Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXVII, вып. 1, 1975 г.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОЙ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ НЕДР

(механики горных пород и массивов)

Доктор техн. наук *А. А. Борисов*
(Ленинградский горный ин-т)

Среди важнейших проблем современности видное место занимают проблемы механики недр, над решением которых работают ученые крупнейших стран мира.

Быстрое развитие в послевоенные годы разработки недр, строительства подземных сооружений, рост использования недр для различных хранилищ (газа, жидкого топлива и др.), все более возрастающие масштабы горного производства, огромные перспективы его развития, связанные с увеличением глубины работ и включением в эксплуатацию все более сложных месторождений, выдвигают на первое место изучение проблем горной физики и механики недр.

Резкое повышение эффективности и безопасности горных работ вообще и горного производства в частности требует интенсивного развития горной науки в области изучения земных недр, главным образом в пределах горных массивов.

Горным массивом является включающий месторождение участок литосферы, в пределах которого распространяются физические процессы, связанные с производством горных работ, с разработкой месторождения в целом или отдельных шахтных полей. Необходимо иметь в виду сложность горных массивов, их многообразие, часто резкую неоднородность, тектоническую нарушенность, изменчивость строения в разных частях, насыщенность горных пород и полезных ископаемых водой, нередко газами, иногда нефтью, изменения температуры, глубины работ и т. д.

С известным приближением можно выделить однородные, крупноблочные, слоистые, мелкоблочные (трещиноватые) и комбинированные горные массивы.

Разработка месторождений вызывает в горных массивах в общем случае комплекс физических, а нередко и химических процессов. Среди них основными являются: механические процессы (перераспределение напряжений и деформаций, трещинообразование, разрушение, перемещение, дробление, уплотнение и т. д.), гидравлические, газодинамические, тепловые, выветривания.

Возрастание глубин и масштабов горных работ, включение в эксплуатацию все более сложных месторождений, внедрение новых систем одновременной открытой и подземной разработки месторождений увеличивает удельный вес комбинированного действия этих процессов, напри-

мер, внезапные выбросы угля и газа, пород и газа (комбинация механических, газодинамических и тепловых процессов); подработка пластов (комбинация механических, газовых, гидравлических и других процессов) и т. д.

Эти процессы изменяют физические, а не только механические, свойства горных пород неодинаково в различных зонах. Так, в зонах опорного давления и разгрузки, помимо плотности, прочностных и деформационных характеристик, изменяется магнитная проницаемость пород, их электропроводность, акустические и иные свойства.

При взрывных работах, а также при сейсмических явлениях на эти процессы накладываются волновые явления: колебания, вибрация кровли (целиков, стенок выработки).

Характер проявления каждого происходящего в недрах процесса в отдельности, их число, сочетание и взаимодействие варьируются в зависимости от конкретных условий. Все явления усложняются процессами предварительной обработки месторождений (шахтных полей или выемочных участков), такими как дренаж воды и газа, нагнетание воды в пласты, искусственное укрепление пород, подработка и надработка пластов и т. д.

Одни из этих процессов протекают монотонно и могут быть описаны уравнениями статики, другие имеют динамический характер проявлений, третьи — смешанный, некоторые носят незакономерный, случайный характер, есть процессы, меняющие характер своего проявления.

Течение процессов еще более усложняется тем, что характер их не является чисто естественным, так как их масштабы и интенсивность определяются деятельностью человека, который произвольно меняет условия проявлений процессов, изменяет системы разработки, их параметры, скорости подвигания горных работ, порядок и очередность отработки пластов в свите, способы управления кровлей и т. д.

Следует особо отметить, что все указанные процессы развиваются в трехмерном пространстве, т. е. все рассматриваемые задачи являются объемными.

Иными словами, в общем случае при производстве горных работ изменяется не только течение процессов, но нередко и состояние самих пород: твердые породы могут проявлять деформации ползучести, переходить в пластичное состояние; нетрещиноватые разбиваться трещинами; разрыхленные слеживаться; сухие становиться обводненными; сыпучие превращаться в плывуны, и наоборот, обводненные дренироваться и т. д.

Эти обстоятельства, а также крайняя трудность постановки натурных исследований предопределяют многообразие и трудность исследования законов и закономерностей процессов, постановки научно обоснованных лабораторных экспериментов и развития теории.

Наука, изучающая эти многообразные среды и процессы во всей их сложности и совокупности, является молодой, находится на стадии становления и даже не получила общепринятого названия.

В разное время предлагались следующие термины: горное давление, теория горного давления, учение о горном давлении, механика горных пород, геомеханика, механика горных пород и массивов, горная геомеханика.

Одним из наиболее ранних и распространенных является термин «горное давление». По горному давлению в СССР и за рубежом изданы книги крупных ученых [4], проводились конференции [7] и совещания, опубликованы тысячи статей, издана «Терминология по горному давлению» [13] и т. д.

Однако до сего дня продолжаются споры по вопросу об определении термина «горное давление». Одни ученые предлагали определить горное

давление как «...влияние деформирующихся пород на крепь» [14], другие как механическое воздействие горных пород на крепь [14], третьи как «...явление, вызванное и связанное с деформациями окружающих выработку пород,... процесс, изменяющийся во времени» [11], четвертые в широком смысле как давление внутри пород (т. е. напряжение), а в узком — как равнодействующую сумму всех сил, действующих на каждую точку искусственных и естественных опор (целиков, потолочин, краевых зон и др.), при этом давление, воспринимаемое опорами, определялось как составляющая этой равнодействующей [1]. Близкая к последней трактовка давалась и некоторыми зарубежными авторами [5].

В терминологии АН СССР горное давление определялось как «силы в породах, окружающих горную выработку» [13]. Это определение неудачно, так как неясно, о каких силах идет речь и почему только о силах в породах, окружающих выработки. Из этого определения следует, что давление, передаваемое породами на крепь выработки, не является горным давлением, как и напряжение в породах на достаточном удалении от выработки, с чем вряд ли можно согласиться.

Это определение представляет первую часть определения Л. Д. Шевякова: «Горное давление — это силы в окружающих горные выработки породах, при наличии которых для устранения деформаций выработок требуется возведение крепи» [16].

Вторая часть этого определения, так же как и первая, не является точной, поскольку крепи практически не устраняют деформаций выработок, а также потому, что с момента проведения выработки до момента возведения крепи и включения ее в работу в твердых породах, наряду с упругими, происходят и необратимые деформации ползучести.

Если же под деформациями выработок понимать не деформации окружающих пород, а только изменение поперечных сечений выработок, то во многих случаях в породах, окружающих выработку, величины сил (напряжений) окажутся недостаточными для изменения этих сечений.

Таким образом, определение Л. Д. Шевякова в целом неудовлетворительно.

Изложенное выше показывает недостаточность термина «горное давление» и всех его определений как для использования в качестве термина, определяющего совокупность физических процессов, происходящих в горных массивах (в недрах), так и для определения науки, занимающейся их изучением.

Из этого, однако, не следует, что термин «горное давление» подлежит изъятию. Напротив, он крайне необходим. В широком смысле горное давление представляет собой напряжение (тензор напряжений) в горных породах, а в узком смысле оно является равнодействующей всех сил, действующих в каждой данной точке на границах пород с искусственными и естественными опорами (целики, крепи, потолочины, краевые зоны); интенсивность горного давления, воспринимаемого опорами, определяется интенсивностью нормальной и касательной составляющих реакций опор в каждой данной точке.

Термин «механика горных пород» ввел П. М. Цымбаревич в 1934 г. [15], а в 1948 г. под таким названием вышли в свет книги В. Д. Слесарева [12] и П. М. Цымбаревича [14]. С этого времени термин «механика горных пород» распространяется все шире.

П. М. Цымбаревич предлагал следующее определение: «Механика горных пород — отрасль прикладных знаний, изучающая механическую сторону явлений в массиве горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых» [14]. Он указывал, что задачей механики горных пород является освещение двух фундаментальных проблем: добываемости горных пород и горного давления.

Хотя в этом определении имеются недостатки, например, область механики горных работ ограничена только разработкой месторождений, область приложения этой науки в нем правильно ограничена механической стороной явлений в горном массиве.

Но при этом многие свойства пород и явлений в недрах, связанные с механическими процессами, выпадают. Поэтому в «терминологии горного давления» принято следующее определение: «Механика горных пород — учение о физико-механических свойствах горных пород и явлениях, протекающих в них при производстве горных работ». Здесь область приложения этой науки расширена и определена производством горных работ вообще, но при этом в термин «механика горных пород» втиснуты физические свойства пород и все явления, в том числе и не механические, что делает определение неправомерным.

Вследствие недостатков вышеуказанных определений и дальнейшего развития данной науки появились новые термины: «геомеханика», «механика горных пород и массивов», «горная геомеханика».

Термин «геомеханика» означает механику Земли как планеты. К сожалению, он не отражает того, что речь идет о механике при производстве горных работ, кроме того, этот термин узок, в него, помимо механических свойств и процессов, не входят никакие другие физические свойства и процессы.

Академик Н. В. Мельников обращал внимание на отсутствие общего понятия термина «механика горных пород». Он предложил следующее определение [8]: «Механика горных пород — фундаментальная часть горной науки, изучающая свойства и состояние горных пород и массивов с учетом твердой, жидкой и газообразной фазы и естественного напряженного состояния для создания целесообразных методов разрушения горных пород, управления горным давлением и сдвижением, а также устойчивости обнажения поверхностей».

В этой части формулировки правильно подчеркивается значение механики горных пород как фундаментальной части горной науки в целом, однако в нее включены свойства пород вообще, следовательно и физические, а также состояние горных пород, что выходит за рамки механики.

Неправомерность всех существующих определений механики горных пород объясняется тем, что эта наука давно уже вышла за пределы механики. Появилась и бурно развивается новая более широкая наука — горная физика (или физика недр).

Горная физика изучает особую среду — комплексы различных горных пород, поля в них, изменения и физические процессы, происходящие под влиянием проводимых горных работ. Иными словами, горная физика изучает сложные и разнообразные физические среды — горные массивы, законы их движения, процессы, протекающие при производстве горных работ, и действующие поля.

Основной целью горной физики является глубокое познание недр, создание научных основ для эффективных решений проблем разработки месторождений, строительства подземных сооружений, использования недр для различных целей (хранение газа, нефти и т. д.), разработка новых методов и способов управления процессами в недрах, новых способов и систем разработки недр, изменения свойств горных массивов в заданном направлении.

Выше показаны сложные и разнообразные условия в недрах, комбинации физических процессов, происходящих в горных массивах при производстве горных работ, нестабильность условий протекания процессов в недрах, а также то, что породы, слагающие горные массивы, претерпевают деформации и разрушения, нередко по заранее заданным общим направлениям.

Столь специфические среды не изучает ни одна наука, поэтому горная физика является не только прикладной, хотя и имеет огромное практическое значение.

Горная физика отличается от таких наук как физика Земли, разведочная геофизика, физика твердого тела не только целями и задачами, но прежде всего типами превращений в изучаемых ею средах, комбинациями и проявлениями физических процессов, вызываемых действием сил природы, а также условий и сил, создаваемых деятельностью человека.

Существует тенденция замены термина «горная физика» термином «физика горных пород», однако последний не включает физические процессы, протекающие в горных массивах, и не отражает область, связанную с производством горных работ, поэтому такая замена неправомерна.

Физика горных пород в действительности является разделом горной физики, который изучает физические свойства горных пород в натурных условиях и на образцах (в лабораторных условиях).

В настоящее время развивается ряд разделов горной физики: механика горных пород, разрушение горных пород, физика горных пород. гидравлика, газодинамика, акустика, теплофизика и др. Достигнутые результаты неоднократно обсуждались на многочисленных конференциях, совещаниях и конгрессах.

В СССР по разделам горной физики в ряде вузов и НИИ ведутся научно-исследовательские работы, публикуются книги и многочисленные статьи, готовятся специальные кадры.

В Ленинградском и Московском горных институтах уже несколько лет подготавливаются горные инженеры-физики по специализациям: физика горных пород, акустика, разрушение горных пород взрывом, механика горных пород, радиоинтроскопия пород, горная теплофизика. Успешно развиваются новые дисциплины: физические процессы горного производства, основы физики недр, физическое моделирование горных процессов, физика и механика горных пород и массивов, акустика горных пород и др.

Главным направлением дальнейшего развития горной физики должно явиться комплексное изучение физических процессов, вызванных горными и сопутствующими им работами. Невозможно правильно вести горные работы, если не учитывать совместного действия основных процессов, ограничиваться изучением только вопросов механики горных пород. По мере возрастания глубины работ и включения в разработку новых, сложных месторождений значение учета комплекса физических процессов будет все более возрастать, интенсивно будут развиваться разделы горной физики, интенсифицируется применение разнообразных и многочисленных методов физического зондирования указанных процессов с целью их контроля, прогноза, управления, профилактики, локализации и ликвидации.

Из всего вышесказанного вытекает следующее определение: механика горных пород и массивов (механика недр) является разделом горной физики. Она изучает законы и закономерности механических процессов: напряжений, деформаций, перемещений и разрушений в специфических средах — горных массивах, во взаимосвязи и взаимосочетаниях с другими физическими процессами, протекающими в них при производстве горных работ [2].

Развитие механики горных пород характеризуется переплетением многих наук (теории упругости, сопромата, физики твердого тела, теории платичности и ползучести и др.), техники и технологии.

Основной целью механики горных пород и массивов, как и в целом горной физики, является резкое повышение экономической эффективности любого горного производства (в том числе и горного строительства),

создание условий, гарантирующих безопасность труда, разработка методов обеспечения безопасных условий работы горных предприятий, создание автоматических систем прогноза, контроля и управления механическими и другими связанными с ними физическими процессами.

В этой связи наиболее подходящим был бы термин «горная механика», который, к сожалению, уже использован. Термин «механика горных пород и массивов» достаточно точен, но более коротким является термин «механика недр». который вполне правомерен в приложении к сфере разработки и использования недр.

Механика горных пород и массивов в настоящее время стала основным разделом горной физики. Это объясняется тем, что в большинстве горногеологических условий конечным выражением разных комплексов физических процессов являются механические процессы в горном массиве. Помимо того, механические процессы постоянно препятствовали горным работам уже на самых ранних стадиях становления горной промышленности, поэтому их изучение началось ранее других и развитие механики недр далеко опередило развитие других разделов горной физики.

Неправильно было бы абстрагировать механические процессы от других физических процессов, наоборот, необходимо все процессы, происходящие в пределах данного выемочного поля (блока, этажа, яруса, шахтного, рудничного поля), рассматривать во взаимосвязи. Однако в случаях, когда основными являются механические процессы, известная степень абстракции допустима.

В подземных условиях в общем случае все эксплуатационные выработки, в особенности очистные забои и выемочные штреки, испытывают влияние горных работ и физических процессов, происходящих не только на данном, но и на соседних или достаточно удаленных пластах (рудных телах, жилах). Радиусы взаимного влияния выработок могут достигать сотен метров (200—300 *м*), а иногда и значительно больше (например, микросейсмические явления, вызванные массовыми взрывами, горными ударами и др.).

Явления, рассматриваемые в механике горных пород, по интенсивности проявления и масштабам могут быть различными: от монотонных, узколокальных до быстрых процессов, имеющих иногда большие масштабы и носящих катастрофический характер. Нередко процессы совмещаются, наслаиваются, взаимно влияют друг на друга или обусловливают один другой, являются импульсами для проявления других.

Ученые весьма высоко оценивают отдачу механики горных пород и массивов, но оценить ее в конкретных величинах затруднительно.

Об отдаче данной отрасли науки нельзя судить исходя из соображений получения немедленной экономической эффективности. Так, например, предложенная в 1934 г. И. А. Журавлевым для пологих пластов галерея оказалась неработоспособной. Однако спустя 30 лет были созданы и в настоящее время широко внедряются механизированные крепи; в ЛГИ в 1936—1940 гг. были разработаны методы моделей (эквивалентных материалов, компенсирующей нагрузки), которые получили распространение только к концу 50-х годов, и т. д.

В результате исследований в области механики горных пород изучены: законы деформаций и разрушений твердых, слоистых и других типов пород при очистных работах на пологих и крутых пластах; взаимодействие крепей и пород в типовых условиях при разных характеристиках крепей; механизм работы штанговых крепей в различных типах пород (слоистых, трещиноватых); закономерности опорного давления; закономерности взаимодействия сближенных пластов при подработках и надработках; принципы размещения штреков; механизм работы меж-

дукамерных целиков; подходы к определению нагрузок на крепи шахтных стволов и др.

За этот период получены новые решения в технике горного производства: созданы механизированные крепи, усовершенствованы способы управления кровлей полным обрушением, полной закладкой, разработана и все шире применяется твердеющая закладка и т. д.

Созданы новые методы расчета горного давления для лав пологих пластов и других горных выработок.

В краткой статье невозможно подробно останавливаться на успехах, достигнутых в данной области горной науки. Можно лишь указать, что за послевоенные годы в механике горных пород произошел значительный прогресс, отличающийся серьезным развитием теории, полностью перевернувший многие из старых представлений, коренным образом изменивший методы исследований, контрольно-измерительные приборы и аппаратуру, стенды и установки. Характерными чертами этого прогресса являются: создание и развитие метода объемных моделей; решение объемных задач; учет динамики физических процессов; стремление учитывать влияние комплекса физических процессов, возникающих при разработке месторождений; создание методов прогнозирования, контроля и управления этими процессами; привлечение математических машин, радиоэлектроники и других методов исследования для решения многих задач горной физики и, в частности, механики горных пород.

В итоге создана и бурно развивается наука на принципиально новой экспериментальной и теоретической основе, иной стала и общая культура научного мышления.

Горная физика и, в частности, механика горных пород и массивов превратились в неотъемлемую часть роста культуры горного производства.

Однако рядом с обоснованными новейшими достижениями в этой области науки нередко самым удивительным образом уживаются старые, научно отвергнутые, часто примитивные представления, методы исследований и расчетов. Отсюда вытекает неоправданное увеличение затрат, достигающее иногда огромных сумм, а сами работы ставятся в неблагоприятные, порой опасные условия.

Важность проблем механики горных пород, огромный экономический ущерб, наносимый недостаточной их изученностью, а также катастрофическими проявлениями, сопровождающимися нередко человеческими жертвами, заставляют сделать особый акцент на всемерную интенсификацию исследований в области горной физики, прогнозирование этих явлений, профилактику и разработку методов борьбы с ними, их локализации и ликвидации.

В ближайшее время важнейшими проблемами механики горных пород и массивов будут следующие.

Совершенствование производственных процессов

Создать новые способы управления кровлей, в том числе способ полного обрушения кровли без применения крепи (посадку кровли на забой и др.).

Разработать новые средства управления кровлей при полном обрушении и новые типы механизированных и индивидуальных крепей, в том числе саморегулирующиеся и самонастраивающиеся.

Совершенствовать крепи и существующие способы управления кровлей.

Создать новые способы крепления капитальных и подготовительных выработок (например, крепящего слоя из пород) с целью резкого повышения эффективности подготовительных работ.

Разработать новые способы поддержания выемочных штреков.

Управление производственными процессами в шахте

Создать методы физического зондирования горного массива для получения информации о состоянии вмещающих пород, прогноза, контроля, управления, профилактики, ликвидации и локализации различных физических процессов (обрушений кровли, внезапных выбросов, горных ударов и т. д.). Ускорить применение ЭВМ для автоматической обработки информации и в качестве советчиков.

Ввести на крупных шахтах, работающих в сложных условиях, специальную службу наблюдения, в задачи которой должно входить получение на базе физического зондирования массива информации о важнейших физических процессах и разработка рекомендаций по текущим производственным мероприятиям.

Внедрение научных достижений механики горных пород

Вооружить производственников современными представлениями о процессах деформаций и разрушений вмещающих пород, взаимодействии крепи и вмещающих пород, динамике опорного давления, взаимодействии выработок при подработках и надработках пластов и т. д.

Внедрить в практику проектирования шахт современные методы расчетов горного давления.

Внедрить в практику проектирования механизированных и индивидуальных крепей новые методы расчетов, в том числе расчеты крепей на динамические нагрузки.

Широко использовать для расчетов ЭВМ.

Приступить к внедрению разработанных систем прогноза горного давления и т. д.

Развитие методики исследований

Использовать новейшие методы физического зондирования горного массива в шахтах в процессе разработки.

Резко расширить применение метода объемных моделей.

Разработать методы получения, передачи и переработки информации об исследуемых физических процессах.

Создать новые методы шахтных и лабораторных исследований, измерительную аппаратуру и установки.

Развитие теории

Создать экспериментально обоснованные расчетные схемы для различных задач и условий. Одновременно разработать упрощенные расчетные методы для прикидочного оперативного анализа.

Разработать расчетные методы, отражающие действительное влияние анизотропии несплошных (разделенных) сред и считать недопустимым подмену реальных задач абстрактными, основанными не на результатах экспериментов, а на произвольных допущениях.

Разработать расчетные методы, учитывающие реальное влияние реологических свойств горного массива в различных условиях, при разных системах и их параметрах.

Широко применять ЭВМ для расчетов и в качестве советчиков при теоретических исследованиях.

Направленное изменение свойств пород

Разработать новые и усовершенствовать существующие способы направленного изменения свойств пород в массиве.

113583

ЛГИ
Библиотека

Быстрее вносить в учебные программы новейшие достижения в области горной физики и механики горных пород и массивов.

Ввести в учебные планы горных инженеров, машиностроителей, шахтостроителей, маркшейдеров, шахтных геологов отдельные курсы — горную физику и механику горных пород и массивов.

Особое внимание следует уделить вопросам получения необходимой объективной информации и прогнозирования различных явлений, связанных с механикой горных пород, поскольку горный инженер, от начальника участка до главного инженера комбината, должен уметь предвидеть направления развития механических и других процессов в ближайшем будущем (в пределах часов, суток), уметь прогнозировать и на более отдаленные сроки, он должен постоянно анализировать все изменения, происходящие в забое, на данном участке в шахте (руднике), на соседних участках, пластах (рудных телах), в целом на шахте (руднике), а иногда и на соседних шахтах (рудниках).

В современных условиях прогнозы должны базироваться на показаниях соответствующих приборов и аппаратуры специальной службы наблюдений. В самом ближайшем будущем для этих целей будут широко использоваться электронные приборы, волновая техника и кибернетика.

В Ленинградском горном институте создана и испытана аппаратура для прогноза изменений свойств горных пород впереди забоя на основе γ—γ-метода [9], разработаны основные принципы прогнозирования горного давления в очистных забоях [3], испытан ряд физических методов для целей прогноза горного давления [6].

Одной из важнейших первоочередных задач является создание службы наблюдений на крупных шахтах и рудниках, работающих в сложных физических условиях, что повысит как безопасность работ, так и эффективность горного производства в целом.

Задачи всемерного развития горной физики, в том числе и механики горных пород, выходят далеко за пределы интересов одной страны. Ученые Советского Союза проявляли и впредь должны проявлять нарастающую инициативу в усилении международных контактов в этой области, чаще организовывать регулярные международные конференции, симпозиумы и совещания по механике горных пород. Это ускорит прогресс механики горных пород и общий прогресс технологии и техники горного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов А. А. Давление на крепь горизонтальных выработок. Углетехиздат, 1948.

2. Борисов А. А. Механика горных пород. Изд. ЛГИ, 1968.

3. Борисова М. А. Основы методики систематического контроля опусканий кровли в очистных забоях. Зап. ЛГИ, т. 51, вып. 1, 1972.

4. Вопросы теории горного давления. Под ред. А. А. Борисова. Углетехиздат, 1960.

5. Деноэль Л. Обзор теорий горного давления. Международная конференция по горному давлению. Углетехиздат, 1957.

6. Маркина Е. А., Сераев О. В. О выявлении геологически осложненных участков методом радиоволнового просвечивания при разработке пластовых месторождений. Зап. ЛГИ, т. 51, вып. 1, 1972.

7. Международная конференция по горному давлению. Углетехиздат, 1957.

8. Мельников Н. В. Современные проблемы механики горных пород. Наука, 1972.

9. Попов Э. П. и др. Применение гамма—гамма-каротажа для изучения характера формирования массива пород, укрепленного штангами. В сб. «Физико-технические проблемы полезных ископаемых», Наука, 1972.

10. Протодьяконов М. М. Давление горных пород и рудничная крепь. Ч. I. Гостехиздат, 1930.
11. Слесарев В. Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1952.
12. Слесарев В. Д. Механика горных пород. Углетехиздат, 1948.
13. Терминология горного давления. Изд-во АН СССР, 1956.
14. Цымбаревич П. М. Механика горных пород. Углетехиздат, 1948.
15. Цымбаревич П. М. Механика горных пород. Углетехиздат, 1934.
16. Шевяков Л. Д. Современные задачи управления горным давлением. Тр. совещ. по управлению горным давлением. Углетехиздат, 1946.