2	<u>12,5—14,3</u> 13,4	<u>1,80—2,65</u> 2,23	<u>42—60</u> 51	X—XI X
Песчаник кварцевый . . . . .	1	4,45	1,9	19	VIII
Кремнистый алевропелитовый туффит . . . . .	1	33,3	2,55	120	XII VII—IX
Туф андезитового и андезито-дацитового состава . . . . .	6	<u>6,9—20,0</u> 11,9	<u>0,98—1,52</u> 1,11	<u>15—32,5</u> 21	VIII VIII—XI
Туфобрекчия липарит-дацитового состава . . . . .	6	<u>10,5—16,7</u> 12,5	<u>1,15—2,38</u> 1,68	<u>22,5—55</u> 38	XI X
Серицит-хлоритовый сланец по туфобрекчиям . . . . .	1	5,1	0,55	7	VI
Кремнисто-гематитовая порода . . . . .	1	20,0	1,73	60	XI
Кварцит . . . . .	1	20,0	1,57	50,5	X VII—IX
Хлорит-серицит-кварцевая сланцеватая порода . . . . .	16	<u>5,4—18,2</u> 8,28	<u>0,65—2,28</u> 1,32	<u>12—40</u> 20	IX VIII
Методика . . . . .	1	1	1	1	I

Таблица 76

**Механические свойства горных пород медноколчеданных месторождений и месторождения бокситов**

Порода	Число образцов	$F_D$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
<b>Медноколчеданные месторождения</b>					
Порфирит . . . . .	7	$\frac{4,45-20,0}{15,86}$	$\frac{0,35-2,45}{1,13}$	$\frac{9,9-54,0}{27}$	VI—XI VIII
Порфир кварцевый слабо эпидотизированный, гематитизированный . . . . .	8	$\frac{13,33-18,18}{15,75}$	$\frac{0,43-2,07}{1,63}$	$\frac{9,5-64,0}{43}$	VI—XI IX
Туф порфиритов . . . . .	3	$\frac{14,29-20,0}{17,49}$	$\frac{0,33-1,08}{0,69}$	$\frac{8,7-27,0}{19}$	VI—IX VIII
Известняк . . . . .	1	4,88	0,73	7,5	VI
Роговики . . . . .	3	$\frac{3,92-6,25}{5,01}$	$\frac{1,58-2,15}{1,79}$	$\frac{14,0-27,5}{19}$	VII—IX VIII
Эпидотизированная порода с глазками кварца . . . . .	1	20,0	2,05	69	XI
<b>Месторождение бокситов «Красная Шапочка»</b>					
Порфирит с гнездами кальцита . . . . .	1	16,66	0,32	8,5	VI
Песчаник плотный с гнездами кальцита . . . . .	1	9,09	0,35	6,0	V
Известняк . . . . .	8	$\frac{8,33-11,11}{9,63}$	$\frac{0,10-0,20}{0,15}$	$\frac{2,0-4,0}{3}$	III—IV III
Методика . . . . .		1	1	1	I

В табл. 76 приведены также механические свойства вулканогенно-осадочных пород месторождения бокситов «Красная Шапочка».

В табл. 77, 78, 79 по данным исследований В. И. Старостина [70, 71] приведены значения физико-механических свойств горных пород Яман-Касинского медноколчеданного месторождения; Блявинского рудного поля и группы месторождений меди колчеданного типа Урала и Рудного Алтая.

Представляют интерес значения физико-механических свойств рудовмещающих пород одного из месторождений колчеданной меди в Грузии. Результаты определений приведены в табл. 80.

Таблица 77

## Физико-механические свойства вулканогенных пород Яман-Касинского

Петрографические группы пород	Число образцов	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{ист}$ , %	$P_{эф}$ , %	Проницаемость (средние значения)
Диабазы и базальтовые порфириты слабо измененные . . . . .	4	2,764—2,905 2,856	2,57—2,70 2,64	5,94—10,76 7,46	5,08—5,99 5,73	$24 \cdot 10^{-4}$
Диабазы слабо окварцованные и гематитизированные . . . . .	2	2,717—2,748 2,762	2,68—2,70 2,69	2,53—2,82 2,67	1,82—2,43 2,12	—
Андезит-дацитовые порфириты слабо измененные . . . . .	2	2,736—2,745 2,740	2,66—2,67 2,66	2,41—3,10 2,75	1,95—2,14 2,05	$6 \cdot 10^{-8}$
Слабо измененные липариты (до 10% вторичных минералов) . . . . .	3	2,674—2,742 2,706	2,58—2,63 2,62	3,04—4,09 3,55	1,60—3,44 2,37	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Среднеизмененные (хлорит+цеолит+серцит до 10—22%) . . . . .	1	2,699	2,65	1,82	1,71	—
Сильно измененные (хлорит+цеолит до 35%) . . . . .	2	2,694 2,694	2,58—2,59 2,68	3,49 2,93	3,04—3,08 3,06	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Кварц-серцит-хлоритовые породы (серцит+хлорит до 35%) . . . . .	—	—	—	—	7,65	—
Сильно измененные липаритовые порфириты (хлорит+цеолит до 30%) . . . . .	—	2,586	2,21	14,53	10,88	—
Методика . . . . .	—	2	2	2	2	2

Примечание. Определения объемной массы, проницаемости и упру-

## медноколчеданного месторождения

$v_D$ , м/с	$v_S$ , м/с	$\mu$	$v_R$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$P_{Ш}$
4240—4740 4460	2380—2650 2505	0,16—0,18 0,17	2660—2980 2810	4,46—5,82 5,12	1,95—2,49 2,22	55,4—69,2 64,1
4400—4680 4540	2540—2590 2565	0,13—0,19 0,16	2870—2900 2885	5,21—5,56 5,39	2,32—2,35 2,32	64,3—64,8 64,5
5040—5640 5340	2780—3000 2890	0,20—0,24 0,22	3110—3310 3210	6,30—7,51 6,95	2,69—3,06 2,88	78,7—83,6 81,1
5020—5440 5520	3060—3140 3100	0,13—0,21 0,17	3420—3540 3473	7,68—7,50 7,69	3,18—3,43 3,34	86,0—90,2 87,9
4880	2920	0,07	3330	6,52	2,99	84,0
4980—5160 5007	2860—2920 2890	0,14—0,16 0,15	3240—3280 3160	6,51—6,89 6,69	3,05—2,96 2,92	76,2—82,4 79,3
—	—	—	—	—	—	53
—	—	—	—	—	—	42
11	11	—	11	11	11	26

гих свойств произведены в лаборатории ИГЕМ АН СССР.

Таблица 78

Эффективная пористость (в %) вулканогенных пород Блявинского

Порода	Характер и степень		
	Неизменные породы	Скварцованные и гематитизированные: кварц + гематит	
		10—12%	20—25%
Липаритовые порфиры .	0,70—1,60	—	0,5—1,50
	1,17		1,10
Липарит-дацитовые и дацитовые порфиры . . . . .	0,52—1,90	—	—
	1,41		—
Вариолиты и вулканические стекла . . . . .	0,55—1,84	—	—
	1,10		—
Диабазы и базальтовые порфиры мелко- и среднезернистые . . . . .	2,4—7,2	2,30—3,15	0,84—2,73
	3,71	2,80	1,36

Примечание. Эффективная пористость для неизменных и малоизмененных пород определялась при 15-суточном, а для сильно измененных при 5-суточном режиме по методике 2 (ИГЕМ).

Таблица 79

Пористость и динамика насыщения вулканогенных пород Блявинского

Металлогенная провинция	Рудное поле	Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	P <sub>эф</sub>
Южный Урал	Блявинское (медноколчеданное)	Липаритовый порфир субвулканический То же	2,62	1,97
			2,64	1,37
			2,63	1,81
		»	2,62	2,08
			2,58	3,44
			2,59	3,04
		»	2,58	3,19
			2,58	3,18
			2,66	2,14
		Андезитовый порфирит эффузивный То же	2,64	2,41
			2,88	1,41
			2,88	1,41

рудного поля

гидротермально-метасоматических изменений				
Измененные породы (содержание серицита, хлорита, цеолита и др.)			Кварц-серицит-хлоритовые породы (серицит-хлорита 35%)	Безрудные гидротермально-метасоматические породы (вторичные до 40%)
5—10%	10—20%	20—30%		
0,80—2,05	1,25—4,70	3,15—15,71	—	—
1,64	3,30	9,80		
1,20—2,12	1,33—7,56	4,94—12,18	5,91—9,60	4,5—18,6
1,87	2,88	8,38	7,65	12,8
—	—	—	—	—
—	—	4,23—7,97	—	—
		6,78		

мененных пород определялась при 15-суточном, а для сильно измененных при 5-суточном режиме по методике 2 (ИГЕМ).

месторождения

Дифференцированная пористость, %*			Дифференцированная скорость насыщения, см <sup>3</sup> /ч			v <sub>ш</sub> <sup>н</sup>	v <sub>ш</sub> <sup>к</sup>	
>0,0002	<0,0002	бутылочные поры	>0,002	0,002—0,0002	<0,0002			
							%/сут	
8	69	23	7	92	1	0,49	6,5	
0 6	86 75	14 19	1 6	72 71	27 29	0,46 0,41	2,5 4,0	
11	70	19	9	48	43	0,27	2,8	
50	36	14	18	70	12	1,10	1,0	
16 26	70 62	14 12	23 24	67 18	10 8	1,28 1,14	1,5 1,1	
11	75	7	31	66	3	1,05	1,2	
36	47	22	22	37	41	0,27	5,0	
12	88	0	14	65	21	0,69	5,5	
10	90	0	15	63	22	0,32	2,8	

Металлогенная провинция	Рудное поле	Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	Рэф
		Базальтовый порфирит	2,66	3,54
		Диабаз	2,69	5,97
		Миндалекаменный диабаз	2,61	7,98
		Кварцит	2,65	6,97
			2,62	0,21
Рудный Алтай	Тишинское (полиметаллическое)	Дацитовый порфир	2,59	1,84
		То же	2,64	1,10
		»	2,61	1,65
			2,60	2,00
		Порфир экструзивный	2,59	0,79
		То же	2,58	1,29
		Туф дацитового состава	2,57	1,79
		То же	2,76	1,40
		»	2,64	3,12
		Диабаз	2,70	1,67
		Алеврит известковистый	2,72	1,53
		Кварц-карбонат-серцитовые породы	2,06	1,54
			2,73	0,29
	Старковское (колчеданно-полиметаллическое)	Дацитовый порфир эффузивный	2,65	1,32
		То же, субвулканический	2,68	0,40
		Туф дацитового состава	2,71	1,39
		То же	2,69	2,36
		Базальтовый порфирит эффузивный	2,67	3,01
		Диабаз субвулканический	3,14	2,07
		То же	2,85	1,52
		»	3,00	1,79
		Лавы	2,63	1,00
		Туфы	2,70	1,96
	Методика		2	2

\* Все виды пористости определены по методике ИГЕМ (Беликов, 1964);

Дифференцированная пористость, %*			Дифференцированная скорость насыщения, см <sup>3</sup> /ч			$v_{\omega}^H$	$v_{\omega}^K$
>0,0002	<0,0002	бутылочные поры	>0,002	0,002—0,0002	<0,0002	%/сут	
10	77	13	16	53	31	0,25	1,2
17	77	6	60	37	3	1,13	5,0
10	87	3	16	72	12	1,38	4,5
2 6	87 87	11 7	7 12	82 77	11 11	2,12	8,5 6,5
						1,25	
						0,07	0,1
62	38	0	45	19	36	0,43	3,5
78 50	22	0	21	79	0	0,25	1,8
11	66 42	23 8	4 23	40 46	56 31	0,35 0,34	4,2
							3,1
48 43	41 42	11 15	0 1	0 9	100 90	0,22 0,19	3,0
							2,7
							2,4
38	44	18	2	77	81	0,17	2,8
							2,4
52	42	6	32	46	22	0,34	2,4
							3,1
58	32	10	41	50	9	0,70	2,0
							3,7
59	34	7	33	43	24	0,30	
50	38	12	55	40	5	0,56	
36	54	10	1	23	76	0,21	0,5
61	39	0	26	67	7	0,12	1,0
71	29	0	0	100	0	0,10	1,1
							1,4
38	62	0	0	66	34	0,05	1,5
							2,0
59	27	14	18	68	14	0,19	
40	45	15	0	100	0	0,44	1,0
38	56	6	44	22	34	0,47	1,0
15	49	36	17	83	2	0,45	1,0
22	42	36	15	25	0	0,23	1,0
19	45	36	46	54	1	0,34	2,0
50	44	6	6	56	38	0,18	2,12
53	36	11	22	65	13	0,39	

$v_{\omega}^H$  — начальная скорость водонасыщения;  $v_{\omega}^K$  — то же, конечная скорость.

## Физико-механические свойства руд и вмещающих пород медноколчеданного месторождения Грузии

Генетические разности пород	Объемная масса $\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>		$\gamma_n \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф.}$ %	$\sigma \cdot 10^{-5}$ , Па			Коэффициент крепости				$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$K_{пл}$
	воздушно-су- хих образцов	скелета			при сжатии $\sigma_{сж}$		при сре- зе $\sigma_{ср}$	$f_{\sigma} = 0,01\sigma$	$f_{\sigma'} = 0,1\sigma$	$f_{ср} = 0,07\sigma_{ср}$	$f_l = \frac{20 \cdot \pi}{l}$		
					$\sigma_{сж} = \frac{P}{S}$	$\sigma' = \frac{P}{v \cdot 0,67}$							
Альбитофиры . . .	2,38	2,33	2,68	12,89	1252	85	254	12,3	8,3	17,2	4,9	131	4,4
Измененные альби- тофиры . . . . .	2,37	2,23	2,62	14,88	620	—	—	6,1	—	—	5,7	—	—
Кварцевые альби- тофиры . . . . .	2,62	2,58	2,67	3,37	2563	—	343	25,1	—	23,5	17,2	115	2,5
Измененные квар- цевые альбитофиры .	2,48	2,47	2,65	3,37	1372	—	162	13,5	—	11,1	8,4	—	—
Сильно измененные кварцевые альбито- фиры . . . . .	2,40	2,40	2,64	6,34	761	91	177	7,5	8,9	12,2	6,2	—	—
Вторичные брек- чиевидные кварциты	2,40	2,31	2,61	9,5	1447	126	125	14,2	12,4	9,3	9,1	408	3,1
Сильно лимонити- зированный вторич- ный брекчиевидный кварцит . . . . .	2,32	2,31	2,68	11,33	718	—	—	7,0	—	—	3,1	—	—
Окварцованные ту- фы . . . . .	2,50	2,49	2,68	7,05	1301	153	163	12,8	15,0	11,2	8,3	184	6,4
Слабо окварцован- ные туфы . . . . .	2,47	2,45	2,70	6,45	783	67	78	7,7	6,6	5,3	7,6	—	—
Аргиллиты . . . . .	2,58	2,55	2,69	5,02	1196	141	—	11,7	13,8	—	14,2	—	—
Медноколчеданная руда в кварцитах .	2,82	2,81	2,99	5,65	1612	156	194	15,8	15,3	13,3	5,5	287	2,1
Медноколчеданная руда в кварц-хлори- товых породах . . .	2,68	2,67	2,79	6,13	786	44	150	7,7	4,3	10,2	4,2	—	—
Методика . . . . .	3	—	3	3	15	15	15	29	29	29	29	24	24

## Средняя Азия

### Физико-механические свойства горных пород флюоритового и свинцово-цинкового месторождений Агата и Чибаргата

В табл. 81 по данным А. Е. Толкунова и И. Г. Максимовой [75] приведены значения объемной массы, пористости, акустических и деформационных свойств горных пород.

Обращает на себя внимание небольшое отличие значений указанных физико-механических свойств для рудовмещающих экстрезивов, что можно объяснить генетической близостью пород.

Вулканогенно-осадочные породы как достаточно неоднородные по составу имеют разные значения физико-механических свойств. Наиболее высокие из них относятся к туфогенным песчанникам, игнибрикам кварцевых порфиров и туфолавам кварцевых порфиров.

Породы фундамента отличаются высокими параметрами указанных свойств, близкими по своим значениям. В табл. 82 приведены результаты определения механических свойств пород по ОСТ 41-89—74.

Т а б л и ц а 81

#### Физико-механические свойства пород района месторождений Агата и Чибаргата

Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$v_p$ , м/с	$v_s$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$
Рудовмещающие породы экстрезивов						
Фельзитовые кварцевые орфиры . . . . .	2,62	1,02	5820	2920	7,05	0,24
Фельзит-порфиры . . . . .	2,59	0,62	5440	2840	6,51	0,25
Сферолит-порфиры . . . . .	2,58	0,84	5660	2760	6,64	0,26
Флюидалные фельзиты	2,60	2,42	5740	2900	6,97	0,28
Вулканогенно-осадочные породы, вмещающие экстрезивы						
Пепловые туфы . . . . .	2,16	16,38	3520	2010	2,63	0,27
То же . . . . .	2,22	15,42	3240	2020	2,43	0,22
Литокластические туфы . . . . .	2,22	15,62	3640	2120	2,93	0,33

Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф. \%}$	$v_p$ , м/с	$v_s$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$
Туфы кварцевых порфи- ров . . . . .	2,33	11,61	3280	1920	2,53	0,13
Туфогенные песчаники слонстые . . . . .	2,48	7,54	4440	2480	4,65	0,19
биотитовые . . . . .	2,48	7,50	5720	2460	4,63	0,27
плотные . . . . .	2,57	4,05	4960	2760	5,83	0,20
Игнимбриты кварцевых порфиров . . . . .	2,38	9,69	5100	2620	5,21	0,26
Спекшиеся туфы кварце- вых порфиров . . . . .	2,36	11,00	4100	2220	4,07	0,22
Туфолавы кварцевых пор- фиров . . . . .	2,47	7,51	5240	1910	2,92	0,21

## Породы фундамента

Дациты . . . . .	2,72	1,91	5400	2760	6,56	0,27
» . . . . .	2,50	2,35	6760	3080	7,78	0,34
Гранодиориты . . . . .	2,65	1,39	5040	2580	5,43	0,28
Методика . . . . .	2	2	11	11	11	11

Таблица 82

Механические свойства горных пород различных регионов  
и месторождений

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Катего- рия по $\rho_M$
--------	-------------------	-------	-----------	----------	----------------------------

## Тимптоно-Учурская ГРП (Якутское ТГУ)

Кварцевый пор- фир . . . . .	7	$\frac{15,39-10,0}{13,02}$	$\frac{2,90-2,43}{2,68}$	$\frac{49,0-78,0}{62}$	X - $\frac{XI}{XI}$
---------------------------------	---	----------------------------	--------------------------	------------------------	---------------------

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Доломит . . .	7	0,9—4,55	1,53—2,53	6,2—22,5	V—VIII
		2,91	2,08	12	VII

## Бурлугская ГРП (Красноярское ТГУ)

Диоритовый порфирит . . .	2	12,50	1,97—2,15	46,0—49,5	X
			2,06	48	
Кератофир .	2	13,58—16,67	2,83—2,86	67,5—75,5	XI
		15,12	2,84	71	
Альбитофир . .	1	14,29	1,98	53,5	XI
Туф карбонатизированный и серицитизированный . . . . .	1	10,53	0,49	9,5	VI
Известняк . .	2	1,67—3,57	0,25—0,34	1,5—2,0	III
		2,62	0,29	1,75	
Роговик амфиболовый . . . . .	2	22,22—28,57	2,18—2,78	80,5—100	XII
		25,39	2,48	90	

## Куранджалюзская ГРП (Киргизия)

Алевролит . .	7	22,22—15,38	0,68—1,10	17—32	VIII—IX
		18,95	0,78	25	IX
Туфоалевролит	1	22,22	0,85	31,5	IX
Песчаник . . .	5	14,0—28,57	0,40—0,90	16—23	VIII—IX
		22,09	0,61	19	VIII
Песчаник с туфовым цементом (туфопесчаник) .	3	15,38—20,0	0,45—1,15	15—33,5	VII—IX
		17,18	0,80	23,5	VIII

Порода	Число образцов	$F_d$	$F_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Конгломерат . . . . .	2	18,18—28,57	0,60—0,65	18,5—30	VIII—IX
		23,38	0,63	24	
Туфогравелит . . . . .	4	22,28—28,57	0,60—0,78	24—33	IX
		26,10	0,67	28,5	
Гидротермально-измененная порода . . . . .	3	13,83—20,0	0,60—1,00	20,0—23,0	VIII—IX
		16,49	0,81	22	

Орджоникидзевская ГРП  
(Северо-Кавказское ТГУ)

Диабаз . . . . .	5	16,06—28,57	0,38—0,88	14—38	VII—X
		23,76	0,62	25	
Глинистый сланец . . . . .	4	6,25—13,33	0,67—1,0	13—20	VII—VIII
		9,89	0,87	16	

Чауленская ГРП (Киргизия)

Гранодиорит . . . . .	3	8,0—8,70	1,0—1,95	16,5—33,0	VIII—IX
Диабазовый порфирит . . . . .	1	16,16	0,95	26,5	IX
		6,90—12,50	0,93—1,38	18,5—20,5	
Порфирит . . . . .	2	9,70	1,15	19,5	VIII
		10,0—13,33	1,05—1,23	24	
Туф андезитового состава . . . . .	2	11,65	1,14	24	IX
		4,19—13,33	0,85—0,90	8,0—22,0	
Туф среднего состава . . . . .	3	4,19—13,33	0,85—0,90	8,0—22,0	VI—VIII
Туф кварцевых порфиров . . . . .	1	13,33	0,75	18,5	VIII
Туфопесчаник . . . . .	2	9,10—14,28	0,98—1,10	17—28	VIII—IX
		11,69	1,04	22,5	
Методика . . . . .	1	1	1	1	I

## § 8. СЛОЖНЫЙ КОМПЛЕКС РУДОВМЕЩАЮЩИХ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

### Железорудные месторождения

#### Урал

Имеющиеся литературные данные позволяют дать характеристику физико-механических свойств рудовмещающих горных пород некоторых железорудных месторождений Урала.

По материалам В. Е. Боянкова, А. В. Зубкова, З. А. Беркутова [81] в табл. 83 приведены данные по Гороблагодатскому, Валуевскому, Высокогорскому и другим месторождениям.

Исследования выполнены для решения различных горнотехнических задач, в частности, для управления горным давлением в карьерах. В табл. 84 приведены значения физико-механических свойств горных пород Покровского и Гороблагодатского месторождений [78].

Значения механической прочности и упругих характеристик исследованных пород весьма разнообразны, что вполне объяснимо разнообразием пород. Обращают на себя внимание повышенные значения приведенных свойств для порфириров, сениит-порфириров, некоторых разностей скарнов. В свою очередь пониженные значения имеют туфогенные породы и неплотные разности магнетит-эпидотовых скарнов.

Представляют интерес значения физико-механических свойств горных пород Магнитогорского месторождения (табл. 85), опубликованные в работе А. М. Стороженко, К. А. Ляховец, А. Т. Шахматова и др. [80], где исследователи, помимо указанных свойств, приводят значения буримости для тех же разностей пород, дают рекомендации по типу породоразрушающего инструмента и определяют возможную проходку на долото.

В табл. 86, по данным С. Н. Никитина и В. Ф. Терехова, [46] приведены значения физико-механических свойств горных пород Качарского месторождения. Данные таблицы отражают количественную характеристику интрузивных, эффузивных, осадочных и метаморфических пород.

Значения физических и механических свойств близки для всех разностей пород. Некоторым исключением являются метасоматиты, кварцевые порфириды, отличающиеся большей механической прочностью.

В связи с контрольным определением категорий буримости по ОСТ 41-89—74 были определены значения  $F_d$ ,  $K_{абр}$ ,  $\rho_m$  для горных пород месторождений железа (табл. 87).

#### Горная Шория

Имеющиеся данные по физико-механическим свойствам рудовмещающих пород железорудных месторождений Горной Шории охватывают Шерегешское, Таштагольское, Темиртауское и Казское месторождения.

Таблица 83

**Физико-механические свойства горных пород  
железородных месторождений Урала**

Генетические различия пород	Месторождение	Упругие свойства			$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\sigma_p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$
		$E \cdot 10^{-11}, \text{Па}$		$\mu$		
		при сжа- тии	при рас- тяжении			
Диорит	Северо- Песчаное	1,07	1,11	0,23	765	70
Сиенит		—	—	—	—	—
Порфирит		1,14	—	0,27	1071	70
Туф порфирита		0,99	0,90	0,28	1020	143
Скарны		1,37	0,37	0,26	459	36
Роговики		—	—	—	—	—
Магнетит		1,12	1,16	0,28	872	53
Диорит	Гороблагодат- ское	—	—	—	—	—
Сиенит		0,72	0,78	0,21	1185	75
Порфирит		1,12	1,10	0,30	1367	72
Туф порфирита		—	—	—	—	—
Скарны		0,84	0,81	0,30	683	51
Роговики		—	—	—	—	—
Магнетит		0,74	0,78	0,21	689	50
Диорит	Валуевское	—	—	—	—	—
Сиенит		0,54	0,54	0,31	1357	69
Порфирит		0,58	0,61	0,20	1244	83
Туф порфирита		0,93	0,82	0,31	1404	116
Скарны		—	—	—	—	—
Роговики		—	—	—	—	—
Магнетит		0,87	0,78	0,34	785	58
Диорит	Высокогорское	—	—	—	—	—
Сиенит		0,6	—	0,31	1122	—
Порфириты		—	—	—	—	—
Туф порфирита		0,80	0,96	0,27	1081	112
Скарны		0,90	0,62	0,20	785	61
Роговики		—	—	—	—	—
Магнетит		1,19	—	0,28	1020	88
Диорит	Лебяжинское	—	—	—	—	—
Сиенит		—	—	—	—	—
Порфирит		—	—	—	—	—
Туф порфирита		—	—	—	—	—
Скарны		0,72	0,60	0,26	918	55
Роговики		0,75	0,57	0,19	1122	50
Магнетит		0,47	0,86	0,21	836	72
Методика		11	11	11	15	15

Таблица 84

**Результаты испытаний пород и руд Покровского  
и Гороблагодатского месторождений**

Разности пород	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}, \text{Па}$ (соос- ные пунсоны)	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}, \text{Па}$ (в ра- диальном направ- лении)	Пределы проч- ности при срезе			Упругие свойства	
				$\sigma_{ср} \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\sigma_{н} \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\tau \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\mu$	$E \cdot 10^{-11}, \text{Па}$

**I. Интрузивные жильные с повышенной  
щелочностью**

Микросиенит ро- зовый . . . . .	1183	30	86	306	216	212	0,21	0,72
Микросиенит ороговикованный	—	—	—	—	222	222	—	—
Сиенит-порфир	653	—	—	249	175	175	0,32	1,41

**II. Эффузивные основные**

Порфирит оро- говикованный . . .	450	39	44	345	243	243	0,38	0,7
Контакт вмеща- ющих пород . . .	400	—	—	—	—	—	0,34	1,07
Порфирит эпи- дотизированный . .	1026	—	—	179	179	179	0,4	1,05
Порфирит . . . . .	878	—	—	286	201	201	0,36	1,30
Порфирит диа- базовый скарниро- ванный . . . . .	1612	—	—	474	335	335	—	1,87
Туфопорфирит . .	447	72	100	112	80	80	—	0,45

**III. Метаморфические**

Эпидозит . . . . .	289	—	—	145	102	102	—	0,81
Эпидот-гран- товый скарн . . .	652	—	—	249	175	175	0,32	1,41
Магнетит-гран- атовый скарн, плотный . . . . .	1061	31	80	171	121	121	0,21	2,25
Магнетит-гран- атовый скарн . .	587	—	—	255	176	176	0,31	0,72
Магнетит-эпи- дотовый скарн . .	357	—	—	—	—	—	—	—
Оспенная руда	754	—	—	257	182	182	—	0,82
Методика . . . . .	15	15	15	15	15	15	11	11

Таблица 85

## Физико-механические свойства руд и пород Магнитогорского железорудного района

Генетические разности пород	Степень трещиноватости	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$f$	$P_k \cdot 10^{-7}$ , Па
Диорит свежий мелкозернистый	Плотный	2,8—3,5	1,8—2,5	14	296—306
Диорит гранитизированный	Слаботрещиноватый	2,8—3,5	1,8—2,5	14	296—306
Диорит свежий мелкозернистый	Плотный	2,8—3,5	1,8	18	316—367
Диорит выветрелый среднекристаллический	Трещиноватый	2,7—4,8	2,0—2,5	9—10	202—245
Микрогранит мелкокристаллический	Слаботрещиноватый	3,0—4,8	8,0—9,0	8,0	173
Микрогранит светлый мелкокристаллический	То же	2,7—4,8	2,0—2,5	9—10	202—245
Кератофир выветрелый мелкокристаллический	» »	2,8—3,5	2,2	12	265—286
Мрамор крупнозернистый	» »	2,65	2,1	4,0	102
Мрамор среднезернистый неоднородный	» »	2,7	2,4	5,0	143
Мрамор серый плотный мелкокристаллический	» »	2,7—4,2	1,8	5,7	148—163
Мрамор гранитизированный мелко- и среднекристаллический	» »	2,8—3,5	2,2	12	265—286
Окисленные руды выветрелые, среднекристаллические	» »	2,7—4,2	1,8	5,7	148—163
Богатая магнетитовая руда с пиритом и кальцитом крупнокристаллическая	» »	3,0—4,8	8,0—9,0	8,0	173
Методика		2	2	29	18

Таблица 86

## Физико-механические свойства горных пород Качарского железорудного месторождения

Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_D \cdot 10^{-5}$ , Па
Гранит-порфиры (дайки) . . . . .	2,58	2,67	4,2	1462	171
Кварцевые порфиры . . . . .	2,52—2,58	2,64—2,76	4,6—6,9	849—1641	105—150
То же . . . . .	2,26—2,47	2,60—2,66	6,4—13,5	375—778	70—124
» . . . . .	2,65—2,74	2,70—2,84	4,2—4,8	1130—1748	137—189
Кварцевые порфириты мелко- и среднезернистые . . . . .	2,32—2,44	2,60—2,64	7,7—11,4	791—928	113—123
Грубообломочные туфы:	2,63—2,65	2,68—2,74	5,1—5,2	786—1341	126—154
смешанного состава мелкообломочные . . . . .	2,59—2,66	2,67—2,71	3,7—5,6	538—659	75—138
То же, среднеобломочные . . . . .	2,52—2,56	2,70—2,76	5,9—6,9	520—842	86—732
основного состава мелкообломочные с глинистым цементом . . . . .	2,56—2,63	2,70	3,3	486	59
песчаноглинистые, плотные . . . . .	2,60	2,73	4,8	1213	146
Известняки мелко- и среднезернистые . . . . .	2,71—2,76	2,74—2,84	3,3—5,3	630—883	89—148
Метасоматиты:					
пироксен-альбитовые . . . . .	2,62—2,70	2,73—2,84	3,7—5,3	584—1081	109—147
пироксен-альбитовые мелкозернистые . . . . .	2,86	—	—	889	95
альбит-хлорит-пироксеновые, мелко- и среднезернистые . . . . .	2,71	2,84	5,6	709	118
Методика . . . . .	2	2	2	15	15

Таблица 87

**Физико-механические свойства горных пород  
объектов разведки Высокогорской, Гороблагодатской,  
Восточной, Кусинской ГРП**

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
<b>Высокогорская ГРП</b>					
Габбро . . . . .	3	<u>7,41—25,0</u> 13,36	<u>2,15—2,25</u> 2,20	<u>32—85</u> 50	<u>IX—XII</u> X
Диорит лейкократовый . . . . .	1	3,17	2,14	14,5	VII
Роговик калишпатизированный . . . . .	1	8,33	2,28	37	X
Снежно-диорит . . . . .	1	5,13	2,44	24	IX
<b>Гороблагодатская ГРП</b>					
Габбро-диабаз . . . . .	2	—	<u>1,26—1,80</u> 1,53		
Порфирит измененный . . . . .	2	18,30	<u>1,19—2,01</u> 1,63	38,5	X
Ортофир (карбонатизированный) . . . . .	1	15,0	2,02	30	IX
Скарн эпидот-гранатпироксеновый . . . . .	2	<u>16,67—25,0</u> 20,83	<u>1,28—2,07</u> 1,68	<u>32—34,5</u> 33	IX
<b>Восточная ГРП</b>					
Габбро-порфирит . . . . .	4	<u>9,10—22,22</u> 16,54	<u>0,60—0,85</u> 0,75	<u>16—23</u> 21	<u>VIII—IX</u> VIII
Порфирит . . . . .	1	15,39	0,68	16,0	VIII
Дацитовый порфирит . . . . .	4	<u>14,28—15,30</u> 15,11	<u>0,85—0,95</u> 0,90	<u>23—24</u> 24	IX
Кислые эффузивы . . . . .	2	25,0	<u>0,67—0,80</u> 0,73	<u>25—33</u> 29	IX
Туф крупнообломочный . . . . .	4	<u>8,0—11,11</u> 6,68	<u>0,90—1,05</u> 1,00	<u>14,80—20,50</u> 16	<u>VII—VIII</u> VIII
Туффит . . . . .	4	<u>8,51—12,50</u> 10,97	<u>0,60—1,35</u> 0,92	<u>11,50—28</u> 19	<u>VII—IX</u> VIII
Песчаник . . . . .	4	<u>5,41—6,06</u> 5,8	<u>2,10—2,45</u> 2,25	<u>22,8—30</u> 26	<u>VIII—X</u> IX

Порода	Число образцов	$F_D$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Кусинская ГРП					
Конгломерато-брекчия серая, среднеобломочные, текстура брекчиевидная, состав: кварц, плагиоклаз; сильно трещиноватые . . .	5	5,4—11,4	1,2—1,3	13,76—26,4	VIII
		6,5	1,2	19,7	
Диабаз мелкозернистый, серый, массивной текстуры с вкрапленностью пирита, переслаивается с конгломерато-брекчией серой, среднеобломочной. Породы на контакте дробленые, сильно трещиноватые . . . . .	1	6,7	1,1	15,11	VII
		2,2—11,4	1,1—2,6	11,0—33,0	
Мигматиты . . . . .	22	6,2	1,8	22,8	VIII
		4,4—11,4	1,1—2,4	14,0—49,0	
Биотитовый гнейс . . . . .	7	7,5	1,7	23,0	VIII
		13,6—22,2	1,3—1,9	33,0—67,0	
Дайка диабазов . . . . .	5	20,5	1,7	54	X
		8,9—33,3	0,8—2,2	14,5—105	
То же . . . . .	7	20,7	1,6	59,3	X
		5,7—25,0	1,6—2,3	21,5—40,0	
Биотитовый кварцито-гнейс	13	9,7	1,9	34,7	IX
		3,4—5,3	2,5—2,7	22—26,5	
Кварцито-гнейс . . . . .	2	4,3	2,6	24	IX
		3,4—10,0	1,8—3,1	20,3—42,5	
Метагравелит . . . . .	6	6,6	2,3	30	IX
		5,3—13,3	1,5—2,8	30—35	
Диабазы . . . . .	3	8,2	2,2	33	IX
		6,2	2,8	36	
Кварцито-гнейс . . . . .	1	6,2	2,8	36	X
		5,7—8,0	1,9—2,9	30—36	
Биотитовый гнейс . . . . .	3	6,6	2,5	34	X
		6,2	3,1—3,7	37,5—45,0	
Метагравелит . . . . .	2	6,2	3,4	41,2	X
		5,7—20,0	1,3—2,5	18,0—62,5	
Биотитовый гнейс . . . . .	3	10,9	1,9	36,8	X

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Метагравелит . . . . .	3	8,8—40,0	2,0—2,4	35—135	XI
		19,6	2,3	72	
Метагравелитовый кварцит	2	6,2—10,0	2,4—2,6	30—50	X
		3,1	2,5	40	
Метагравелит . . . . .	1	10,0	1,9	36	X
Биотитовый гнейс . . . . .	1	25,0	1,6	65	XI
Методика . . . . .		1	1	1	1

В табл. 88 приведены результаты исследований пород Шерегешского месторождения, выполненных С. Е. Могилевской [44] и физико-механической лабораторией ЦНИГРИ.

Полученные данные относятся к интрузивным, эффузивным, вулканогенно-осадочным, осадочным и метаморфическим разностям пород.

Характерной особенностью исследованных пород является их высокая механическая прочность на сжатие и динамическая прочность по методу толчения.

Коэффициент абразивности для большинства пород также весьма высокий. Высокие значения динамической прочности и абразивности отразились и на категориях буримости для вращательного бурения (VIII—XI).

Результаты контрольного определения категорий пород Таштагольского, Темиртауского и Казского месторождений, выполненных по ОСТ 41-89—74, приведены в табл. 89.

Обращают на себя внимание сравнительно невысокие значения динамической прочности, абразивности и категорий буримости по Таштагольскому месторождению. Этим в большей степени объясняются высокие показатели бурения гидроударниками.

Механические свойства других двух месторождений — Темиртауского и Казского более высокие, особенно по значению  $F_d$ , вследствие чего гидроударное бурение на этих месторождениях оказалось неэффективным.

Таблица 88

## Физико-механические свойства горных пород Шерегешского месторождения (Горная Шория)

Генетические разности пород	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$v_p$ , м/с	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Диорит с повышенной щелочностью . . .	1				16,67	2,28	62	XI
Сниенит . . . . .	2				$\frac{8,00-8,7}{8,35}$	$\frac{2,55-2,14}{2,35}$	$\frac{47-50}{48,5}$	X
Гранит . . . . .	18	$\frac{2,50-2,65}{2,60}$	$\frac{1221-2679}{1420}$	$\frac{2880-5180}{4360}$	—	—	—	—
Аплит . . . . .					7,14	3,10	45	X
Порфирит . . . . .	86	$\frac{2,59-3,38}{2,78}$	$\frac{750-2649}{1529}$	$\frac{3650-6200}{5600}$	—	—	—	—
Альбитофир . . . . .	3				$\frac{10,53-18,18}{14,3}$	$\frac{1,4-1,75}{1,54}$	$\frac{27,5-54}{39}$	X
Альбитофир . . . . .	22	$\frac{2,46-2,70}{2,53}$	$\frac{1100-3549}{1839}$	$\frac{4300-5350}{5050}$				
Туф среднего состава . . . . .	2				$\frac{12,1-16,6}{14,3}$	$\frac{1,2-1,75}{1,2}$	$\frac{27,3-32,1}{30,2}$	IX
Туф трахитовых порфиров . . . . .	4				$\frac{11,1-18,0}{14,6}$	$\frac{1,5-1,8}{1,6}$	$\frac{31,5-50}{40,7}$	X
Известняк . . . . .	77	$\frac{2,59-2,76}{2,72}$	$\frac{529-1499}{1000}$	$\frac{3320-6680}{4900}$	—	—	—	—
Роговик эпидот-пироксеновый . . . . .	8				$\frac{13,3-22,2}{17,7}$	$\frac{1,8-2,45}{2,13}$	$\frac{43-88}{65}$	XI
Скарн пироксен-гранатовый . . . . .	4				$\frac{17,4-25}{21}$	$\frac{1,7-2,0}{1,85}$	$\frac{51-60}{55}$	XI
Скарны . . . . .	54	$\frac{2,68-4,00}{3,38}$	$\frac{1408-4672}{2122}$	$\frac{4600-7200}{5850}$				
Сланец кварцево-серицитовый . . . . .	1				6,6	1,6	20,0	VIII
Скарнированный порфирит . . . . .	2				$\frac{10,5-15,4}{13,0}$	2,05	$\frac{40-58,0}{49}$	X
Руда полосчатая . . . . .					10,5	1,7	20,0	VIII
Руда . . . . .	19	$\frac{3,77-4,43}{4,2}$	$\frac{1710-2449}{1839}$	$\frac{3910-6800}{5200}$	—	—	—	—
Методика . . . . .		3	15	11	1	1	1	1

Таблица 89

## Физико-механические свойства горных пород объектов разведки Таштагольской, Темиртауской и Казской ГРП

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Таштагольская ГРП					
Сиенит . . . . .	2	$\frac{10,53-14,29}{12,41}$	$\frac{1,50-1,68}{1,59}$	$\frac{31-37}{34}$	IX—X
Диоритовый порфирит . .	3	$\frac{8,0-16,67}{12,93}$	$\frac{0,58-1,31}{0,92}$	$\frac{16,5-22,0}{19,5}$	VIII
Порфирит измененный карбонатизированный . .	1	8,0	1,31	20,0	VII
Альбитофир . . . . .	5	$\frac{9,52-16,66}{12,77}$	$\frac{1,43-1,97}{1,67}$	$\frac{32-46}{36}$	IX—X IX
Фельзитовый порфир . .	1	10,53	1,68	32	IX
Туф кислого состава измененный . . . . .	5	$\frac{6,89-11,11}{9,77}$	$\frac{0,63-1,28}{1,07}$	$\frac{8-22,5}{19}$	VI—IX VII
Туф кислого состава . .	2	$\frac{11,1-18,18}{14,64}$	$\frac{0,65-1,75}{1,20}$	$\frac{13,5-55}{34}$	III—XI IX
Сланцы хлорит-серицитовые, хлорит-кварц-карбонатные . . . . .	12	$\frac{5,41-11,11}{7,53}$	$\frac{0,46-1,15}{0,81}$	$\frac{5,5-15,0}{11,9}$	V—VII VII
Скарны . . . . .	1	8,33	1,55	24,5	IX
Кварц-карбонат-серицит-полевошпатовая порода . .	8	$\frac{6,45-11,11}{8,30}$	$\frac{0,76-1,45}{1,19}$	$\frac{10,5-25}{15,5}$	VII—IX VIII
Руда магнетитовая . . .	3	$\frac{10,0-12,5}{11,2}$	$\frac{1,05-2,18}{1,76}$	$\frac{18-46}{36}$	VIII—X IX
Темиртауская ГРП					
Габбро соскюритизированное . . . . .	2	$\frac{9,52-14,29}{11,9}$	$\frac{1,54-1,38}{1,46}$	$\frac{26,0-33}{29,5}$	IX
Гранодиорит роговообманковый . . . . .	1	11,11	1,76	35	IX
Сиенит-порфир . . . . .	1	12,52	1,35	29,5	IX
Адамеллит-порфир . . . .	1	13,33	0,95	22,5	VIII
Гранит-порфир . . . . .	4	$\frac{15,38-28,57}{20,53}$	$\frac{1,0-2,15}{1,59}$	$\frac{33-85}{53}$	IX—XII X
Диабазовый порфирит . .	1	33,33	1,35	62,5	XI

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Скарны карбонат-хлорит-магнетитовые, альбит-скаполит-цоизитовые, пироксеновые, пироксен-гранатовые	14	14,29—40,0	0,70—2,02	32—90	IX—XII
		28,65	1,35	54	X
Скарнированный гранитоид	1	25,0	1,75	63,0	XI
Казская ГРП					
Габбро окварцованное	1	40,0	2,44	85	XII
Габбро-диабаз эпидоти-вированный	1	20,0	1,61	53	XI
Спессартит	1	40,0	1,23	68	XI
Гранит-порфир	3	20,0—25,0	1,03—1,55	32—57	IX—XI
		22,41	1,32	48	X
Диабазовый порфирит	2	12,5—25,0	1,70—1,98	44—65	X—XI
		18,7	1,84	55	
Скарны эпидотовые, эпидот-гранатовые, карбонат-пироксен-гранатовые	8	11,79—40,0	1,08—2,42	22,5—130	VIII—XII
		24,23	1,61	60	XI
Методика	1	1	1	1	1

## Северный Казахстан

### Соколовско-Сарбайское месторождение железа

Сложный комплекс рудовмещающих горных пород данного месторождения широко изучен Е. С. Ватолиным и Р. И. Тедером [13]. Результаты определения физико-механических свойств пород приведены в табл. 90.

При анализе полученных данных авторами работы обращено внимание на корреляционные связи между значениями некоторых физико-механических свойств. Так, зависимость между временным сопротивлением сжатию и растяжению выражается прямой линией, причем с увеличением  $\sigma_{сж}$  увеличивается и  $\sigma_p$ . Отношение  $\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$  для исследованных пород  $\approx 10$ ; коэффициент крепости  $f$  и  $\sigma_{сж}$  также связаны между собой прямолинейной зависимостью; с увеличением  $f$  увеличивается  $\sigma_{сж}$ , при этом  $f = \frac{\sigma_{сж}}{140}$ .

Коэффициент крепости  $f$  и условный показатель хрупкости  $\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$

Таблица 90

## Физико-механические свойства горных пород Соколовско-Сарбайского месторождения

Генетические разности пород	Временное сопротивление сжатию $\sigma_{сж} \times 10^{-5}$ , Па	Временное сопротивление растяжению $\sigma_{р} \cdot 10^{-5}$ , Па	Коэффициент крепости $f$	Временное сопротивление сдвигу $\sigma_{сдв} \cdot 10^{-5}$ , Па	Твердость по Шору РШ	Статическая твердость на приборе ПТА, Па/об	Коэффициент абразивности А	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$P_{шир} \cdot 10^{-7}$ , Па
Диорит-порфирит . . .	1326	184	9,0	286	81	5,0	1,23	6,7	0,4	408
» . . . . .	2040	255	13,4	374	69	5,41	0,42	6,2	0,18	469
» . . . . .	2754	215	23,1	429	85	3,78	1,24	5,4	0,24	643
» биотитизированный . . . . .	2361	220	17,7	439	63	7,78	0,91	6,9	0,18	469
Сиенит-порфир . . . . .	1938	224	17,7	459	78	3,06	11,92	5,6	0,31	622
» . . . . .	1530	204	12,2	306	87	—	1,53	6,2	0,3	403
Гранит-порфир . . . . .	224	286	13,2	454	89	—	1,73	6,8	0,38	388
Альбитофир . . . . .	918	122	9,7	189	61	1,22	1,63	7,4	0,28	404
Альбитофир, скарнированный актинолитом . . . . .	1887	184	13,0	302	70	4,39	0,37	7,8	0,39	230
Туф альбитофира . . . . .	1632	214	9,9	316	82	2,24	1,99	4,8	0,16	422
Порфирит диабазовый . . . . .	1816	214	19,5	371	68	1,99	1,31	9,1	0,23	439
Туф порфирита . . . . .	1990	184	85	352	75	5,61	1,54	4,7	0,24	199
Туффиты, скарнированные эпидотом и актинолитом . . . . .	1734	184	12,8	354	68	3,78	0,52	5,9	0,3	150
Известняк глинистый . . . . .	1467	102	6,1	236	58	1,90	1,02	6,6	0,22	153
» мраморизованный . . . . .	1846	112	6,7	222	50	4,39	0,03	7,2	0,42	130
» . . . . .	683	92	5,0	148	41	3,88	0,07	10,9	0,5	—
Кварцевый песчаник . . . . .	1693	153	6,5	304	72	1,93	1,41	4,6	0,21	196
Скарн скаполитовый . . . . .	1938	250	11,2	326	74	5,71	0,70	9,5	0,4	388

Оруденелый скарн . . . . .	1480	173	11,5	326	69	0,10	1,54	8,9	0,26	339
Скарн пироксен-эпидотовый . . . . .	959	122	18,7	189	66	5,31	0,06	1,0	0,41	—
Гранатовый скарн с магнетитом . . . . .	2744	235	14,9	500	80	3,06	1,73	15,3	0,47	359
Роговик скарнированный пироксеном . . . . .	2264	255	14,7	420	86	3,78	0,5	7,95	0,17	261
Гранатовый скарн с магнетитом . . . . .	2183	224	7,8	410	67	4,50	0,11	6,9	0,27	490
Эпидот-актинолитовая порода . . . . .	1836	194	15,5	360	63	7,55	0,18	4,0	0,34	286
Роговик скарнированный пироксеном . . . . .	2774	235	21,0	450	80	3,50	2,17	6,3	0,28	422
Пироксен-гранатовый скарн . . . . .	1663	143	9,8	325	60	2,86	1,22	9,1	0,21	357
Руды:										
Бедная магнетитовая . . . . .	1520	214	13,8	350	80	8,57	0,58	8,0	0,41	337
Железная окисленная . . . . .	387	32	1,0	60	39	3,78	0,09	5,3	0,18	—
Магнетитовая убогая . . . . .	1530	191	11,3	296	66	4,29	0,06	9,1	0,16	286
То же . . . . .	1316	152	10,5	230	64	5,90	0,17	6,9	0,21	255
Богатая магнетитовая . . . . .	887	102	5,3	160	53	4,38	0,21	4,3	0,41	235
Убогая . . . . .	2876	235	18,7	520	82	2,55	1,31	12,6	0,39	306
Магнетит мелкозернистый . . . . .	2417	173	12,9	365	64	3,06	1,17	8,3	0,34	388
Богатая магнетитовая . . . . .	2795	235	4,6	450	66	6,63	0,38	7,2	0,36	265
Методика . . . . .	15	15	29	—	26	19	20	11	11	24

Таблица 91

Физико-механические свойства горных пород с объекта разведки Соколовской ГРЭ

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Гранодиорит . . . . .	1	20,0	1,30	42,0	X
Гранит . . . . .	3	6,06—9,09	1,70—1,85	20,5—31,0	VIII—IX
		7,10	1,80	25	VIII
Диоритовый порфирит . . . . .	7	20—26,78	1,00—2,25	33—75,0	IX—XI
		23,1	1,61	55	X
Порфирит . . . . .	10	10—26,78	0,68—2,00	12,5—79	VII—XII
		21,6	1,61	56	XI
		9,09—18,18	0,60—1,45	11,0—44	VII—X
Туф андезитового состава . . . . .	11	14,4	0,95	21	VIII
		13,81—20,0	0,95—1,93	26—66	IX—XI
Пироксеновый скарн слабо альбитизированный	8	18,49	1,37	42	X
Рудный скарн . . . . .	3	7,14—16,67	0,25—0,90	6,9—12,5	VI—VII
		10,96	0,56	9,0	VI
Руда магнетитовая . . . . .	1	5,26	2,05	22	VIII
Методика . . . . .		1	1	1	1

имеют корреляционную связь в виде прямой линии, причем с увеличением показателя хрупкости коэффициент крепости уменьшается очень незначительно. Твердость по штампу  $P_{шт}$  и динамическая твердость по Шору  $P_{ш}$  связаны между собой криволинейной зависимостью, близкой к параболе. Причем с увеличением значения  $P_{шт}$  наблюдается увеличение твердости по Шору, особенно при малых значениях твердости. Но так как величина твердости по штампу изменяется сравнительно больше, а твердость по Шору остается почти неизменной, то статические испытания пород на твердость фиксируют с высокой чувствительностью различия пород по твердости.

Коэффициент крепости  $f$  и твердость по штампу  $P_{шт}$  имеют прямолинейную корреляционную связь: с увеличением крепости твердость по штампу увеличивается. Твердость по штампу  $P_{шт}$  и удельная контактная работа разрушения  $A_s$  связаны зависимостью, близкой к прямолинейной: с увеличением твердости по штампу удельная контактная работа разрушения увеличивается. Коэффициент уплотнения  $K_y$  связан обратной пропорциональной зависимостью с твердостью по Шору. Остальные показатели не имеют корреляционной связи между собой.

Экспериментальные данные показывают, что для различных производственных целей нельзя ограничиваться определением только одного или нескольких близких показателей физико-механических свойств, а необходимо, особенно в связи с широкой механизацией, определять широкий комплекс показателей физико-механических свойств.

В последнее время на объекте разведки Соколовской ГРП выполнены определения механических свойств горных пород по ОСТ 41-89—74. Результаты определений приведены в табл. 91.

Обращает на себя внимание сравнительно широкий диапазон значений динамической прочности, абразивности и категорий буримости по значению  $\rho_m$  для туфов и скарнов, что, вероятно, связано с составом и структурой этих пород.

## Забайкалье

### *Балейское рудное поле*

В работе Ю. Г. Сафонова, С. С. Максимова и В. Г. Хомич [63] приведены значения физико-механических свойств пород Балейского рудного поля в связи с изучением его структуры (табл. 92).

Сравнительно невысокие значения модуля упругости и коэффициента Пуассона указывают на высокие деформационные свойства исследованных пород. Исключением являются малоизученные андезитовые порфириты.

## Красноярский край

В связи с контрольным определением категорий буримости по ОСТ 41-89—74 были определены значения  $F_d$ ,  $K_{абр}$ ,  $\rho_m$  и категории по  $\rho_m$  (табл. 93).

Таблица 92

## Физико-механические свойства пород Балейского рудного поля

Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_p \cdot 10^{-5}$ , Па
	от—до среднее	от—до среднее	от—до среднее	от—до среднее	от—до среднее	от—до среднее	от—до среднее
Гранодиориты, диориты мало измененные . . . . .	2,61—2,87	0,37—2,27	5,6—7,7	0,10—0,28	1,39—3,24	1122—1887	102—184
	2,7	1,17	6,6	0,19	2,31	1693	143
Гранодиориты, граниты измененные . . . . .	2,5—2,70	2,8—14,4	2,00—5,9	0,11—0,21	0,70—1,97	510—1450	82—143
	2,55	5,57	4,8	0,16	1,46	1020	102
Андезитовые порфириты измененные . . . . .	2,44—2,65	3,3—14,1	3,0—6,2	0,13—0,22	0,98—1,98	1224—2264	78—184
	2,50	7,5	4,6	0,16	1,7	1754	143
То же порфириты мало измененные . . . . .	2,61—2,73	0,8—2,10	6,4—8,0	0,17—0,36	2,31—2,74	1928—2040	146—199
	2,65	1,56	7,1	0,24	2,4	2244	176
Лавобрекчии измененные . . . . .	2,33—2,53	8,6—13,1	2,6—4,4	0,13—0,18	0,70—1,29	683—1142	82—114
	2,43	10,5	3,1	0,14	1,0	918	92
Туфобрекчии измененные . . . . .	2,39—2,84	8,8—16,5	2,3—3,5	0,08—0,16	0,60—1,09	112—1244	59—104
	2,48	11,5	2,8	0,12	0,95	816	82
Конгломераты . . . . .	2,16—2,71	2—20	1,13—6,65	0,03—0,48	0,45—2,70	—	—
	2,43	8	3,8	0,22	1,90	—	—
Песчаники . . . . .	2,15—2,57	7—21,5	1,34—3,35	0,08—0,40	0,18—2,9	449—755	34—78
	2,34	12,6	2,1	0,18	0,7	612	47
Методика . . . . .	2	2	11	11	11	15	15

Таблица 93

Физико-механические свойства горных пород объекта разведки  
Изыкской и Верхне-Канзыбинской ГРП Красноярского ГГУ

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Изыкская ГРП					
Габбро соссюртизированное . . .	1	15,39	1,25	37	X
Кварцевый диорит . . . . .	3	12,50—15,38	1,63—2,10	37—54,5	X—XI
		14,05	1,90	47	X
Кварцевый диоритовый порфирит	2	15,39	2,1—2,42	55—65	XI
			2,26	60	
Альбитофиры . . .	4	7,69—15,38	1,40—2,18	28—59,0	IX—XI
		12,04	1,72	38	X
Известняк скарированный . . .	1	9,09	0,41	7,3	VI
Скарн . . . . .	2	18—25,0	0,50—2,28	14—85	VII—XII
		21,3	1,39	49	IX
Кварц - полевошпатовая порода .	4	5,71—10,53	0,48—1,76	8,5—32,5	VI—IX
		8,56	1,37	22	VIII
Верхне-Канзыбинская ГРП					
Диорит измененный . . . . .	1	13,33	1,36	34	IX
Диоритовый порфирит ороговикованный . . . . .	2	18,18—22,22	2,58—2,80	77—100	XII
		20,20	2,64	89	
Альбитофир окварцованный . . .	6	11,0—22,0	2,48—2,95	51—77	X—XII
		15,28	2,74	71	XI
Туф карбонатизированный . . .	2	10,53—12,50	0,56—2,16	10,5—50	VII—X
		11,51	1,36	30	IX
Песчаник с туфовым цементом .	4	13,33—16,67	1,86—2,35	45—62,5	X—XI
		14,91	2,14	55	XI
Известняк . . . . .	5	3,63—8,70	0,12—0,75	2,15—9,9	III—VI
		6,58	0,38	4,4	IV

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Роговик . . . . .	5	4,65—20	1,95—2,65	20—65	VIII—XI
		12,30	2,38	47	X
Скарн . . . . .	4	8,33—25,0	0,71—2,55	11—100	VII—XII
		18,88	1,92	64	XI
Методика . . . . .		1	1	1	1

## Южный Казахстан

### Месторождение вольфрама

В связи с исследованием генетических типов вольфрамовых месторождений в ВИМСе (А. А. Фролов и др.) были изучены образцы рудовмещающих пород одного из месторождений Южного Казахстана и определены их физико-механические свойства. Полученные данные приведены в табл. 94.

## Средняя Азия

### Алтын-Топканское месторождение полиметаллов

Имеющиеся литературные данные [57, 73] позволяют привести значения физико-механических свойств горных пород Алтын-Топканского рудного поля (табл. 95). Из таблицы видно, что наиболее низкие значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона как показателей высокой деформационной способности относятся к гранодиоритам.

### Майхуринское вольфрамовое месторождение

Количественное представление о породах данного месторождения дает табл. 96, где отражены значения некоторых механических свойств, полученные в тематической партии по технике разведки Таджикского геологического управления с использованием различных методик, в том числе методик, изложенных в ОСТ 41-89—74. Из данных таблицы следует, что на месторождении широко развит метаморфический комплекс пород. Наименее прочными, твердыми и абразивными являются мраморы и кристаллические сланцы; а наиболее прочными, твердыми и абразивными — кварциты, граниты и скарны.

Сотрудниками ППТР Таджикского геологического управления (Е. Кучер и З. Головачевым) проведены подобные работы на месторождении Кончоч. Полученные результаты приведены в табл. 97,

Таблица 94

## Физико-механические свойства горных пород одного из месторождений вольфрама (Южный Казахстан)

Номер образца	Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{эф}$ , %	$v_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu_{ср} \cdot 10^{-6}$ , CGSM	Акустическое сопротивление $R$ , Па·с М	Коэффициент относительной напряженности $\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па
Бо-24	Гранит	2,64	2,60	1,51	3864	5,85	0	1,07	3,88
Бо-85б	Среднезернистый, грейзенизированный гранит	2,63	2,55	3,04	4260	7,25	0	1,09	2,39
Бо-46	Грейзенизированный, среднезернистый гранит	2,69	2,65	1,49	3867	5,75	0	1,13	3,86
Бо-48	Гранит мелкозернистый, грейзенизированный	2,66	2,60	2,25	3333	4,35	0	0,87	1,90
Бо-45	Песчаник мелкозернистый, слоистый	2,75	2,73	0,73	3786	5,36	320	1,03	7,38
Бо-862	То же	2,73	2,69	1,46	5000	9,48	32	1,35	6,48
Бо-36	»	2,78	2,75	1,08	5000	9,27	20	1,38	8,59
Бо-860	»	2,82	2,79	1,06	5384	10,50	48	1,50	10,0
Бо-50	»	2,79	2,77	0,72	5250	10,15	420	1,45	14,10
Бо-858	Песчаник хлоритизированный	2,78	2,75	1,08	5200	10,03	30	1,43	9,38
Бо-31	Песчаник	2,75	2,72	1,09	5000	9,37	36,6	1,36	8,57
Бо-40/2	Амфиболитизированный песчаник	2,87	2,79	2,78	4428	3,51	35	1,24	1,25
Бо-40/1	Песчаник слабо измененный	2,76	2,73	1,08	3900	5,68	13	1,10	5,26
Бо-47	Песчаник	2,74	2,72	0,73	5000	9,37	117	1,36	12,84
Бо-33	»	2,72	2,68	1,47	3622	4,99	8,5	0,97	3,35
Бо-44	Песчаник окварцованный	2,77	2,73	1,44	5160	9,97	425	1,01	6,92
Бо-49	То же	2,74	2,70	1,45	4500	7,65	290	1,22	5,27

Номер образца	Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{\text{эф}}$ , %	$v_p$ , м/с	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu_{\text{ср}} \cdot 10^{-6}$ , CGSM	Акустическое сопротивление $R$ , Па·с М	Коэффициент относительной напряженности $\lambda \cdot 10^{-10}$ , Па
Бо-859	Песчаник мелкозернистый окварцованный	2,78	2,73	1,80	5541	11,46	52	1,51	6,36
Бо-32	Ороговикованный песчаник	2,74	2,71	1,09	4166	6,53	52	1,20	5,99
Бо-861	Песчаник	2,73	2,70	1,10	5147	10,01	30	1,40	9,10
Бо-851	Песчаник тонкозернистый	2,86	2,84	0,70	5000	8,98	152	1,42	12,82
Бо-853	Песчаник тонкозернистый окварцованный	2,73	2,70	1,10	5400	10,85	47	1,46	9,86
Бо-852	Кварцевый песчаник	2,78	2,75	1,08	5384	10,60	60	1,48	9,96
Бо-38	Песчаник	2,74	2,66	2,92	4285	7,04	40	1,14	2,38
Бо-17	То же	2,84	2,82	0,70	5000	9,05	39	1,41	12,92
Бо-18	»	2,78	2,77	0,36	4250	6,65	36	1,18	18,47
Бо-23	»	2,80	2,78	0,71	5230	10,03	286	1,45	14,14
Бо-41	Карбонатизированный плотный сланец	2,78	2,76	0,72	5600	11,59	20	1,55	16,10
Бо-40/3	Карбонатизированный сланец	2,78	2,73	1,79	5164	12,78	32	1,41	6,97
Бо-43	Сланец	2,95	2,91	1,35	3863	6,98	390	1,12	5,17
Бо-857	Сланец свежий	2,73	2,69	1,46	5556	11,70	82	1,50	8,02
Бо-16	То же	2,89	2,87	0,69	5370	10,75	82	1,54	14,84
Бо-26	»	2,81	2,78	1,07	5350	10,50	15	0,98	18,56
Бо-27	»	2,86	2,83	1,05	5388	10,47	70	1,53	9,97
Методика		3	3	3	11	11	8	12	13

Таблица 95

**Физико-механические свойства горных пород  
Алтын-Толканского рудного поля**

Порода	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{5\phi}$ , %	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$
Гранодиорит . . . . .	2,84	3,3	—	3,49	
» . . . . .	2,84	0,6—	—	5,1—	0,18—
		0,9		5,6	0,2
Сиенит . . . . .	2,75—	3,6—	—	7,9—	0,21—
	2,92	4,1		10,7	0,23
Гранодиорит-порфир . . . . .	—	0,4—	—	7,1—	0,18—
» . . . . .	2,67	0,75		8,3	0,2
Кварцевый порфир . . . . .	2,62	2,0		6,69	
» . . . . .	—	1,5	—	6,89	0,25—
		—		6,1—	0,26
				8,2	0,2
Песчаник . . . . .	3,06	1	—	11,73	—
Известняк . . . . .	2,71—	3,6—	—	3,9—	0,2—
	2,81	7,7		4,9	0,24
» . . . . .	—	1,0—	—	5,3—	0,22
		1,8		6,5	0,28
Прибрежные органогенно-обломочные известняки верхнего девона . . . . .	—	1,84	1316	6,65	0,26
Глубоководные детритусовые органогенно-обломочные известняки нижнего карбона . . . . .	—	1,06	1234	7,60	0,30
Скарны волластонит-пироксеновые . . . . .	—	1,93	2876	13,88	0,19
Скарны пироксен-гранатовые . . . . .	—	4,79	2142	10,25	0,16
Эпидотовые породы . . . . .	—	3,02	1918	11,07	0,21
Скарны родонитовые . . . . .	—	3,41	3050	11,37	0,24
Скарны геденбергитовые . . . . .	—	2,37	1744	6,80	0,21
Апоскарновые породы . . . . .	—	2,44	1051	5,90	0,26
Эпидозит . . . . .	3,27	2	—	9,18	
Скарны роговиковые, известковые, пироксеновые, гранатовые, эпидотовые, родонит-гранатовые . . . . .	3,04— 3,60	1,0— 5,1	—	9,18	—
Девонские метаморфизованные карбонатные породы по мелководным известнякам . . . . .	—	1,86	2142	8,79	
Нижнекаменноугольные перекристаллизованные глубоководные известняки . . . . .	—	7,86	1579	1,06	
Методика . . . . .	3	3	15	11	11

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Майхура

Скважина	Глубина, м	Геологическое описание образцов горных пород	Число образцов	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$P_k \cdot 10^{-7}$ , Па	$P_{ш} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
331	146	Граниты мелкозернистые, хлоритизированные, по редким трещинам эпидотизированы		2,57	2002	14,68	198	322	11,11	1,80	35	X
334	93	Мраморы брекчированные, графитизированные, хлоритизированные, слабо эпидотизированные		2,76	819	7,83	90	145	3,63	1,20	10,5	VII
210	69	Мраморы среднезернистые, трещиноватые по трещинам хлоритизация		2,70	559	6,06	97	156	4,0	1,00	9,3	VI
208	55	То же, скарнированные, окварцованные		2,76	950	8,66	87	140	4,44	0,90	9	VI
208	65	То же, плотные	5	2,70	992	8,92	72	117	5,0	0,70	7	VI
Штольня западная, квершлаг	1,145	Мраморы мелкозернистые, местами замещенные метасоматическими кварцитами с прожилками скарнов		2,58	—	—	90	145	6,45	1,30	17	VIII
				2,70	830	7,88	87	140	4,7	1,02	10,9	VIII
				2,58	—	—	90	145	6,45	1,30	17	VIII
334	55	Кварциты метасоматические, тонкозернистые, скарнированные, местами слабо кальцитизированные		2,79	1537	12,10	205	331	9,09	1,70	30	IX
323	60	То же, мелкозернистые		2,73	2567	17,54	265	427	8,0	2,70	42	X
334	155	То же, тонкозернистые		2,67	2498	17,17	215	347	13,33	2,65	60	XI
Штольня западная, квершлаг	1	То же, мелкозернистые	5	2,75	—	—	291	468	10,0	2,80	50	X
Штольня западная, рассечка	130	Кварциты мелкозернистые, скарнированные		2,69	—	—	209	336	12,50	1,80	39	X
				2,73	2201	15,70	237	381	10,59	2,33	46	X
333	3,0	Сланцы кварцево-сланцевые, мелкозернистые		2,74	992	8,92	143	—	9,09	1,40	24	IX
334	145	Сланцы графитизированные, интенсивно окварцованные, почти нацело замещенные кварцем, тонкозернистые	3	2,72	1265	10,65	237	381	8,0	2,20	33	IX
331	15	Сланцы окварцованные		2,71	1053	9,28	111	179	13,33	1,35	30	IX
240	40	Эпидот-кварцевая мелкозернистая порода		2,78	1733	13,16	235	377	15,38	1,50	39	X
Западная штольня	125	Пироксен-кварцевая порода		2,54	—	—	287	462	16,66	1,90	51	X
То же, рассечка	51	Скарн пироксеновый, среднезернистый		3,47	—	—	—	—	10,0	1,90	35	X
331	19	Скарн гранат-пироксеновый, мелкозернистый, окварцованный		3,22	—	—	—	—	13,33	1,20	28	IX
				3,35	—	—	—	—	11,67	1,65	32	IX
		Методика		2	15	29	18	24	1	1	1	I

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Кончоч

Скважина	Интервал глубин, м	Месторождение, участок	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$R_k \cdot 10^{-7}$ , Па	$R_{ш} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	Объединенный показатель $R_M$	Категория бурения по $R_M$
49	106—114	Кончоч	Гранодиорит крупнозернистый	2,68					4,0	1,90	16,5	VIII
		Центральный	Гранит-порфиры среднезернистые	2,65	661	6,81	212	337	4,0	1,10	10,2	VII
		»	Песчаник разнозернистый	2,63	1322	10,89	67	109	6,66	1,10	16	VIII
		»	Песчаник рассланцованный и ожелезненный	2,69	—	—	—	—	5,70	0,80	9,7	VI
		»	Песчаник псаммитовый	2,66	—	—	—	—	7,00	0,75	10,3	VII
49	283—286	Центральный	Конгломерат с обломками известняка	2,71	—	—	—	—	5,0	0,60	6,8	VI
		Центральный	Углисто-глинистые сланцы	2,50	—	—	—	—	3,63	0,80	6,8	VI
		Восточный	Углистые сланцы	2,49	625	6,55	60	98	10,0	0,80	17	VIII
		Кончоч	Конгломерато-брекчия, состоит из обломков кварца,	2,7					7,14	1,10	16	VIII

117a	26,20	»	кремня и глинистых включений	2,67	1183	10,08	90	145	13,33	0,90	20	VIII
22, 149в		»	Кремнистая брекчия, состоит из обломков кварцевых песчаников с кремнистым и глинисто-гидрослюдистым цементом, окремненных алевролитов и кварцево-серицитовых сланцев, сцементирована глинистым материалом	2,61	450	5,30	29	46	4,0	0,6	5,5	V
926, 68ПГ 56		»	Метониты (брекчия смешанного состава)	3,14	486	5,59	87	140	6,66	1,0	13	VII
		»	Брекчия дробления гранит-порфиров тонкозернистая, содержит рассеянные выделения кварца	2,06	—	—	192	310	14,28	1,0	24	IX
		Центральный	Брекчированные известняки с гематитом	2,64	602	6,41	38	59	5,0	0,7	8	VI
Методика				2	15	29	18	24	1	1	1	1

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Пиждарва

Скважина	Интервал глубин, м	Место взятия образца	Геологическое описание образцов горных пород	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория бурения по $\rho_m$
13	89,2—87,6; 3, 4, 3, 3		Гранодиориты выветрелые, сильно трещиноватые, лимонитизированные, прожилки кальцита, вкрапленники арсенопирита мелкозернистые		2,59	2,73	1,20	8,0	VI
13	93,8—97,5 36, 37, 39, 40		Гранодиорит серый, мелкозернистый, каолинизированный, трещиноватый, биотитовый, выветрелый		2,66	2,0	2,20	12,0	VII
6	28,9—30,1 69, 70, 71, 72	Западный фланг	Гранодиориты плотные, слабо трещиноватые, по плоскостям трещин — хлоритизация и вкрапленность арсенопирита, темно-серые от мелко- до среднезернистых	4	2,77	10,52	2,20	40	X
6	24,6—27 48, 50, 53	То же	Гранодиориты светло-серые, мелкозернистые, слабо трещиноватые, с реликтами более светлых, менее обогащенных темноцветными разновидностями		2,69	7,69	1,50	23	IX
6	43,5—45,5, 120, 125, 126, 131	»	Известняк крупнозернистый, массивный, белого цвета, трещиноватый		2,65	5,0	0,5	5,5	V
Штольня 1А	Рассечка 1А	Восточный фланг	Известняк доломитизированный, мраморизованный, серпентинизированный, тонкозернистый		2,63	8,0	0,55	9,0	VI
13	81,4—82,6 231	То же	Известняк тонкозернистый, массивный, трещиноватый, по трещинам лимонитизированный, серый, темно-серый		2,73	6,25	1,70	21,0	VIII
13	88—97 255, 247, 254	»	Известняк мраморизованный, светло-серый, от тонко- до скрытозернистого	6	2,83	1,3	1,90	7,0	VI
13	24,4—27,4 77	Западный фланг	Известняк доломитизированный, крупнозернистый, трещиноватый, по трещинам лимонитизированный		2,71	5,0	0,65	7,0	VI
Штольня 1	Штр. 6,15 м	Центральный участок	Известняк интенсивно серпентинизированный, с рассеянной вкрапленностью арсенопирита и халькопирита		3,22	18,0	0,55	17	VIII
13	260—264	То же	Песчаник тонкозернистый, измененный, сильно трещиноватый, серый		2,60	11,76	0,75	15,0	VII

Скважина	Интервал глубин, м	Место взятия образца	Геологическое описание образцов горных пород	Число образцов	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	F <sub>д</sub>	K <sub>абр</sub>	$\rho_m$	Категория бурения по $\rho_m$
13	61—62,5, 202	Центральный участок	Песчаник выветрелый, лимонитизированный, мелко-тонкозернистый, трещиноватый		2,60	4,65	1,55	16,0	VIII
Штольня 4	40 м	То же	Песчаник кварцитовидный, тонкозернистый, светло-серый	4	2,60	4,0	1,80	16,0	VIII
13	Штр. 20	»	Песчаник тонкозернистый, темно-серый, с тонкими прожилками кварца		2,68	5,70	2,3	25	IX
13	Штр. 20	»	Алевропесчаник серо-зеленый, скрытокристаллический		2,64	6,89	1,5	21	VIII
13	Штр. 40	»	Алевропесчаник кварцитовидный, светло-серый, тонкозернистый, трещиноватый		3,09	15,38	2,0	55	XI
Штольня 1	Шт. 4	»	Скарн амфиболовый с редкой вкрапленностью халькопирита, арсенопирита, светло-серый, с зеленым оттенком		2,89	7,4	2,4	33	IX
То же	Шт. 4, 20 м	»	Амфиболовый скарн с густой вкрапленностью и гнездами халькопирита, реже арсенопирита, зеленовато-серый		3,31	3,17	2,3	17	VIII

15	175,5—169,0	»	Скарн актинолитовый с густой тонкорассеянной вкрапленностью халькопирита и редкой — арсенопирита, по трещинам гематит; тонкозернистая прокварцованная масса		2,90	5,0	1,0	11	VII
Штольня 1	Штр. 2, рассечка 10, 25 м	»	Кварцевый метасоматит по гранодиориту, светло-серый, скрыто-тонкокristаллический	6	2,65	5,12	3,20	35	X
То же	Штр. 6	»	Интенсивно серпентинизированная, скарнированная, карбонатная порода с густой рассеянной вкрапленностью халькопирита (руда)		3,52	10,52	1,7	33	IX
	Обходной ствол, штр. 3	»	Амфиболовый скарн с массивной рудой, халькопиритом и редко пирротинном		3,61	6,66	1,9	24	IX
Поверхность	Штр. 4, 20 м	»	Роговик с вкрапленностью пирротина		2,81	10,0	2,8	56	XI
Штольня 4	Штр. 2, 30 м	»	Доломит — серпентинитовая брекчия		2,53	8,0	0,8	13	VII
Скв. 13	53—59, 189, 175	»	Интенсивно каолинизированная, лимонитизированная интрузивная порода		2,43	1,92	1,50	8,0	VI
Методика					3	1	1	1	1

Таблица 99

## Физико-механические свойства горных пород месторождения Курусай

Скважина	Интервал глубин, м	Месторождение	Геологическое описание образцов горных пород	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
2039	385—390	Туранглы	Диориты измененные, эпидотизированные, средне-мелкозернистые	2,74	3050	19,96	482	20,0	1,25	40	X
2099	494—488	»	Диориты среднезернистые, светло- и темно-серые	2,88	3043	19,91	396	8,33	1,90	32	IX
2016	453—461	Алма-Булак	Граниты розового цвета, мелкозернистые	2,60	2277	16,07	354	5,80	1,80	23	IX
2039	59	Курусай, Туранглы	Гранодиорит-порфиры, темно-серые, в порфировых выделениях плагиоклаз, основная масса мелко-средне-кристаллическая	2,70	2376	16,56	400	10,0	1,10	20	VIII
2039	141—147	»	Гранодиорит-порфиры, темно-серые, в порфировых выделениях, кроме плагиоклаза, розовый полевой шпат	2,70	1327	10,91	406	11,76	0,95	20	VIII
2039	390—397	»	Гранодиорит-порфиры розоватого цвета, среднезернистые с порфировыми выделениями розового полевого шпата, кварца	2,72	1938	14,30	420	9,52	1,20	21	VIII
2016	92—99	Алма-Булак	Кварцевый порфир от светло-серого до светло-розового цвета, мелкозернистый с порфировыми выделениями кварца и прожилками кварца	2,69	—	—	—	9,09	1,00	18	VIII
2016	553—559	»	Диабаз мелкозернистый, темно-серого цвета	2,75	2180	4,79	385	13,33	1,05	25	IX
2039	61	Курусай	Известняки темно-серые, мелкозернистые, доломитизированные, редкие прожилки кальцита	2,73	1566	29,95	429	5,26	0,65	7,3	VI
2039	86—90	Туранглы	Известняки мраморизованные, мелко-среднекристаллические, светло-серые	2,84	1357	11,08	162	7,69	0,80	12,2	VIII
2039	186—192	»	Известняк мраморизованный, мелко-среднезернистый, серый, светло-серый	2,74	1530	12,07	227	5,26	1,10	12,5	VII
2039	158—165	»	Известняк мраморизованный, слабокремненный, светло-серый	2,80	1320	10,87	217	4,87	1,15	12,5	VII

Скважина	Интервал глубин, м	Месторождение	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
2038	226—233	Курусай	Известняк серого цвета, полосчатый, мелкокристаллический с редкими прожилками кальцита	2,82	1030	9,16	98	4,76	1,15	12,0	VII
2039	179—180	Туранглы	Мрамор мелко-среднекристаллический белого цвета	2,82	1601	12,48	172	8,0	1,30	20,0	VIII
2013	360—366	»	Мрамор среднекристаллический белого цвета	2,72	896	8,29	96	2,29	0,70	4,1	IV
2039	967—373	»	Гранатовый скарн зеленовато-серого цвета, мелко-среднекристаллический	3,15	2531	17,34	567	11,11	0,90	19,0	VIII
2039	967	»	Пироксеновый скарн мелкозернистый, плотный, вкрапленность халькопирита	2,79	1863	14,39	324	11,11	1,35	27	IX
Методика				2	15	29	24	1	1	1	1

из которой видно, что исследованию подвергнуты интрузивные, осадочные и метаморфические породы. Несмотря на разнообразие пород по генетическому признаку, значения механических свойств невысоки, а категории буримости по  $\rho_m$  изменяются в пределах V—VIII.

В табл. 98 приведены значения механических свойств горных пород месторождения Пиждарва, установленные сотрудниками тематической партии техники разведки Таджикского геологического управления в связи с контрольным определением категорий буримости по ОСТ 41-89—74.

Изверженные породы, представленные гранодиоритами, отличаются изменчивостью значений механических свойств ( $F_d$  от 2,0 до 10,52;  $K_{абр}$  от 1,20 до 2,20,  $\rho_m$  от 8,0 до 40,0) и категорий буримости (от VI до X).

Значения механических свойств и категорий буримости осадочных пород также весьма различны: известняки относятся к V—VIII категориям; песчаники — к VII—IX; кварцитовидные алевропесчаники — к VIII—XI.

Метаморфические породы вследствие высоких значений коэффициента абразивности (в среднем более 2,0) относятся к высоким категориям (VIII—XI), за исключением одной разности скарна, относящегося к VII категории в связи с умеренной абразивностью ( $K_{абр}=1,0$ ).

Весьма ценные данные получены при определениях механических свойств горных пород месторождения Курусай, выполненных тематической партией по технике разведки Таджикского геологического управления (табл. 99).

Многообразие исследованных пород по генетической принадлежности отражено и в значениях физико-механических свойств. Сравнительно низкие значения относятся к осадочным породам и мраморам (категории буримости VI—VIII), а наиболее высокие — к гранитоидам и метаморфическим породам типа скарнов (категории буримости VIII—X). Однако весь комплекс пород, показанный в таблице, характеризуется сравнительно невысокими значениями физико-механических свойств.

Не менее интересны данные по физико-механическим свойствам горных пород Чорух-Дайронского месторождения (табл. 100) установлены сотрудниками тематической партии по технике разведки Таджикского геологического управления (Е. Кучер) при участии геологоразведочных партий (Б. Мамонтов). Как видно из таблицы, исследованные породы относятся к различным участкам месторождения, а по значениям механических свойств — к V—XII категориям буримости, что затрудняет подбор буровой техники для разведки месторождения.

В связи с контрольным определением категорий буримости по ОСТ 41-89—74 были проведены определения значений динамической прочности, абразивности и объединенного значения  $\rho_m$  в геологоразведочных партиях Тарорской, Учкашконской, Бешекинской и Чуйской (Киргизия). Результаты их приведены в табл. 101.

### *Актюзский район*

По материалам В. А. Королева, Т. Д. Фахтулаева и В. В. Овечкина [27] в табл. 102 приведены значения пористости горных пород.

Таблица 100

## Физико-механические свойства горных пород Чорух-Дайронского месторождения

Месторождение, участок, поле	Геологическое описание образцов горных пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па	$f$	$P_{шт} \cdot 10^{-7}$ , Па	$F_d$	$K_{абр}$	Объединенное значение $\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Андыген	Диорит среднезернистый с включениями пирита	2,75	1862	13,87	201	10,52	1,8	38	X
Дашт	Гранодиорит порфиroidный, светлый, средне-зернистый	2,62	1592	12,30	208	7,7	2,4	35	X
»	То же, среднезернистый розовый	2,60	3220	20,78	251	11,76	1,7	35	X
Юбилейный	Гранодиорит мелкозернистый, «покраснелый»	2,62	992	8,93	163	9,09	1,9	32	IX
Южный, Янги-Кан	То же, среднезернистый, слабо-выветрелый, альбитизированный	2,52	989	8,92	224	9,0	1,3	23	IX
Июньская	То же, красно-серый среднезернистый, плотный	2,68	1767	13,36	282	18,2	1,6	48	X
»	Гранитоид измененный скарнированный, с зонами альбитизации и лимонитизации	2,55	833	7,93	139	10,0	1,8	31	IX
»	Гранитоид интенсивно перемятый, «покраснелый»	2,45	608	2,94	112	4,44	1,7	15,5	VIII
Чорух-Дайронское рудное поле, участок	Лабрадорский порфирит светлосерый, среднезернистый	2,79	3029	16,25	302	20,0	2,1	65	XI
Южный	То же, среднезернистый, более осветленный	2,70	2011	14,66	314	20,0	2,1	65	XI
Южный	Ороговикованный порфирит, серый	2,74	2581	17,60	427	22,22	1,3	45	X
»	То же, темно-серый	2,80	3277	21,03	386	25,7	1,9	72	XI
Янги-Кан	Порфирит андезитовый, серый, участками скарнированный	2,70	1277	10,54	238	22,22	1,4	48	X
Южный, Янги-Кан	Порфириты андезитового состава	2,68	1753	13,36	208	25,0	1,8	53	XI
То же	Порфириты андезитовые измененные, туфовидные	2,50	1758	13,32	315	20,0	1,4	43	X
»	Порфирит тонкозернистый, плотный	2,81	3397	21,63	494	20,0	2,1	65	XI
»	Порфириты брекчированные, нацело скарнированные	3,08	715	7,18	117	2,66	1,4	9	VI
Айнобулак	Порфирит сургучно-красного цвета	2,67			264	20,0	1,8	55	XI
Южный, Янги-Кан	Древнечетвертичный конгломерат	2,51	612	6,46	39	1,75	1,4	6,5	VI
Июньская	Известняк серый, среднекристаллический с глинистым материалом	2,73	1028	9,20	94	5,73	0,9	10,5	VII
»	Доломитовый известняк среднекристаллический, трещиноватый	2,80	1640	12,66	124	11,1	0,9	17,5	VIII
»	Известняк мраморизованный светлый	2,72	1224	10,36	78	8,0	1,2	7	VI
Айнобулак	Известняк в зоне дробления, цементирован хлоритом	4,05	—	—	11	2,32	1,0	5,75	V
»	Скарны пироксеновые, среднекристаллические, серо-зеленые с гнездами гранатов	3,09	2083	15,11	267	20,0	0,8	24	IX
»	То же, серо-зеленые с гнездами крупнокристаллических флогопитов и амфиболов	3,20	771	7,51	28	2,12	2,6	14	VII
Дашт	Гранатовый скарн, сливной, бурого цвета	3,43	2962	19,58	235	28,57	2,1	80	XII
Методика		2	15	30	24	1	1	1	1

Таблица 101

Физико-механические свойства горных пород объектов разведки Учкашконской и других геологоразведочных партий

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Тарорская ГРП					
Гранодиорит . . . . .	1	15,38	1,55	42	X
Пироксеновый скарн . . . . .	2	18,18—20,0	0,70—1,03	20—32,5	VIII—IX
		19,09	0,86	26	
Кварц-карбонатная порода	2	22,2—40,0	1,65—1,78	64,5—90,5	XI—XII
		31,11	1,71	78	
Кварц-хлоритовый сланец	1	13,33	1,30	32	IX
Учкашконская ГРП					
Гранит-порфир . . . . .	1	11,79	2,23	49	X
Роговик . . . . .	6	28,57—40,0	1,38—2,13	76,0—123	XII
		35,9	1,93	92	
Бешекинская ГРП					
Диорит . . . . .	10	7,14—22,22	0,73—1,68	15,2—60	VIII—XI
		15,14	1,08	30	
Сиенит-диорит . . . . .	2	10,53—20,0	0,83—1,60	29,0—31,0	IX
		15,27	1,20	30	
Фельзит . . . . .	2	16,6—25,0	1,20—1,98	48,0—58,0	X—XI
		20,83	1,59	53	
Амфиболовый сланец . . . . .	17	11,79—40,0	0,60—1,17	25—73,0	IX—XI
		30,15	0,95	46	
Амфиболит . . . . .	5	25,0—33,0	1,0—1,34	40—59,0	X—XI
		28,81	1,11	48	
Биотитовый роговик . . . . .	2	25,0—40,0	1,25—1,40	50—69,0	X—XI
		33,0	1,33	59	
Чуйская ГРЭ					
Сиенито-диорит . . . . .	1	11,76	1,97	40	X
		18,18	1,45	44,5	
Амфиболит . . . . .	4	18,0—40,0	0,35—1,70	12,0—90,0	VII—XII
		27,88	1,0	45	
Методика . . . . .	1	1	1	1	1

Таблица 102

## Пористость горных пород Актюзского месторождения

Порода	Число образцов для определения		$P_{\text{общ}}$ , %	$P_{\text{эф}}$ , %
	общей пористости $P_{\text{общ}}$	эффективной пористости $P_{\text{эф}}$		
Аляскитовые граниты . . . . .	8	6	1,85—3,73 2,66	0,76—2,50 1,64
То же, минерализованные . . . . .	5	5	2,18—4,83 3,53	1,17—2,29 1,50
Аплитовидная кварц-серицитовая порода . . . . .	17	17	1,50—5,22 2,89	1,20—3,53 2,03
Диабазовые порфириты . . . . .	31	27	1,13—5,00 3,06	0,60—2,45 1,36
Измененные диабазовые порфириты . . . . .	9	9	2,21—9,62 6,24	0,74—6,31 2,42
Измененные диоритовые порфириты . . . . .	8	8	1,46—6,44 3,80	1,29—3,27 2,01
Сланцы наименее измененные . . . . .	80	71	0,69—6,70 3,59	0,42—3,33 1,45
Сланцы ороговикованные . . . . .	31	25	0,71—6,09 2,79	0,57—3,41 1,47
Сланцы измененные (хлоритизированные, эпидотизированные, ороговикованные) . . . . .	45	26	1,08—7,85 3,17	0,52—3,22 1,63
Сланцы эпидотизированные, ороговикованные и эпидотизированные . . . . .	15	12	1,09—7,46 4,45	0,89—3,48 1,75
Сланцы с кальцитовыми прожилками . . . . .	6	6	4,57—7,40 5,87	0,76—1,87 1,35
Сланцы:				
слюдистые . . . . .	8	7	1,04—5,56 3,44	1,07—1,91 1,12
	7	7	3,0—7,01 5,76	1,18—3,01 2,10

Порода	Число образцов для определения		$P_{\text{общ}}, \%$	$P_{\text{эф}}, \%$
	общей пористости $P_{\text{общ}}$	эффективной пористости $P_{\text{эф}}$		
Сланцы:				
скарнированные . . . . .	8	6	2,13—7,34	0,53—2,05
			4,56	1,17
хлоритизированные, эпидотизированные флюоритом . . . . .	7	6	1,66—6,04	0,69—3,22
			3,99	1,68
карбонатизированные . . . . .	11	7	1,47—4,02	0,61—0,69
			2,83	0,65
брекчированные . . . . .	6	6	0,39—6,04	0,78—3,32
			4,01	1,76
с порфировым цементом	6	6	2,44—3,06	0,58—2,32
			2,80	1,63
кварцево-сланцевая брекчия . . . . .	6	6	1,75—4,76	1,21—2,91
			2,96	1,90
окварцованные, флюоритизированные с сульфидами . . . . .	4	4	2,24—9,44	0,81—2,01
			4,78	1,65
лимонитизированные с пиритом и халькопиритом . . . . .	7	7	1,09—7,62	1,52—4,76
			4,25	2,63
	7	9	2,30—7,64	0,52—2,86
			4,13	1,33
серицит-альбитовые . . . . .	10	3	2,54—7,19	1,30—1,42
			5,14	1,33
Актинолитовые сланцы:				
наименее измененные . . . . .	6		1,18—7,45	1,96—1,41
			4,45	1,41
эпидотизированные . . . . .	7	5	1,87—4,41	1,10—1,88
			3,28	1,49
Альбитовые сланцы (неизмененные) . . . . .	6	4	2,38—7,10	1,57—2,30
			4,36	1,93

Порода	Число образцов для определения		$P_{\text{общ}} \%$	$P_{\text{эф}} \%$
	общей пористости $P_{\text{общ}}$	эффективной пористости $P_{\text{эф}}$		
Гнейсы . . . . .	8	8	1,52—4,78 3,06	1,36—3,08 1,81
Парагнейсы . . . . .	4	4	2,28—4,46 3,33	1,01—1,52 1,53
Аплито-гнейсы . . . . .	5	4	1,01—4,17 2,76	0,38—2,08 1,11
Серпентинизированные гнейсы . . . . .	5	5	2,28—3,06 2,76	1,11—1,59 1,30
Роговики биотитовые . . . . .	6	6	4,20—7,80 6,29	0,76—1,63 1,17
Методика . . . . .			2	2

Таблица 103

**Физико-механические свойства горных пород  
Тырныаузского месторождения**

Генетические разности пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ кг/м <sup>3</sup>	$P, \%$	$E \cdot 10^{-10}$ , Па
Гранит . . . . .	2,80	4,50	3,68
Мрамор . . . . .	3,03	2,00	7,02
Роговик . . . . .	2,92—3,03	3,40	3,0—12,8
Скарн сульфидный . . . . .	5,10		17,50
Скарны (роговиковые, известковые, пироксеновые) . . . . .	3,04—3,60	1,0—5,10	5,29—16,4
Методика . . . . .	2	5	11

Сведения даны по интрузивным, эффузивным и метаморфическим породам. Особенно детально изучены кристаллические сланцы преимущественно амфиболового и актинолитового состава в зависимости от их изменения.

## **Кавказ**

### *Тырныаузское месторождение молибдена*

В табл. 103 приведены сведения о плотности, пористости и модуле Юнга некоторых разновидностей горных пород Тырны-Аузского месторождения. Наибольшее количество рудовмещающих пород месторождения исследовано по ОСТ 41-89—74\* (табл. 104).

В табл. 105 приведены механические свойства горных пород по ОСТ 41-89—74 для объектов разведки месторождений рассеянных элементов (Северный Кавказ).

### *Медно-молибденовые и медно-полиметаллические месторождения*

В литературе [25, 19] широко освещены физико-механические свойства горных пород, вмещающих медно-молибденовые месторождения Армении.

В табл. 106 даны значения физико-механических свойств рудовмещающих пород Дастакертского и Кафанского месторождений.

В. И. Гелейшвили [17] приведена характеристика пород на примере медно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений района Аджарии (табл. 107). В указанной работе содержатся также сведения о зависимости физико-механических свойств рудовмещающих горных пород Аджарии от степени и характера гидротермального изменения. Результаты этих исследований приведены в табл. 108.

Таблица 104

## Механические свойства горных пород Тырнаузского месторождения по ОСТ 41-89—74

Породы	Число образцов	F <sub>д</sub>	K <sub>абр</sub>	ρ <sub>м</sub>	Категория по ρ <sub>м</sub>
Гранит . . . . .	1	4,94	2,83	29,0	IX
Гранитоид . . . . .	1	10,21	2,92	55,0	XI
Олигомиктовый песчаник крупнозернистый . . . . .	2	10,0—12,22	2,72—2,80	53,5—59,0	XI
То же, мелкозернистый . . . . .	2	11,11	2,76	56,75	XI
Полевошпат-пироксеновый скарн . . . . .	1	13,48	2,74	63,75	XI
Полевошпат-пироксеновый роговик . . . . .	1	13,18	2,20	53,5	XI
Пироксеновый роговик . . . . .	1	24,80	2,34	85,0	XII
Скарнированный мрамор . . . . .	1	26,45	2,25	85,0	XII
Мрамор скарнированный и ороговикоманный . . . . .	2	2,65—3,0	0,35—0,47	2,3—3,3	III—IV
Скарн известковисто-гранатовый ороговикоманный . . . . .	1	2,89	0,41	2,8	VII
Скарн пироксен-везувиан-волластонитовый . . . . .	1	13,77	0,55	13,0	X
Скарн гранат-везувиан-пироксен-волластонитовый . . . . .	1	15,75	1,47	39,5	XI
Везувиан-пироксеновый скарн . . . . .	1	19,16	1,95	60,0	VIII
Окварцованный везувиан-пироксеновый скарн . . . . .	1	9,10	0,93	15,5	VIII
Скарн пироксен-волластонитовый . . . . .	2	8,93	1,24	21,0	X—XI
Скарн волластонитовый . . . . .	2	6,52—10,21	2,22—2,70	37,5—40,0	X
Волластонит-пироксеновый скарн . . . . .	2	8,66	2,46	38,75	X—XI
Пироксен-везувиан-гранатовый скарн . . . . .	2	19,09—22,22	1,35—1,70	42,0—60,0	VIII
Гранат-пироксеновый скарн . . . . .	1	20,69	1,58	51,0	IX
Окварцованный гранат-пироксеновый скарн . . . . .	1	10,39	1,15	22,0	IX
Пироксен-кварцево-гранатовый скарн . . . . .	1	9,16	1,57	25,0	XI
Биотитовый роговик . . . . .	1	19,43	2,31	70,0	XI
Методика . . . . .	1	15,08	2,45	64,5	XI
Окварцованный везувиан-пироксеновый скарн . . . . .	2	8,24—9,64	2,33—2,58	40,0—48,5	X
Пироксен-кварцево-гранатовый скарн . . . . .	2	8,94	2,45	44,25	X
Биотитовый роговик . . . . .	5	6,52—10,21	2,22—2,7	37,5—48,5	X
Методика . . . . .	1	9,15	2,48	42,0	XI
Биотитовый роговик . . . . .	1	17,67	2,30	66,0	XI
Методика . . . . .	1	11,12	2,73	54,5	XI
Методика . . . . .	1	1	1	1	1

Таблица 105

Физико-механические свойства горных пород месторождений  
рассеянных элементов

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_m$	Категория по $\rho_m$
Снегит . . .	1	10,5	2,0	42	X
Гранит . . .	29	$\frac{4,7-20,0}{7,58}$	$\frac{0,9-2,8}{1,93}$	$\frac{11,0-50,0}{29}$	VII—X IX
Пегматит . . .	1	5,5	2,1	24	IX
Микрогранит .	3	$\frac{8,33-15,38}{13,0}$	$\frac{1,10-2,02}{1,45}$	$\frac{29,0-35,0}{32}$	IX—X IX
Микрогранит-порфир . . .	5	$\frac{4,10-18,18}{11,51}$	$\frac{0,80-2,20}{1,46}$	$\frac{18,5-40,0}{28}$	VIII—X IX
Гранит-порфир	6	$\frac{10,53-16,16}{13,88}$	$\frac{0,80-1,85}{1,21}$	$\frac{25,0-50,0}{30}$	IX—X IX
Диабаз . . .	1	25,0	0,33	18	VIII
Порфирит . . .	3	$\frac{4,44-14,28}{7,76}$	$\frac{1,40-1,55}{1,46}$	$\frac{14,0-49,0}{26}$	VII—X IX
Фельзит . . .	13	$\frac{4,55-20,00}{11,75}$	$\frac{1,07-2,20}{1,47}$	$\frac{18,0-50,0}{29}$	VIII—X IX
Альбитофир . .	6	$\frac{6,66-14,28}{8,55}$	$\frac{0,90-1,50}{1,19}$	$\frac{12,5-33,0}{20}$	VII—IX VIII

Порода	Число образцов	$F_d$	$K_{абр}$	$\rho_M$	Категория по $\rho_M$
Алевролит . . .	1	16,16	0,40	16	VIII
Песчаник . . .	8	$\frac{4,7-14,28}{8,16}$	$\frac{0,88-2,05}{1,37}$	$\frac{12-59}{24}$	$\frac{VII-XI}{IX}$
Конгломерат . .	1	10,53	1,30	31,5	IX
Гравелит . . .	4	$\frac{3,6-12,5}{7,5}$	$\frac{1,15-2,2}{1,85}$	$\frac{18-40}{28}$	$\frac{VIII-X}{IX}$
Гранито-гнейс .	2	$\frac{7,1-11,2}{9,1}$	$\frac{2,2-2,4}{2,3}$	$\frac{30-48}{39}$	IX-X
Мигматит . . .	5	$\frac{8,3-11,1}{9,0}$	$\frac{1,9-2,4}{2,1}$	$\frac{34-43}{37}$	$\frac{IX-X}{X}$
Гнейс . . . . .	6	$\frac{6,4-11,2}{7,9}$	$\frac{1,8-2,2}{2,0}$	$\frac{25-42}{32}$	$\frac{IX-X}{IX}$
Филлиты . . . .	8	$\frac{3,77-14,28}{8,61}$	$\frac{0,33-1,30}{0,96}$	$\frac{7,5-25}{15}$	$\frac{VI-IX}{VII}$
Хлорит-полево-шпатовый сланец . . . . .	10	$\frac{8,0-20,0}{11,7}$	$\frac{0,68-1,90}{1,19}$	$\frac{13,5-60}{30}$	$\frac{VII-XI}{IX}$
Кристаллический сланец . . .	3	$\frac{4,10-6,66}{5,0}$	$\frac{1,30-1,65}{1,48}$	$\frac{14,5-17}{16}$	$\frac{VII-VIII}{VII}$
Методика . . .		1	1	1	1

Таблица 106

## Физико-механические свойства горных пород медно-молибденовых месторождений Армении

Генетические разности пород	$\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\gamma_0 \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{\text{общ}}^*$ , %	$P_{\text{эф}}^*$ , %	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$\sigma_p$ , м/с	$\sigma_s$ , м/с	$G \cdot 10^{-10}$ , Па
Месторождение Дастакерт									
Гранодиорит:									
неизменный . . . . .	<u>2,59—2,68</u> 2,65	<u>2,73—2,77</u> 2,75	3,38	1,06	7,11	0,16	5840	3390	3,06
измененный . . . . .	<u>2,47—2,68</u> 2,58	<u>2,78—2,85</u> 2,81	8,44	5,55	—	—	—	—	—
» . . . . .	<u>2,54—2,63</u> 2,60	<u>2,73—2,77</u> 2,75	<u>2,54—4,39</u> 3,36	<u>0,80—1,58</u> 1,56	—	—	—	—	—
слабо измененный . .	<u>2,61—2,66</u> 2,63	<u>2,74—2,81</u> 2,76	<u>4,10—5,33</u> 4,72	<u>2,13—2,58</u> 2,32	—	—	—	—	—
Диабаз:									
слабо измененный . .	2,67	—	—	1,60	5,53	0,29	5220	2810	2,10
сильно измененный . .	2,67	—	—	3,60	5,00	0,18	4500	2830	2,14
Диоритовый порфирит:									
неизменный . . . . .	<u>2,64—2,73</u> 2,66	<u>2,72—2,78</u> 2,75	<u>2,94—5,03</u> 4,21	<u>0,73—1,29</u> 1,03	6,18	0,18	5040	3160	2,16
слабо измененный . .	<u>2,60—2,67</u> 2,63	<u>2,72—2,76</u> 2,73	<u>3,67—4,72</u> 4,38	<u>1,43—2,18</u> 1,71	—	—	—	—	—
сильно измененный . .	<u>2,58—2,61</u> 2,60	2,74	4,72	<u>2,50—3,29</u> 2,88	—	—	—	—	—
Диабазовый порфирит:									
слабо измененный . .	<u>2,62—2,70</u> 2,69	2,84	<u>4,92—5,90</u> 5,45	<u>1,33—1,83</u> 1,65	—	—	—	—	—
сильно измененный . .	<u>2,55—2,68</u> 2,60	<u>2,70—2,85</u> 2,77	<u>4,81—7,06</u> 5,84	<u>3,06—5,07</u> 3,90	—	—	—	—	—
Роговики:									
неизменные . . . . .	<u>2,66—2,79</u> 2,71	<u>2,73—2,90</u> 2,80	<u>1,45—5,94</u> 3,32	<u>0,62—0,87</u> 0,78	7,06	0,19	5640	3460	3,15
слабо измененные . .	<u>2,59—2,75</u> 2,65	<u>2,69—2,88</u> 2,77	<u>1,79—6,69</u> 4,51	<u>1,10—1,85</u> 1,43	—	—	—	—	—
сильно измененные . .	<u>2,54—2,74</u> 2,65	<u>2,75—2,92</u> 2,84	<u>5,94—7,63</u> 6,44	<u>2,51—6,46</u> 3,90	—	—	—	—	—
Месторождение Кафан									
Туфопесчаники . . . . .	—	—	—	<u>2,4—7,05</u> 4,76	—	—	—	—	—
Туфоконгломераты . . .	—	—	—	<u>3,26—10,3</u> 6,53	5,45	0,21	—	—	2,53
Методика . . . . .	2	2	2	2	11	11	11	11	11

\* Определения проведены в лаборатории ИГЕМ АН СССР.

Таблица 107

Физико-механические свойства основных типов горных пород  
рудного района Аджарии

Порода	$P_{эф}$ , %	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$	$\sigma_{сж} \cdot 10^{-5}$ , Па
Габбро . . . . .	1,76	7,86	2,89	0,32	—
Габбро-диабаз . . . . .	1,03	8,40	2,86	0,295	—
Габбро-монзонит . . . . .	1,02	6,91	2,78	0,245	1428
Сиенит . . . . .	1,13	6,23	2,52	0,24	2203
Кварцевый сиенит . . . . .	1,12	7,59	2,82	0,335	—
Тешенит . . . . .	3,82	3,89	1,50	0,28	—
Диабазовый эссексит . . . . .	3,43	4,41	1,62	0,37	—
Базальт . . . . .	3,0	6,41	2,38	0,325	1438
Трахибазальт . . . . .	2,36	6,15	2,44	0,255	1479
Андезит . . . . .	4,4	4,31	1,79	0,22	—
Трахиандезит . . . . .	1,05	6,19	2,33	0,315	—
Туф . . . . .	5,29	3,77	1,39	0,375	1479
Грейзен . . . . .	2,31	6,64	2,94	0,355	—
Кварцит . . . . .	0,61	6,97	2,72	0,265	1234
Пропилит . . . . .	1,03	6,62	2,74	0,22	—
Серицитолит . . . . .	3,32	4,59	2,09	0,215	652
Гидротермалит . . . . .	1,75	7,68	3,13	0,23	—
Алунитизированная . . . . .	1,27			0,30	—
Хлорит-серицит-карбо- натная . . . . .	7,63	2,39	1,11	0,165	—
Кварц-мусковит-эпи- дот-карбонатная . . . . .	3,76	5,15	2,06	0,24	—
Кварц-серицитовая . . . . .	0,69	7,93	3,18	0,295	—
Серицитовая . . . . .	18,70	1,86	0,78	0,20	—
Кварцевая рудная (га- ленит-сфалеритовая) жи- ла . . . . .	1,91 6,80	6,52 0,73	2,40 0,72	0,32 0,495	1081 —
Рудная (халькопирит- овая) жила . . . . .	0,90	6,35	2,38	0,395	—
Методика . . . . .	2	11	11	11	15

Таблица 108

Зависимость физико-механических свойств рудовмещающих горных пород Аджарии от степени и рода гидротермальной переработки

Порода, характер изменения	$P_{\text{эф}}$ , %	$E \cdot 10^{-10}$ , Па	$G \cdot 10^{-10}$ , Па	$\mu$
<b>Андезит:</b>				
неизмененный . . . . .	4,40	4,31	1,79	0,22
карбонатизированный . . . . .	6,59	6,67	3,61	0,27
эпидотизированный . . . . .	1,55	6,45	2,40	0,325
карбонатизированный и серицитизированный . . . . .	3,89	5,23	1,99	0,285
хлоритизированный . . . . .	10,00	4,06	1,70	0,175
<b>Трахиандезит:</b>				
неизмененный . . . . .	1,05	6,19	2,33	0,315
карбонатизированный . . . . .	4,20	3,67	1,42	0,285
серицитизированный и окварцованный . . . . .	4,21	4,14	1,80	0,165
слабо хлоритизированный . . . . .	5,87	5,33	1,99	0,31
<b>Трахибазальт:</b>				
неизмененный . . . . .	2,36	6,15	2,44	0,255
хлоритизированный . . . . .	6,08	2,83	1,08	0,30
карбонатизированный и хлоритизированный . . . . .	3,50	5,29	2,06	0,335
слабо хлоритизированный . . . . .	1,96	6,06	2,27	0,33
лимонитизированный . . . . .	4,09	4,30	1,64	0,30
<b>Туф</b>				
неизмененный . . . . .	5,29	3,77	1,39	0,375
хлоритизированный и карбонатизированный . . . . .	3,55	6,04	2,54	0,175
серицитизированный . . . . .	0,71	6,46	2,41	0,32
то же . . . . .	1,02	6,02	2,43	0,24
карбонатизированный и серицитизированный . . . . .	1,66	7,25	2,96	0,23
карбонатизированный . . . . .	0,67	7,29	2,78	0,305
ороговикованный . . . . .	1,41	6,20	2,32	0,325
серицитизированный . . . . .	1,01	6,97	4,79	0,13
пропилитизированный . . . . .	4,43	4,67	1,90	0,24
<b>Кварцевые жилы:</b>				
безрудные . . . . .	1,91	6,53	2,43	0,32
рудные с карбонатом . . . . .	14,33	4,00	1,63	0,23
Методика . . . . .	2	11	11	11

## СЖИМАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД В РАЗДРОБЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

---

Эти исследования проведены в ВИМСе с целью:

- 1) определения зависимости объема раздробленных горных пород от действия нагрузки (давления);
- 2) установления коэффициента разрыхления пород в зависимости от степени раздробления (гранулометрического состава), т. е. увеличения объема после раздробления;
- 3) выявления зависимости изменения пористости и объемной массы раздробленных пород от нагрузки (давления) как при нормальной температуре (комнатной), так и при нагревании до  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Согласно методике, исследования по сжимаемости пород производились в основном при удельной нагрузке  $1600 \cdot 10^{-5}$  Па. Эта нагрузка соответствует примерно давлению на глубине около 5 км, где предположительно образуется большинство эндогенных месторождений полезных ископаемых.

Опыты проводились на образцах гранита, андезита, мрамора и песчаника. Породы были типичные по составу и хорошей сохранности. Испытания в каждом из опытов проводились на пяти образцах от каждой породы.

**Физико-механические свойства пород в нераздробленном состоянии до прокаливания и после него.**

Как видно из табл. 109, прокаливание образцов до температуры  $1000^{\circ}\text{C}$  в значительной мере изменило свойства горных пород. Масса образцов уменьшилась: гранита на 0,6%, андезита на 0,8%, мрамора на 31% и песчаника на 1,3%. Изменились плотность и объемная масса пород, что нашло отражение в показателях пористости, которая возросла у гранита в 2,12, а у мрамора в 2,7 раза. Пористость же андезита и песчаника уменьшилась на 12 и 15% соответственно.

Прокаливание образцов особенно отразилось на показателях упругих свойств пород. Коэффициент упругости по Шору снизился (%): для гранита на 15, андезита 19, мрамора 34, песчаника 12. Скорость продольных волн в прокаленных породах оказалась ниже (%): в граните на 69,5, андезите на 14,5, в мраморе на 64, в песчанике на 79,5. Испытание образцов на магнитную восприимчивость производилось на проницмере ПРМ-2 Калашникова. Оказалось, что осадочные породы (мрамор, песчаник) не магнитны ни до, ни после прокаливания. Вместе с тем магнитная восприимчивость гранита после прокаливания возросла в 16 раз, а андезита — осталась без изменения.

**Сжимаемость раздробленных пород в непрокаленном и прокаленном состоянии.** Эти опыты также были проведены на граните, андезите, мраморе и песчанике. Результаты опытов приведены в

Таблица 109

## Показатели свойств пород до прокаливания и после прокаливания

Показатели	Гранит	Андезит	Мрамор	Песчаник	Методика
Масса образца, г . . . . .	29,494*	24,816	26,097	23,526	
	29,341	24,615	17,999	23,266	
Плотность образца, $\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> . . . . .	2,69	2,77	2,88	2,68	3
	2,74	2,71	2,92	2,66	
Объемная масса $\gamma \times$ $\times 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> . . . . .	2,60	2,26	2,79	2,30	3
	2,58	2,26	2,39	2,34	
Пористость эффективная $P_{эф}$ , % . . . . .	3,4	18,4	4,9	14,2	3
	7,5	16,2	18,1	12,0	
Коэффициент упругости (по Шору) $K_{Ш}$ . . . . .	0,818	0,824	0,632	0,600	26
	0,692	0,663	0,402	0,529	
Скорость распространения продольных волн $v_p$ , м/с . . . . .	3200	2880	4262	2550	11
	976	2464	1539	523	
Прочность на скалывание, $\sigma_{ск} \cdot 10^{-5}$ , Па . . . . .	210	164	63	60	16
	—	—	—	—	
Твердость на истирание, 1/см, $H_{ист}$ . . . . .	669	226	30	10	25
	—	—	—	—	
Магнитная восприимчивость $\chi_{ср} \cdot 10^{-6}$ CGSM . . . . .	50	1181	0	0	8
	812	1181	0	0	
Коэффициент разрыхления $K_p$ . . . . .	1,86	1,80	1,70	1,68	14
	1,68	1,66	1,61	1,94	

\* В числителе — данные до прокаливания, в знаменателе — после прокаливания.

табл. 110, из которой видно, что раздробленная порода более крупной фракции (—6+20 меш) имеет меньший объем по сравнению с объемом более мелких фракций. Средние данные увеличения объема породы после дробления составили (в %): для гранита 186,2; андезита 179,5; мрамора 169,8; песчаников 168,0. Отсюда коэффициент разрыхления для гранита равен 1,86; для андезита 1,79; для мрамора 1,70; для песчаника 1,68.

Наибольшие отклонения от средней величины объемов в зависимости от крупности зерен наблюдаются у гранита. В остальных породах измельчение на более или менее крупные зерна не дает значительных колебаний в увеличении объема.

Таблица 110

## Гранулометрический состав и объем раздробленной породы

Порода	Номер образца	Гранулометрический состав, мм					Масса дробленной породы, г	Объем, см <sup>3</sup>		Увеличение объема, %
		-3,3+1,65	-1,65+0,83	-0,83+0,30	-0,30+0,15	-0,15		первоначальный	дробленной породы	
Гранит	1	7,210	5,834	5,484	2,242	3,335	24,105	9,247	15,0	159,20
	2	—	6,871	7,090	4,830	5,827	24,618	9,581	15,5	161,78
	4	—	—	7,025	6,156	12,015	25,196	9,449	18,0	190,60
	6	—	—	—	6,101	18,572	24,673	9,331	20,0	215,00
	7	—	—	—	—	15,898	25,898	9,771	20,0	204,70
Андезит	2	5,086	8,394	6,396	1,393	3,454	24,723	10,026	18,0	179,60
	3	—	8,968	7,837	2,820	3,840	23,465	9,550	16,5	172,80
	4	—	—	12,114	4,278	8,179	24,571	9,873	17,5	117,30
	6	—	—	—	6,008	18,031	24,034	10,027	17,5	175,00
	8	—	—	—	—	23,889	23,889	9,846	19,0	192,20
Мрамор	4	11,460	7,029	3,381	0,441	3,973	26,284	9,620	17,0	176,80
	5	—	10,538	6,666	1,958	8,043	27,250	9,847	15,5	157,72
	6	—	—	9,751	3,442	14,193	27,386	9,716	16,0	164,70
	7	—	—	—	4,861	22,052	26,913	9,665	17,0	175,90
	8	—	—	—	—	26,583	26,583	9,776	17,0	173,90
Песчаник	1	5,505	4,168	5,197	6,740	3,098	24,703	10,374	17,0	163,9
	7	—	5,251	4,844	7,793	5,926	23,864	10,811	17,0	164,9
	8	—	—	5,713	10,928	7,440	24,081	10,036	17,0	169,4
	10	—	—	—	13,755	9,929	23,684	9,786	17,0	173,9
	3	—	—	—	—	24,611	24,611	9,949	17,0	170,9

Таблица 111

## Показатели сжимаемости раздробленной породы до и после прокаливания

Показатели	Гранит	Андезит	Мрамор	Песчаник	Методика
Объем пород после сжатия $V \cdot 10^{-6}$ , м <sup>3</sup> . . .	<u>12,64</u>	<u>12,09</u>	<u>9,71</u>	<u>10,81</u>	14
	11,95	10,46	8,51	12,73	
Процент усадки $s_f$ . . .	<u>28,5</u>	<u>31,6</u>	<u>41,1</u>	<u>36,5</u>	14
	40,1	41,8	46,8	33,5	
Объем пород к первоначальному состоянию в монолите, % . . . . .	<u>132,9</u>	<u>122,6</u>	<u>100,26</u>	<u>107,3</u>	14
	100,6	96,3	85,4	130,3	
Объемная масса, $\gamma \times 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> . . . . .	<u>2,01</u>	<u>2,01</u>	<u>2,78</u>	<u>2,24</u>	3
	2,43	2,32	2,10	1,78	
Пористость общая $R_{общ}$ , % . . . . .	<u>24,6</u>	<u>17,1</u>	<u>7,3</u>	<u>10,7</u>	5
	12,9	14,4	28,1	33,1	
Пористость эффективная, $R_{эф}$ , % . . . . .	3,4	18,4	4,9	14,2	3

Примечание. В этой и следующей таблице в числителе приведены данные до прокаливания, в знаменателе — после прокаливания. При определении эффективной пористости исходный образец взят в нераздробленном виде.

Эта зависимость была получена также Фейодем [88], производившим опыты по разрыхлению пород. Однако абсолютные величины коэффициента разрыхления в наших опытах отличаются от результатов опытов Фейоля примерно на 25% в сторону снижения.

Показатели объемной сжимаемости до и после прокаливания приведены в табл. 111.

Опыты проводились при давлении до  $1600 \cdot 10^{-5}$ , Па. Общий характер изменения объема породы, объемной массы и пористости до прокаливания показан на примере исследования гранита (рис. 10).

Для других пород (мрамор, песчаник, андезит) получены аналогичные зависимости. Следует отметить, что наибольшая усадка наблюдается при давлении  $(100-200) \cdot 10^{-5}$ , Па. При дальнейшем увеличении давления кривые усадки имеют более пологий вид.

Исследования также показали, что объемная сжимаемость пород в раздробленном состоянии до прокаливания составила (%): для мрамора 100,26; песчаника 107,3; андезита 122,6; гранита 130,8. Отсюда следует, что мрамор и песчаник имеют большую сжимаемость, а изверженные породы (андезит и гранит), состоящие из более твердых минералов, меньшую. Это отразилось и на усадке, ко-

торая оказалась равной (%): для мрамора 41,1, песчаника 36,5; андезита 31,6, гранита 28,5, что вполне объяснимо вещественным составом указанных пород.

Из этих данных следует, что при достаточно высоких удельных нагрузках ( $1500 \cdot 10^{-5}$ , Па и более) возможно получение объемов исходного состояния пород, т. е. занимаемых ими до раздробления. Мрамор, например, при нагрузках  $1600 \cdot 10^{-5}$ , Па достигает полностью своего первоначального объема, песчаник близок к этому.

Рассмотренные материалы по сжимаемости пород в непрокаленном состоянии будут неполными, если не учесть физические свойства пород в прокаленном состоянии. Кроме того, постановка опытов по сжимаемости пород с учетом влияния температуры имела целью приближения условий опытов к природным явлениям, где помимо давления большую роль играет температура.

Общий характер изменения объема породы, объемной массы и пористости раздробленных пород после прокаливании показан на примере исследования гранита (рис. 11). Нетрудно заметить, что кривые изменения указанных свойств гранита в непрокаленном и прокаленном состоянии имеют одинаковый характер и отличаются лишь абсолютными значениями. Результаты исследований по сжимаемости пород после прокаливании приведены в табл. 111.

Кроме того, проведены опыты по сжимаемости до и после прокаливании известняков, сланцев, скарнов и доломитов из нескольких месторождений свинца и цинка. Результаты этих исследований приведены в табл. 112. Материалы по сжимаемости пород до и после прокаливании (при давлении  $1600 \cdot 10^{-5}$ , Па) отличаются по всем показателям.

Полученные данные применительно к каждой породе находятся в соответствии с их вещественным составом. Известняки и доломиты, состоящие из нетвердых минералов в виде пелитоморфной массы карбоната, после сжатия в прокаленном состоянии занимают несколько больший объем по сравнению со сланцами и скарнами. Отсюда они имеют меньшую объемную массу и большую пористость. В сланцах и скарнах, наоборот, объемная масса увеличилась, а пористость уменьшилась.

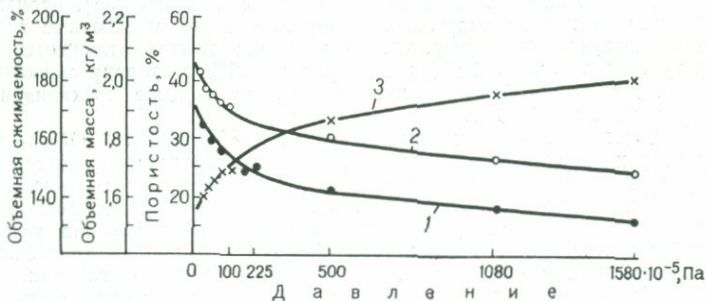


Рис. 10. Зависимость свойств раздробленного гранита от давления при сжатии до прокаливании.

1 — объемная усадка ( $C_f$ ); 2 — пористость сжатого порошка ( $l_p$ ); 3 — объемная масса сжатого порошка ( $r_1$ )

Таблица 112

Объемная сжимаемость до и после прокаливания на примере известняка, сланца и скарна

Показатели	Известняк				Сланец 14/166	Скарн		Методика
	12/166	18/166	7/1430	14/2403		7/127	27/256	
Объем пород после сжатия $V \cdot 10^{-6}$ , м <sup>3</sup> . . . . .	<u>11,93</u>	<u>11,17</u>	<u>9,94</u>	<u>11,37</u>	<u>11,73</u>	<u>9,27</u>	<u>13,81</u>	14
	12,54	12,61	10,59	10,50	10,35	9,19	12,38	
Процент усадки, $C_f$ . . . . .	<u>33,7</u>	<u>33,9</u>	<u>42,4</u>	<u>34,3</u>	<u>37,4</u>	<u>38,2</u>	<u>33,4</u>	14
	34,0	29,9	36,6	32,3	42,5	39,5	30,96	
Объем пород к первоначальному состоянию в монолите, % . . . . .	<u>105,7</u>	<u>113,3</u>	<u>89,6</u>	<u>100,9</u>	<u>105,7</u>	<u>113,7</u>	<u>98,5</u>	14
	107,3	129,1	97,8	95,8	94,9	86,7	107,7	
Объемная масса, $\gamma \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> . . . . .	<u>2,46</u>	<u>2,39</u>	<u>2,84</u>	<u>2,27</u>	<u>2,58</u>	<u>2,90</u>	<u>2,37</u>	3
	2,37	2,14	2,56	2,42	2,88	3,07	2,42	
Пористость общая $P_{обш}$ , %	<u>10,9</u>	<u>13,7</u>	<u>0,5</u>	<u>18,3</u>	<u>7,2</u>	<u>7,1</u>	<u>15,9</u>	5
	12,2	22,2	5,9	2,42	2,3	3,2	14,8	
Пористость эффективная $P_{эф}$ , % . . . . .	5,1	4,7	—	4,3	3,6	2,5	—	3

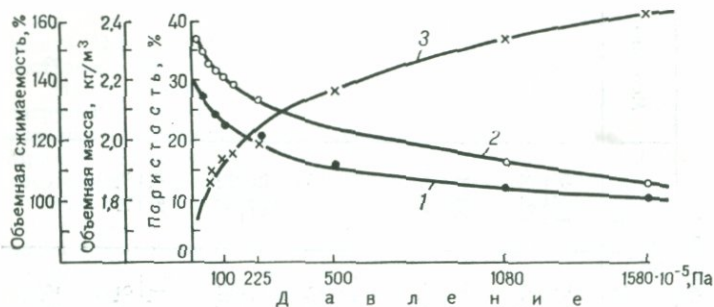


Рис. 11. Зависимость свойств раздробленного гранита от давления при сжатии после прокаливания (условные обозначения см. на рис. 10)

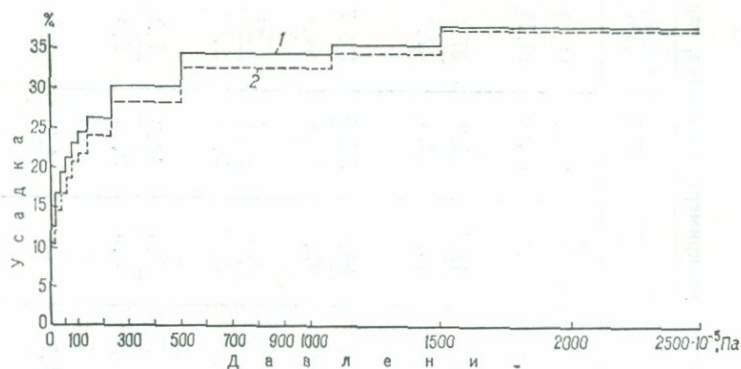


Рис. 12. Зависимость изменения величины усадки раздробленных пород от давления, скв. 127 (средние значения).

1 — усадка известняков (обр. 10, 11); 2 — усадка сланцев с прослоями известняков (обр. 9) (см. рис. 13)

Обращает на себя внимание значительное увеличение пористости пород в раздробленном состоянии после сжатия в прокаленном состоянии по сравнению с эффективной пористостью их в исходных образцах в нераздробленном виде. Наибольшие расхождения (в 2,8—5,0 раз) относятся к известнякам, наименьшие — к сланцам и скарнам.

Проведенные исследования по сжимаемости раздробленных пород в прокаленном и непрокаленном состоянии показали, что породы разного вещественного состава имеют различную степень усадки. Это в свою очередь указывает на возможность использования данного метода для объяснения геологических структур конкретных месторождений, в частности, структур отслоения на границе двух различных сред, благоприятных для локализации оруденения.

Для примера можно сослаться на результаты исследования по сжимаемости рудовмещающих пород Акатуевского месторождения полиметаллов в раздробленном состоянии [39].

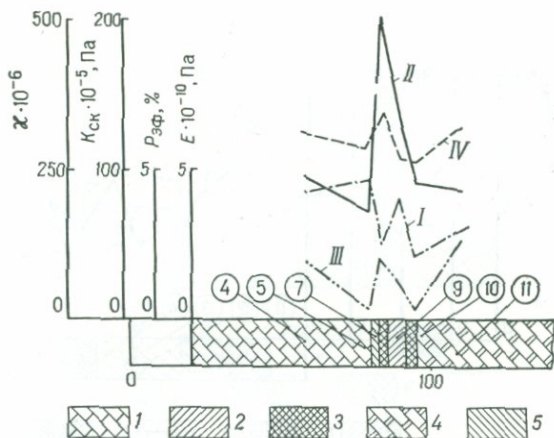


Рис. 13. Физико-механические свойства измененных (околорудных) пород по скв. 127.

*I* — эффективная пористость; *II* — механическая прочность на скалывание; *III* — магнитная восприимчивость; *IV* — модуль упругости. 1 — известняк; 2 — чередование глинисто-углистых сланцев с известняком; 3 — сульфидная руда; 4 — известняк полосчатый, местами скарнированный и окремненный; 5 — известняк скарнированный, ожелезненный, переслаивающийся с рыхлыми отложениями сланцев. Цифры в кружках — место взятия образца и его номер

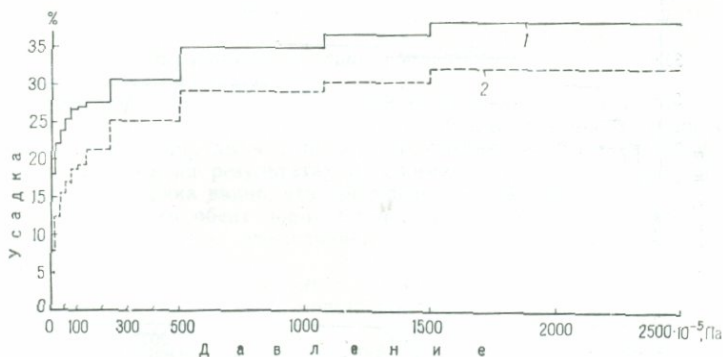


Рис. 14. Зависимость изменения величины усадки раздробленных пород от давления, скв. 166 (средние значения).

*1* — усадка известняков (обр. 16, 18); *2* — усадка сланцев (обр. 13, 14) (см. рис. 15)

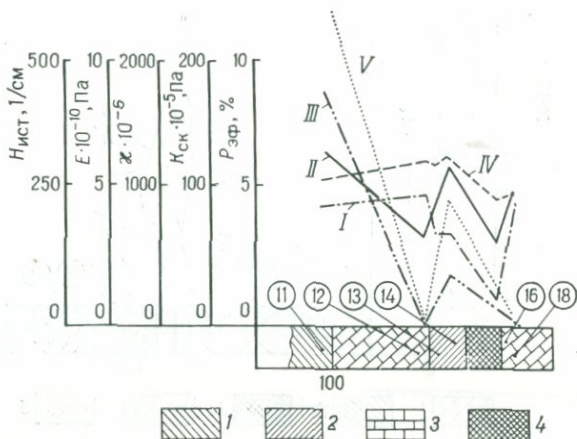


Рис. 15. Физико-механические свойства измененных (околорудных) пород по скв. 166.

*I* — эффективная пористость; *II* — механическая прочность на скалывание; *III* — магнитная восприимчивость; *IV* — модуль упругости; *V* — твердость по методу истирания. 1 — кварциты и роговики пиритизированные; 2 — сланец углисто-глинистый, пиритизированный; 3 — известняк; 4 — свинцово-цинковая руда. Цифры в кружках — место взятия образца и его номер.

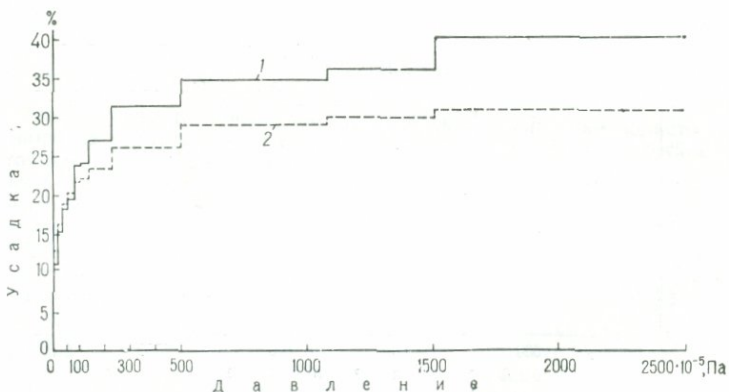


Рис. 16. Зависимость изменения величины усадки раздробленных пород от давления, скв. 198 (средние значения).

1 — величина усадки известняков (обр. 10, 11); 2 — то же, кремненных известняков (обр. 5, 6) (см. рис. 17)

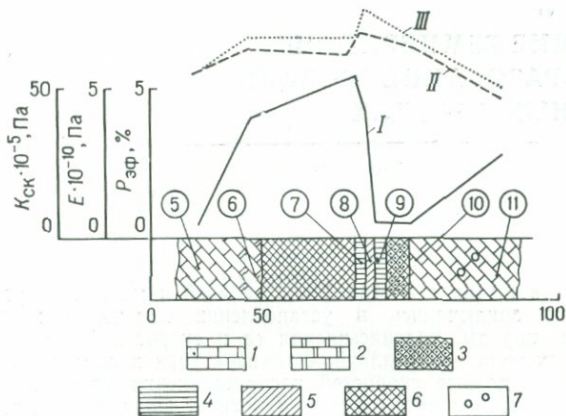


Рис. 17. Физико-механические свойства околорудных пород по скв. 198.

*I* — эффективная пористость; *II* — механическая прочность на скалывание; *III* — модуль упругости. 1 — известняк тремолитизированный; 2 — известняк окремненный; 3 — сульфидная руда; 4 — известняк; 5 — сланец глинисто-углистый железистый; 6 — окисленные руды с обломками оруденелых сланцев и остатками первичной руды (галенита); 7 — пиритизация. Цифры в кружках — место взятия образца и его номер.

Данные по скв. 127 свидетельствуют о незначительной разнице в усадке сланцев, покрывающих рудное тело, и подстилающих известняков (рис. 12), что вполне увязывается с небольшой мощностью рудного тела (рис. 13).

Не менее показательны данные о сжимаемости, покрывающих (сланцев) и подстилающих (известняков) рудное тело пород, пересеченных скв. 166.

В данном случае сланцы дали значительную усадку по сравнению с известняками (рис. 14). Такая разница в усадке сланцев и известняков увязывается с большой мощностью рудного тела, пересеченного скважиной (рис. 15).

Имеется пример, когда покрывающие и подстилающие породы представлены одной породой — известняками (скв. 198). Однако подстилающие породы в отличие от покрывающих были окремнены, что отразилось на результатах их сжимаемости (рис. 16). Из приведенного графика видно, что при удельном давлении до  $75 \cdot 10^{-5}$  Па величины усадки обеих пород близки. Но с повышением давления разница в усадке увеличивается и достигает максимума при  $2500 \cdot 10^5$  Па.

Необходимо отметить, что большое расхождение в усадке пород совпадает со значительной мощностью рудного тела, вскрытого указанной скважиной (рис. 17).

Сопоставление закономерностей изменения физических свойств пород: объемной массы, усадки, пористости (пустотности) и т. д. позволяет предположительно судить о возможных процессах изменения пород в природных условиях на глубине под влиянием давления и температуры.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В соответствии с поставленной задачей и методикой работ исследования заключались в установлении изменения пористости, структуры породы, водонасыщения ее и скорости распространения продольных волн при различных температурах прокаливания.

Сводные данные скоростей распространения упругих волн, их изменение и потери массы в зависимости от изменения температуры нагревания пород приведены в табл. 113. Из данных таблицы видно,

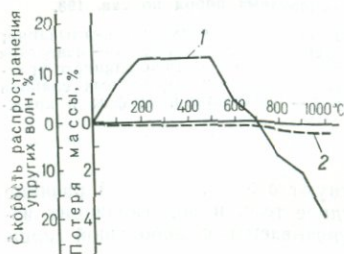


Рис. 18. Изменение скорости распространения продольных волн и потеря массы от прокаливания кварцита.

1 — скорость распространения продольных волн; 2 — потеря массы

что для большинства пород (кварцит, мергель, известняк, гнейс, скари, роговик, диорит, сиенит, альбитофир, кератофир, порфирит, лабрадорит, диабаз, горнблендит, апатит) после прокаливания при температуре 500—600°C характерно возрастание скоростей распространения продольных волн. При дальнейшем повышении температуры наблюдается резкое уменьшение скоростей до их минимального значения (примером служит кварцит) (рис. 18). Это явление, вероятно, связано с тем, что в начальный момент при нагревании образца происходит закрытие пор, что можно объяснить некоторым расширением зерен минералов и напряженным состоянием закрытых пор, в которых могут содержаться жидкие или газообразные включения. Этому состоянию горной породы соответствует возрастание скоростей распространения упругих волн.

Вслед за максимумом приращения скорости продольных волн наступает резкое ее уменьшение. Этот факт можно объяснить изменением структуры и нарушением сплошности породы.

Интенсивность закрытия пор и последующее изменение структуры, а также образование трещин в породе зависят от многих факторов, в том числе от состава, плотности, пористости, коэффициента линейного расширения минералов, состава и количества цемента.

Доказательством этому служит различный диапазон температур, при которых получены максимум приращения скорости продольных волн и их минимальные значения.

Рассмотрим результаты исследования песчаников. Для этих пород изменение скорости распространения продольных волн происходит в пределах ниже исходных значений (рис. 19), что можно объяснить большой первоначальной пористостью (9%). Изменение структуры и объема породы под влиянием температуры происходило в пределах свобод, обусловленных высокой пористостью. В данных условиях, учитывая расширение зерен и уплотнение породы, трудно достигнуть закрытия пор, хотя некоторые признаки этого имеются, о чем свидетельствует наличие максимума приращения скорости при температуре 400°С.

Подтверждением такого представления о характере изменения сплошности породы под влиянием температуры могут служить данные об эффективной пористости, установленной на образцах после прокаливания (см. табл. 113). Наибольшее увеличение пористости большинства пород наблюдается при температуре более 400°С. Данные об изменении пористости песчаников и доломитов также подтверждают высказанные предположения, касающиеся значения первоначальной пористости. Увеличение пористости пород при нагревании объясняется прежде всего развитием в них структурных дефектов и образованием трещин в зернах минералов.

Структурные дефекты в виде плоскостей спайности, ослабленных контактов между минералами находят свое дальнейшее развитие. Это приводит к увеличению эффективной пористости и уменьшению статической прочности породы. Например, сиенит после прокаливания при 1000°С показал временное сопротивление раздавливанию почти в два раза меньшее, чем до прокаливания (477 вместо 782·10<sup>-5</sup>, Па).

Из данных табл. 114 видно, что степень увеличения эффективной пористости (за счет образования трещин) различна. Для сиенита повышение температуры прокаливания в 10 раз вызывает увеличение пористости в 15 раз. Для песчаника и доломита пористость увеличивается очень незначительно. Объясняется это, вероятно, первоначальной пористостью, составом и структурой породы.

Исследование прокаленных пород под микроскопом показывает, что количество трещин в породе возрастает с увеличением температуры прокаливания образца. Это подтверждается на примере сиенита и гранита.

В сиените при температуре 300—400°С образуются мало заметные трещины (рис. 20, а), а при дальнейшем увеличении температуры прокаливания породы до 1000°С они развивались как на контакте между минералами (рис.

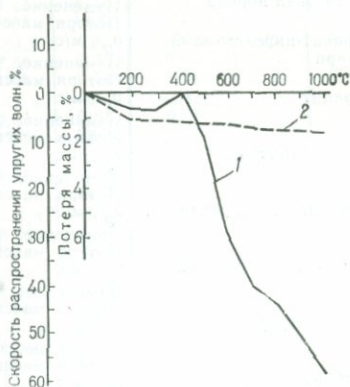


Рис. 19. Изменение скорости распространения продольных волн и потеря массы от температуры прокаливания песчаника (условные обозначения см. на рис. 18).

Таблица 113

## Изменение значений физических свойств горных пород в зависимости

Порода	Показатели	При исходной температуре 20° С	При температуре		
			100	200	300
			Песчаник	$v_p$ , м/с	2000
	Изменение, %	100	-3,1	-3,1	-3,1
	Потеря массы, %		1,0	1,01	1,01
Мергель	$v_p$ , м/с	1780	2000	2000	1070
	Изменение, %	100	+12,4	+12,4	+16,3
	Потеря массы, %		0,66	0,93	0,93
Известняк неравномернозернистый	$v_p$ , м/с	2770	2772	2772	2985
	Изменение, %	100	+0,7	+0,7	+7,77
	Потеря массы, %		0,01	0,03	0,04
Змеевик	$v_p$ , м/с	2067	2385	2385	2584
	Изменение, %	100	+15,4	+15,4	+25,0
	Потеря массы, %		0,34	0,63	0,74
Кварцит	$v_p$ , м/с	2308	2500	2610	2610
	Изменение, %	100	+8,3	+13,1	+13,1
	Потеря массы, %		0,01	0,02	0,03
Гнейс	$v_p$ , м/с	2231	2320	2417	1871
	Изменение, %	100	+4,0	+8,34	-16,14
	Потеря массы, %		0,05	0,07	0,06
Роговик	$v_p$ , м/с	2143	2400	2728	2610
	Изменение, %	100	+12,0	+27,3	+21,8
	Потеря массы, %		0,07	0,16	0,30
Карбонат-хлорит-магнетитовая порода	$v_p$ , м/с	2027	2252	2339	2339
	Изменение, %	100	+11,4	+15,4	+15,4
	Потеря массы, %		0,46	0,63	0,74
Гранат-пироксеновый скарн	$v_p$ , м/с	2432	2432	24,32	2534
	Изменение, %	100	0	0	+4,19
	Потеря массы, %		0,19	0,19	0,22
Гранит	$v_p$ , м/с	2231	2326	2065	2067
	Изменение, %	100	+4,3	-7,45	-7,2
	Потеря массы, %		0,09	0,20	0,15
Сиенит-порфир	$v_p$ , м/с	2215	2480	2480	2480
	Изменение, %	100	+12,0	+12,0	+12,0
	Потеря массы, %		0,10	0,15	0,34
Диорит скарнированный	$v_p$ , м/с	2400	2500	2610	2610
	Изменение, %	100	+4,2	+8,8	+8,8
	Потеря массы, %		0,06	0,15	0,37
Кварцевый кератофир	$v_p$ , м/с	2326	2617	2617	2617
	Изменение, %	100	+12,51	+12,51	+12,51
	Потеря массы, %		0,03	0,06	0,08
Альбитофир	$v_p$ , м/с	2230	2400	2600	2600
	Изменение, %	100	+7,6	+16,6	+16,6
	Потеря массы, %		0,09	0,15	0,23
Габбро	$v_p$ , м/с	2517	2416	2416	2416
	Изменение, %	100	-4,1	-4,1	-4,1
	Потеря массы, %		0,08	0,11	0,14
Плагиогранит	$v_p$ , м/с	2385	2584	2584	2385
	Изменение, %	100	+8,3	+8,3	0
	Потеря массы, %		0,01	0,03	0,04

## сти от изменения температуры

нагрева, °С								Магнитная восприимчивость $\chi_{ср} \cdot 10^{-6}$ , CGSM	
	400	500	600	700	800	900	1000	начальная	конечная
0	-8,8	-29,6	-39,2	-43,7	-50,8	-57,55			
1,15	1,19	1,23	1,41	1,51	1,55	1,57			
2070	2070	2000	1730	1940	2000	2000			
+16,3	+16,3	+12,4	-2,8	+9,0	+12,4	+12,4			
1,14	1,32	2,17	4,59	5,41	6,88	7,34			
2772	2857	2425	2425	2283	Разрушился				
-0,7	-6,61	-12,26	-12,46	-17,6					
0,06	0,09	0,13	0,25	1,37					
2584	2584	2485	2480	2480	2584	2584			
+25,0	+25,0	+25,0	+20,0	+20,0	+25,0	+25,0			
1,03	1,20	1,67	7,48	12,0	12,64	13,05			
2610	2610	2400	2310	2150	2070	1880			
+13,1	+12,1	+4,0	0	-6,8	-10,3	-18,6			
0,04	0,06	0,13	0,24	0,29	0,34	0,36			
2417	2320*	1934	1813	1813	1611	1568			
+8,34	+3,99	-12,31	-18,74	-18,8	-17,74	-29,72			
0,04	0,21	0,43	0,78	1,0	1,60	1,95			
2730	2728	2500	2223	1880	1670	1670			
+27,4	+27,3	+16,7	+3,7	-12,3	-22,1	-22,1			
0,35	0,40	0,45	0,64	1,10	1,35	1,35			
2339	2339	2252	2172	1900	1789	1789			
+15,4	+15,4	+11,10	+0,72	-6,3	-11,7	-11,7			
0,77	0,89	0,98	3,08	5,42	8,37	8,37			
2769	2644	2339	2097	1962	1900	1689			
+14,0	8,72	-3,8	-13,8	-19,3	-19,9	-30,6			
0,25	0,28	0,32	0,42	0,50	0,78	0,81			
2027	1800	1658	1250	1285	1074	1031			
-9,1	-19,2	-25,5	-44,0	-42,4	-51,8	-53,8			
0,16	0,52	0,39	0,44	0,53	0,81	0,81			
2480	2480	2138	1824	1550	1292	1292			
+12,0	+12,0	-3,5	-17,7	-30,0	-41,7	-41,7			
0,77	1,11	1,20	1,35	1,48	1,74	1,81			
2610	2610	2610	2500	2310	2143	1500			
+8,8	+8,8	+8,8	+4,2	-3,8	-10,7	-37,5			
0,48	0,59	0,72	0,88	0,95	1,00	1,07			
2617	2617	2512	2243	2416	2243	1570			
+12,51	+12,51	+8,0	-3,57	+3,87	-3,57	-32,50			
0,12	0,25	0,34	0,44	0,37	0,39	0,44			
2714	2600	2600	2496	2496	1950	1950			
+21,7	+16,6	+16,6	+12,0	+12,0	+12,0	-12,6			
0,26	0,40	0,53	0,72	0,72	0,72	0,76			
2517	2324	2083	1831	1678	1373	1007			
0	-7,7	-17,2	-27,3	-33,3	-45,5	-60,0			
0,21	0,29	0,35	0,35	0,31	0,34	0,38			
2297	1938	1193	494	Разрушился					
-3,7	-18,7	-50,0	-79,7						
0,05	0,08	0,16	0,62						

Порода	Показатели	При исходной температуре 20° С	При температуре		
			100	200	300
Порфирит диабазовый	$v_p$ , м/с	2172	2432	2644	2534
	Изменение, %	100	+12,0	+21,73	+11,7
	Потеря массы, %		0,05	0,10	0,25
Горнблендит	$v_p$ , м/с	2058	2216	2216	2400
	Изменение, %	100	+7,7	+7,7	+17,0
	Потеря массы, %		0,08	0,11	0,15
Диабаз	$v_p$ , м/с	2339	2621	26,21	2644
	Изменение, %	100	+12,1	+12,1	+12,0
	Потеря массы, %		0,01	0,05	0,09
Туф	$v_p$ , м/с	1816	1982	2109	2109
	Изменение, %	100	+9,2	+16,2	+16,1
	Потеря массы, %		1,12	1,33	1,66
Апатит	$v_p$ , м/с	2150	2400	2400	2316
	Изменение, %	100	+11,6	+11,6	+7,5
	Потеря массы, %		0,03	1,10	0,15

20, б), так и на участках, занятых отдельными минералами полевых шпатов (рис. 20, в).

В граните первые трещины появились при температуре 200° С (рис. 21, а). При 600° С их количество возросло (рис. 21, б), а при 800° С образец полностью разрушился.

В песчанике заметная трещиноватость появляется при температуре 800° С (рис. 22, а). При 1000° С количество трещин и пустот резко возрастает и порода становится рыхлой (рис. 22, б).

Появление существенно заметных трещин в песчанике только при сравнительно высокой температуре можно объяснить повышенной первоначальной пористостью (5,2%), которая позволяла расширяться зернам минералов при нагревании без разрыва сплошности породы.

В магнетитовой руде первые существенные трещины образовались при 600° С, в известняке при 200° С, в доломите при 400—600° С.

Характерно отметить, что известняк и доломит полностью разрушились при водонасыщении (в самый первый момент водонасыщения) после прокаливании до 1000° С\*.

Исследованиями при использовании ультразвука установлено, например, что существенное нарушение сплошности структуры сленита наступает при 200—300° С, гранита — при 200—400° С, песчаника — при 600—800° С, доломита — при 400—600° С. Исследования

\* Водонасыщение образцов проводилось в холодном виде по истечении 16—18-часового выдерживания их в эксикаторе после извлечения из электропечи.

нагрева, °С							Магнитная восприимчивость $\chi_{ср} \cdot 10^{-6}$ , CGSM		
	400	500	600	700	800	900	1000	начальная	конечная
2764	2644	2644	2172	2097	1962	1900			
+27,26	+21,73	+21,73	0	-3,5	-9,67	-12,52	223	2996	
0,31	0,27	0,54	3,40	4,44	4,70	5,28			
2505	2400	2400	2134	1859	1600	1440			
+21,7	+16,6	+16,6	+3,7	-9,7	-22,3	-30,0	27 291	28 988	
0,17	0,21	0,45	0,82	1,06	1,12	1,14			
2644	2644	2534	2339	2339	2172	1962			
+13,0	+13,0	+8,6	0	0	-7,1	-16,1	2079	3452	
0,22	0,29	0,62	2,0	2,47	2,79	2,79			
2109	2034	2034	2034	1923	1923	1816			
+16,1	+12,0	+12,0	+12,0	+5,9	+5,9	0	0	0	
1,71	1,87	1,92	2,09	2,12	2,12	2,2			
2143	1940	1875	1667	1200	1250	1225			
-0,3	-9,8	-12,8	-22,5	-44,2	-41,9	-43,0	0	89	
0,17	0,19	0,20	0,25	0,19	0,20	0,21			

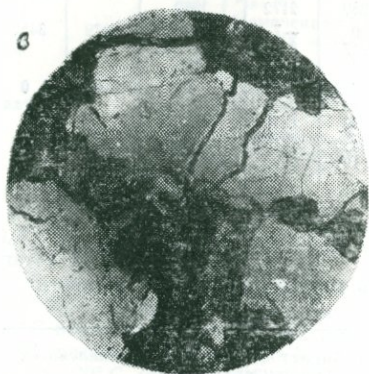
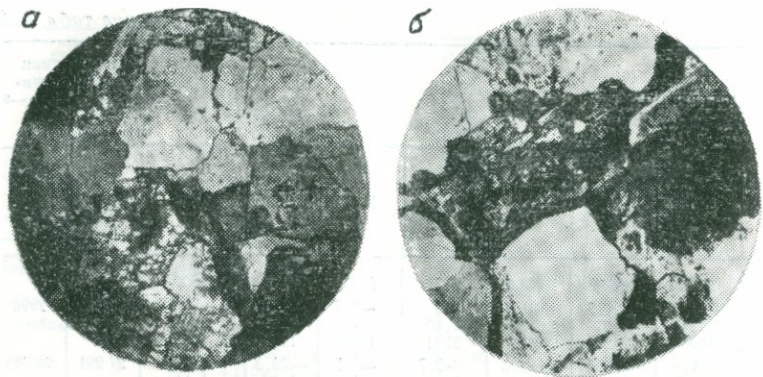
Таблица 114

Изменение эффективной пористости горных пород в зависимости от изменения температуры

Порода	Эффективная пористость пород, %, прокаленные х при температуре, °С					
	100	200	400	600	800	1000
Габбро . . . . .	0,66	0,45	1,09	0,73	1,36	2,19
Сленит . . . . .	0,56	0,61	1,16	2,30	3,82	9,57
Руда . . . . .	1,32	0,97	2,67	2,83	2,19	3,18
Гранит . . . . .	1,46	1,08	1,66	3,65	—	—
Известняк . . . . .	0,79	0,51	1,15	2,03	4,88	—
Песчаник . . . . .	4,1	6,6	4,3	4,02	3,59	5,30
Доломит . . . . .	8,9	6,31	3,13	11,27	14,04	—

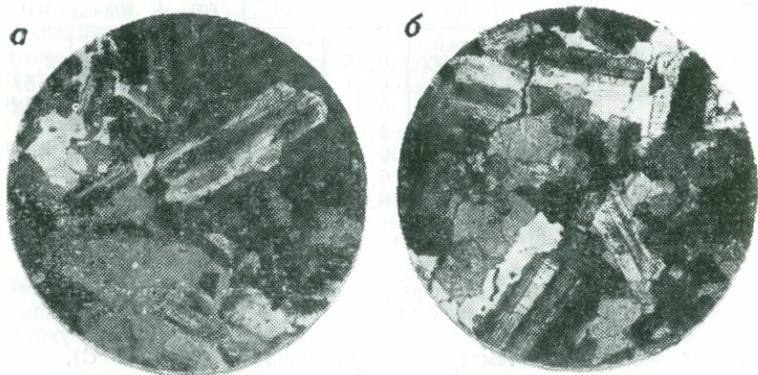
также показали, что на температуру образования микротрещин оказывает влияние первоначальная пористость. В породах (песчаник, доломит) с высокой пористостью (5,2—9,1%) трещины образуются при более высокой температуре прокаливании (600—800° С).

Влияние температуры нагревания образцов горных пород может также характеризоваться изменением их магнитных свойств. Нагревание образцов оказывает различное влияние на состояние магнит-



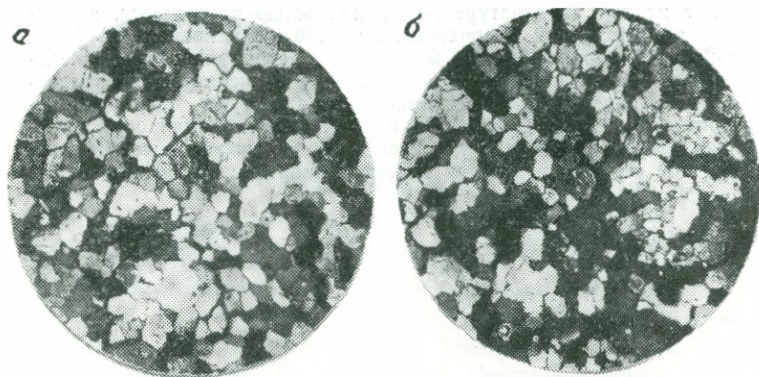
**Рис. 20.** Образование трещин в слените.

Температура прокаливания, °С: *а* — 300—400; *б* — 600; *в* — 1000 (николи +, ув. 18 раз)



**Рис. 21.** Образование трещин в граните.

Температура прокаливания, °С: *а* — 200; *б* — 600 (николи +, ув. 18 раз)



**Рис. 22. Образование трещин в песчанике.**

Температура прокаливания, °С: а — 860; б — 1000 (никколи +, ув. 18 раз)

ной восприимчивости. Песчаник, мергель, гнейс, роговик, гранит, диорит, кератофир, апатит после нагревания их до 1000° С обнаружили магнитные свойства. Кварцит, туф, известняк остались немагнитными, как и в исходном состоянии. Скарн рудный, сиенит, лабрадорит, змеевик снизили магнитные свойства на 28, 66, 73 и 93% соответственно. Наоборот, резко повысили магнитную восприимчивость следующие породы: скарн в 14,2 раза, порфирит в 13,5 раз, габбро в 8,7 раза, альбитофир в 4,3 раза, диабаз в 1,6 раза и горнблендит в 1,06 раза.

Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Проведенные исследования показывают, что в качестве допониительной константы могут представлять интерес данные о степени сжимаемости раздробленных пород различного состава, обладающих различной усадкой.

2. Весьма показательна пористость спрессованного порошка, характеризующая в сущности пустотность пород в раздробленном состоянии.

3. Пористость раздробленной породы после сжатия в прокаленном состоянии в 3—5 раз выше пористости пород в монолите.

4. Несомненный интерес представляют данные по изменению скорости распространения продольных волн в породах в зависимости от температуры прокаливания образцов. В частности, после прокаливания пород до 400—500° С происходит возрастание скорости распространения продольных волн, а при дальнейшем повышении температуры наблюдается резкое ее уменьшение. Это объясняется существенным повышением пористости и водонасыщения пород вследствие образования трещин.

5. Установлен диапазон температур, при которых происходит нарушение сплошности породы. В частности, в сиенитах появляются трещины при температуре 200—300° С, в граните при 200—400° С, в песчанике при 800° С, в магнетитовой руде при 400° С, в мраморе при 200° С и в доломите при 400—600° С.

Гранит при температуре  $800^{\circ}\text{C}$  полностью разрушился, а мрамор и доломит — при водонасыщении после прокаливания до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Установлена характеристика магнитной восприимчивости исследованных пород в зависимости от изменения температуры прокаливания. Такие породы, как известняки, кварциты, туфы, сохраняют немагнитные свойства. Появляется магнитная восприимчивость у песчаника, мергеля, гнейса и др. Снизилась первоначальные значения магнитной восприимчивости у змеевика, скарна и других пород.

1. *Амирасланов А. А.* Основные типы месторождений свинца и цинка. М., Госгеолтехиздат, 1957. 212 с.
2. *Изменение фазового состава ферромагнитной фракции базальтов*/В. И. Багин, С. Ю. Бродская, Г. Н. Петрова, Д. М. Печерский. Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1969, № 11, с. 66—76.
3. *Балута А. М., Борисенко В. Г.* Прогнозная оценка физико-механических свойств горных пород Кривбасса. Киев, Наукова думка, 1972. 88 с.
4. *Барон Л. И., Глатман Л. Б.* Контактная прочность горных пород. М., Недра, 1966. 228 с.
5. *Барон Л. И., Кузнецов А. В.* Абразивность горных пород при добычании. Изд-во АН СССР, 1961. 168 с.
6. *Барон Л. И., Коняшин Ю. Г., Курбанов В. М.* Дробимость горных пород. М., Изд-во АН СССР, 1963. 167 с.
7. *Белаенко Ф. А.* Свойства горных пород с точки зрения управления кровлей. М., ОНТИ НКТП СССР, 1936. 106 с.
8. *Беликов Б. П.* Упругие константы породообразующих минералов и их влияние на упругость горных пород. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород. М., 1964, с. 118—132.
9. *Белоусов В. В.* Основные вопросы геотектоники. М., Госгеолтехиздат, 1954. 607 с.
10. *Белоусов Е. И., Черткова В. В.* Моделирование складчатости в условиях продольного изгиба. — Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд-ние геологии. Т. 30, вып. 5, 1955, с. 117—124.
11. *Берч Ф. Р., Шерер Дж, Снайсер Г.* Справочник для геологов по физическим константам (пер. с англ. под ред. А. П. Виноградова). М., Изд-во иностр. лит., 1949. 301 с.
12. *Бриджмен П. В.* Новейшие работы в области высоких давлений. М., Изд-во иностр. лит., 1968. 500 с.
13. *Ватолин Е. С., Тебер Р. И.* Физико-механические свойства горных пород Соколовско-Сарбаевского обогатительного комбината. — В сб.: Научн. сообщ. ИГД им. Скочинского. Вып. 37. М., 1967, с. 59—70.
14. *Влияние всестороннего давления на скорости продольных волн в насыщенных керосином и водой образцах осадочных пород*/М. П. Волярович, Е. И. Баюк, Т. М. Салехли и др. — В кн.: Физико-

механические свойства горных пород верхней части Земной коры. М., 1968, с. 123—127.

15. *Волярович М. П., Балашов Д. П.* Скорости упругих волн в горных породах — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1957, № 3, с. 319—330.

16. *Вольфсон Ф. И.* Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1952. 212 с.

17. *Гелейшвили В. И.* Роль физико-механических свойств рудовмещающих горных пород в формировании структурно-морфологических типов рудных тел. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 207—211.

18. *Грейтон Л.* Природа рудообразующего флюида (пер. с англ.). М., Госгеолиздат, 1946. 184 с.

19. *Григорян С. В., Зубов М. А., Розанов Ю. А.* О влиянии физико-механических свойств горных пород на формирование первичных геохимических ореолов. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений, М., 1973, с. 118—126.

20. *Дробышев В. Ф., Карташов Ю. М.* Некоторые результаты исследования физико-механических свойств Южно-Белозерского железорудного месторождения. — В кн.: Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ, № 60, М., 1966, с. 146—163.

21. *Звягинцев Я. И.* Значение пористости горных пород в локализации сульфидного оруденения на рудном Алтае. — В кн.: Физико-механические свойства верхней части Земной коры. М., 1968, с. 251—257.

22. *Измененные* околорудные породы и их поисковое значение. — Сб. статей под ред. Н. Н. Курека. М., 1954, с. 3—52, 196—255.

23. *Ильницкая Е. И.* Исследование физико-механических свойств горных пород Талнахского месторождения. — В сб.: Научн. сообщ. ИГД им. Скочинского. Вып. 37, М., 1967, с. 70—92.

24. *Исследование* физических свойств горных пород Северного Кавказа/Г. Д. Афанасьев, Е. И. Баяк, Б. П. Беликов и др. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части Земной коры. М., 1968, с. 8—30.

25. *Карамян К. А., Саркисян С. П.* Роль физико-механических свойств горных пород в размещении медно-молибденового оруденения Дастакертского месторождения. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 164—171.

26. *Катин К. П., Пестунов И. П.* Физико-механические свойства пород Джекказганского месторождения. — Сб. тр. Всесоюзн. научн.-

исслед. горно-металлургического института цветных металлов. М., 1967, № 11, с. 523—533.

27. Королев В. А., Фахтулаев Т. Д., Овечкин В. В. Изменение некоторых физических свойств пород Актюзского района в зависимости от геолого-структурных факторов. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М., 1968, с. 226—234.

28. Кочнев К. В., Костылев П. П. Определение теплофизических констант горных пород Норильского месторождения руд — Колыма, 1969, № 4, с. 35—37.

29. Кошулько П. М. Физико-механические свойства и буримость горных пород. — В кн.: Проблемы механики горных пород. Алма-Ата, 1966, с. 217—225.

30. Крейтер В. М. Структуры рудных полей и месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1956, 272 с.

31. Крейтер В. М., Жилкин Н. Г., Морозов В. И. Некоторые данные о свойствах горных пород после раздробления. — В кн.: Минеральное сырье. Вып. I. М., 1960, с. 215—228.

32. Кудусов Х. К. Физико-механические свойства горных пород Акташского рудного поля и их роль в локализации флюоритового и свинцово-цинкового оруденения. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 196—203.

33. Курсакин Г. А., Константинов Д. П. Результаты исследований физико-механических свойств горных пород Наталкинского месторождения — Колыма, 1975, № 7, с. 16—20.

34. Ловеринг Т. С. Об изменении пород как поисковых признаках М., Изд-во иностр. лит. 1951, 96 с.

35. Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М., Высшая школа, 1974, с. 399.

36. Любимов Н. И. Принципы классификации и эффективного разрушения горных пород при разведочном бурении. М., Недра, 1967, 317 с.

37. Любимов Н. И. Прибор и метод определения абразивности раздробленных горных пород. Экспресс-информация. М., ЦНИГРИ, 1969. 12 с.

38. Любимов Н. И. Рациональный породообразующий инструмент и способы бурения скважин при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. М., ВИЭМС, 1971. 81 с.

39. Любимов Н. И., Морозов В. И. Физико-механические свойства рудовмещающих горных пород. М., Недра, 1973. 12 с.

40. Любимов Н. И. Классификация горных пород и рациональное использование буровой техники. М., Недра, 1977. 140 с.

41. Ляховицкий Ф. М., Полтева М. Н. Экспериментальные исследе-

дования по определению предела прочности горных пород на сжатие по упругим характеристикам. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М., 1968, с. 211—215.

42. Меликидзе И. Г., Хурошвили Г. И., Шенгелая Е. Ш. Исследование механических свойств руд и вмещающих пород Маднеульского комплексного месторождения. — В кн.: Физико-механические свойства и разрушение горных пород. Тбилиси, 1967, с. 47—61.

43. Меликян Л. С. Физико-механические свойства рудовмещающих пород и некоторые вопросы локализации гидротермального оруденения на Зодском золоторудном месторождении. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 187—196.

44. Могилевская С. Е. Исследование физико-механических свойств и состава руд вмещающих пород Шерегешского месторождения в связи с особенностями геологического строения. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части Земной коры. М., 1968, с. 265—270.

45. Некрасов И. А., Селиванов А. А. Многолетнемерзлые горные породы Нижне-Ингамакитской котловины. — В кн.: Геокриологические условия Забайкальского Севера. М., 1966, с. 100—123.

46. Никитин С. Н., Терехов В. Ф. Физико-механические свойства горных пород Качарского железорудного бассейна. — Сб. науч. тр. Магнитогорского металлургического института. Вып. 4, 1974, с. 31—37.

47. Осборн Е. Ф. Экспериментальные исследования давления кислорода, содержания воды и порядка кристаллизации базальтов и андезитов. — В кн.: Химия земной коры. Т. 2. М., 1964, с. 75—87.

48. ОСТ 41-89—74. Породы горные. Метод контрольного определения категорий по буримости для вращательного бурения. М., Мингео СССР. Издание официальное. 13 с.

49. Павленко А. С. Особенности метасоматоза в одном из районов Северного Криворожья. — Изв. АН СССР. Сер. геол. М., 1959, № 1, с. 81—101.

50. Павлов К. В. Классификация горных пород и некоторые вопросы нормирования работ в горной промышленности. — Цветные металлы. М., № 12, 1940, с. 11—22.

51. Павлова Н. Н., Кузьменкова Г. Е. Исследование прочности и пластичности пород кристаллического фундамента на Русской платформе при высоких давлениях. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М., 1968, с. 197—208.

52. Пластическая деформация карбонатных горных пород/ Ю. А. Розанов, Ю. А. Косыгин, И. В. Лучицкая и др. — Труды ИГН АН СССР. М., 1950, вып. 122, № 14, с. 14—22.

53. *Протодьяконов М. М.* Определение крепости угля в шахтах.— Уголь. 1950, № 9, с. 20—24.
54. *Протодьяконов М. М.* Механические свойства и буримость горных пород.— В кн.: Механические свойства горных пород. М., 1963, с. 159—169.
55. *Рехарский В. М.* Изменение физико-механических свойств пород при формировании метасоматитов оруденения Каджаранского месторождения.— В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 160—164.
56. *Ржевский В. В., Новик Г. Л.* Основы физики горных пород. М., Недра, 1964. 206 с.
57. *Ржевский В. В.* Физико-технические параметры горных пород. М., Наука, 1975. 210 с.
58. *Розанов Ю. А.* Роль физико-механических свойств горных пород в формировании структур месторождений и локализации оруденения.— В кн.: Физико-механические свойства пород верхней части земной коры. М., 1968, с. 220—225.
59. *Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений.*— Сб. статей под ред. акад. В. И. Смирнова, В. И. Казанского, Н. П. Лаверова, Ю. А. Розанова, М., Наука, 1971. 239 с.
60. *Рудные месторождения СССР. Т. 1.* М., Недра, 1974. 327 с.
61. *Руппнейт К. В.* Механические свойства горных пород. М., Углетехиздат, 1956. 324 с.
62. *Саранчина Г. М., Шинкарев Н. Ф.* Петрография магматических и метаморфических пород. М., Недра, 1967, с. 116—117.
63. *Сафонов Ю. Г., Максимов С. С., Хомич В. Г.* Структуры месторождений и физико-механические свойства пород Балейского рудного поля.— В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 211—223.
64. *Сашнов А. С., Жанабатыров Е. С., Роот Э. Т.* Физико-механические свойства горных пород и руд Джебдинского месторождения.— Сб. статей Вопросы горного дела, Вып. V, 1965, Караганда, с. 48—57.
65. *Свечников Г.* Ленинские идеи неисчерпаемости материи в современной физике.— Коммунист, 1965, № 7.
66. *Смирнов С. С.* Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья. М., ОНТИ НКТП СССР, 1934, 492 с.
67. *Справочник мастера колонкового бурения/А. Л. Авруцкий, С. А. Волков, Е. А. Демьянова и др.* М., Недра, 1960. 528 с.
68. *Справочник физических констант горных пород* (под ред.

С. Кларка — младшего). (Пер. с англ.). М., Мир, 1969. 543 с.

69. *Справочник* (кадастр) физических свойств горных пород. Под ред. Н. В. Мельникова, В. В. Ржевского, М. М. Протодьяконова. М., Наука, 1975. 279 с.

70. *Старостин В. И.* Физико-механические свойства горных пород Яман-Касинского месторождения и их роль в локализации колчеданного оруденения. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части Земной коры. М., 1968, с. 234—244.

71. *Старостин В. И.* Структура порового пространства и динамика насыщения рудоносных пород колчеданных и полиметаллических месторождений. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 126—139.

72. *Суханов А. Ф.* К вопросу о единой классификации горных пород. М., Углетехиздат, 1947. 96 с.

73. *Тимченко И. П.* Физико-механические свойства вмещающих горных пород некоторых скарново-полиметаллических месторождений Карамазара. — В кн.: Проблемы механики горных пород, Алма-Ата, 1966, 398—407 с.

74. *Титов В. Н.* Роль физико-механических свойств горных пород в размещении апатитового оруденения Хибинского массива. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 151—160.

75. *Толкунов Н. Е., Максимова И. Г.* О влиянии физико-механических свойств рудовмещающих пород на локализацию флюоритового и свинцово-цинкового оруденений. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М., 1968, с. 248—251.

76. *Томашевская И. С.* Скорости продольных волн в некоторых горных породах и минералах Хибинского массива при трехосном напряженном состоянии. — В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М., 1968, с. 143—148.

77. *Тохтуев Г. В.* О влиянии физико-механических свойств горных пород на формирование рудоконтролирующих структур и локализацию железных руд докембрия Украины. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., 1973, с. 145—151.

78. *Физико-механические свойства пород Гусевогорского и Соколовского железорудных месторождений*/М. Л. Рудаков, В. Г. Зотеев, Л. В. Можаяев и др. — Сб. статей: Устойчивость бортов карьеров и горное давление, М., Недра, 1966, с. 29—40.

79. *Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры.* — Докл. на симпозиуме, состоявшемся 30/XI—4/XII—1964 г. М., Наука, 1968. 334 с.

80. *Физико-механические* свойства в классификация пород и руд восточного карьера г. Магнитной/А. М. Стороженко, К. А. Ляховец, А. Т. Шахматов и др. — Сб. научных тр. Вып. 113, Магнитогорск, 1972, с. 28—32.

81. *Физико-механические* свойства горных пород Урала/В. Е. Боянкова, А. В. Зубков, С. М. Улеков и др. — Сб. статей: Устойчивость бортов карьеров и управление горным давлением. Свердловск, 1972, с. 158—164.

82. *Физико-механические* свойства пород Никитовского месторождения/А. В. Чантурия, В. Д. Морозов, З. Г. Каюмов и др. — Научн. труды. Среднеазиатского научн.-исслед. и проектного института цветной металлургии. № 13, 1975, с. 144—199.

83. *Физические* свойства осадочного покрова территории СССР. Под ред. М. Л. Озерской, Н. В. Подобы. М., Недра, 1967. 772 с.

84. *Физические* свойства горных пород золоторудных полей и их роль в локализации оруденения/Г. П. Воларович, Н. А. Розанова, Е. В. Кузьмичев и др. — В кн.: Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений. М., Недра, 1973, с. 46—52.

85. *Филиппов П. И.* Некоторые данные о теплофизических свойствах горных пород Удоканского месторождения. — В кн.: Геокриологические условия Забайкальского Севера. М., 1966, с. 50—52.

86. *Шасткевич Ю. Г.* Многолетнемерзлые породы высокогорной части хребта Удокан и условия формирования их температурного режима. — В кн.: Геокриологические условия Забайкальского Севера. М., 1966, с. 24—42.

87. *Шрейнер Л. А.* Механические и абразивные свойства горных пород. М., Углетехиздат, 1958. 201 с.

88. *Fayol H.* Note sur les mouvements de terrain provoqués par l'exploitation des mines. — «Bull. Soc. l'ind. min.», 1885.

89. *Frannsen H.* Versuch zur Ermittlung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen. «Glückauf», № 47/48, 1950, S. 1129—1134.

90. *Shepherd R.* Physical properties and drillability of main rocks. Colliery Engineering, № 322, 1950, p. 468—490.

91. *Shepherd R.* Rotary drilling in coal mines. Colliery Engineering, № 343, 1952, p. 370—375.

92. *Sievers H.* Die Bestimmung des Bohrwiderstandes von Gesteinen. «Glückauf», 37/38, 1950, S. 776—784.

Предисловие . . . . .	3
Глава I. Краткий литературный обзор . . . . .	5
Глава II. Методики определений физико-механических свойств горных пород . . . . .	19
Глава III. Генетическая классификация и группировка горных пород по составу и физико-механическим свойствам . . . . .	34
§ 1. Классификация горных пород магматического, осадочного и метаморфического происхождения . . . . .	34
§ 2. Группировка горных пород по составу и физико-механическим свойствам . . . . .	46
§ 3. Группировка горных пород по механическим свойствам и буримости для вращательного и ударно-вращательного способов разведочного бурения . . . . .	56
Глава IV. Физико-механические свойства генетических комплексов и типов горных пород рудных полей и месторождений . . . . .	71
§ 1. Генетические комплексы горных пород и группировка месторождений полезных ископаемых . . . . .	71
§ 2. Осадочный комплекс и физико-механические параметры рудовмещающих горных пород . . . . .	84
§ 3. Осадочный метаморфизованный комплекс и физико-механические параметры рудовмещающих горных пород . . . . .	93
§ 4. Метаморфический комплекс и физико-механические параметры рудовмещающих горных пород . . . . .	115
§ 5. Комплекс основных и ультраосновных пород и физико-механические параметры рудовмещающих горных пород . . . . .	128
§ 6. Комплекс гранитоидов и физико-механические параметры рудовмещающих горных пород . . . . .	135
§ 7. Вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплекс рудовмещающих горных пород и их физико-механические параметры . . . . .	175

§ 8. Сложный комплекс рудовмещающих горных пород и их физико-механические параметры . . . . .	210
Глава V. Сжимаемость горных пород в раздробленном состоянии . . . . .	258
Глава VI. Влияние температуры на образование трещин в горных породах . . . . .	268
Список литературы . . . . .	277

НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ ЛЮБИМОВ  
ЛЮДМИЛА ИВАНОВНА НОСЕНКО

**Справочник по физико-механическим  
параметрам горных пород рудных районов**

Редактор издательства *А. И. Панова*  
Переплет художника *С. А. Смирновой*  
Технический редактор *В. Л. Прозоровская*  
Корректор *М. П. Курылева*

Сдано в набор 12.05.78. Подписано в печать  
18.10.78. Т-20210. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага № 1.  
Гарнитура литер. Печать высокая. Печ. л. 9,0.  
Усл. п. л. 15,12. Уч.-изд. л. 18,64. Тираж 5400 экз.  
Заказ № 8-222/5907—2. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,  
Третьяковский проезд, 1/19

Книжная фабрика «Коммунист» РПО «Полиграф-  
книга» Госкомиздата УССР, 310012, Харьков-12,  
ул. Энгельса, 11

## Уважаемый товарищ!

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

ГОТОВИТ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ

**ГРЕЧИЩЕВ С. Е., ЧИСТОТИНОВ Л. В., ШУР Ю. Л.** Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. 15 л. 2 р. 30 к.

В книге освещаются теоретические основы, методы и надежность геокриологического прогнозирования. Одна из глав посвящена основному по сложности и практической значимости комплексу физико-геологических процессов и явлений — термокарсту. Авторы впервые дают исчерпывающий обзор основных представлений, понятий, гипотез и частных теорий в этой области геокриологии. В книге описываются криогенное лучение грунтов, проблема закономерностей и методов прогноза криогенного растрескивания грунтов. Содержатся рекомендации по использованию предложенных расчетных методов для прогноза развития криогенных процессов в районах хозяйственного освоения территорий с многолетнемерзлыми породами, содержатся примеры прогнозных расчетов.

Книга предназначена для инженеров-геологов, изыскателей и проектировщиков, работающих в районах Севера и Северо-Востока, а также для научных работников-мерзлотоведов и студентов вузов.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ основы исследования химического состава горных пород, руд и минералов/Остроумов Г. В., Хитров В. Г., Малышев В. И. и др.** 27 л. 1 р. 80 к.

В книге освещены назначение и особенности изучения химического состава минерального сырья при проведении геологоразведочных работ. Изложены требования к качеству аналитических исследований минерального сырья. Дана характеристика химических, физико-химических и физических методов определения состава горных пород и минералов при содержании определяемых компонентов от  $10^{-5}$  до десятков процентов. Рассмотрены весовые, объемные, фотометрические, люминесцентные и электрохимические методы анализа. Описаны количественный спектральный и рентгеноспектральный анализы, рентгеноструктурный анализ, радиометрический и рентгенорадиометрический методы анализа, а также нейтронный активационный, нейтронно-абсорбционный, фотонейтронный и изотопный анализы. Для каждого вида анализа даны условия применимости, описаны аппаратура и методика работ.

Книга предназначена в качестве методического руководства для научно-технического персонала аналитических лабораторий, занимающихся анализом минерального сырья, а также инженерно-технических работников геологической службы.

**НАУМОВ В. А.** Оптическое определение компонентов осадочных пород. 15 л. 95 к.

В книге рассмотрены особенности типоморфизма, оптической диагностики и происхождения главнейших аутигенных и аллотигенных минералов осадочных пород. Описаны порообразующие аксессуарные и рудные (непрозрачные в шлифах) минералы, вулканогенный материал и органические остатки в осадочных породах. Изложение материала проведено на единой методической основе, базирующейся на показателях преломления минералов.

Книга является методическим и практическим руководством по определению компонентов осадочных пород и рассчитана на геологов и минералогов производственных геологических организаций, а также будет полезна студентам геологических специальностей вузов.

**ФЕРРОНСКИЙ В. И., ГРЯЗНОВ Т. А.** Пенетрационный картаж. 20 л. 1 р. 40 к.

В книге излагаются теоретические основы применения методов радиоактивного каротажа и статического зондирования с учетом их использования в едином аппаратном и методическом комплексе пенетрационного каротажа. Приводится описание последних установок для пенетрационного каротажа, предназначенных для инженерно-геологических исследований на суше и морских акваториях. Обобщается опыт производственного применения методов, технических средств пенетрационного каротажа в различных геолого-географических условиях. Даются основы использования комплексной пенетрационно-каротажной информации для инженерно-геологических целей. Оценивается экономическая эффективность использования пенетрационного каротажа.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических и научных работников производственных и научно-исследовательских организаций. Она может быть также использована в качестве пособия для студентов и преподавателей вузов соответствующих факультетов и специальностей.

*Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга — почтой» магазинов: № 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61; № 59 — 127412, Москва, Корovinское шоссе, 20*

Издательство «Недра»

1 руб. 10 коп.

2793

НЕДРА