Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института, том XXVIII, 1953 *г.*

ГОРНОЕ ДЕЛО

СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Проф. В. И. Геронтьев

Исчерпывающих данных об условиях эксплоатации месторождений полезных ископаемых в зоне многолетней мерзлоты почти нет. Имеющиеся сведения обычно дают одностороннюю оценку условий работ, поэтому к ним необходимо подходить критически. Чаще всего мерзлота считается положительным фактором, который облегчает проведение и поддержание горных выработок, водоотлив и уменьшает опасность возникновения подземных пожаров эндогенного происхождения, газовыделения и пылеобразования. При кратковременном сроке службы подземных выработок, пройденных в зоне устойчивой мерзлоты, поддержание их действительно облегчается и уменьшается подток воды. Между тем некоторые теоретические предпосылки и практические данные заставляют пересмотреть это положение.

При неустойчивом режиме мерзлоты, который объясняется пестротой геотермического режима района и влиянием строительства, проведение и поддержание горных выработок особенно длительного срока службы может оказаться даже более сложным и дорогим, чем в обычных условиях, а приток воды создать угрозу самому существованию рудника. Характерно, что даже авторы, считающие мерзлоту положительным фактором указывают на эти затруднения. А. А. Гескин, например, рассказывает об осыпании и вываливании хорошо закрепленной кровли пласта крупными кусками под влиянием теплого воздуха в вентиляционной сбойке [5]. Н. Г. Датский [18] указывает на возможность оплывания блоков выработок при проходке их в плывунных по своим физическим свойствам породах. Различие условий проведения выработок в зоне мерзлоты весьма убедительно доказывается опытом Воркутинского месторождения, где шахты и шурфы, проводившиеся всего на расстоянии в несколько десятков метров, или почти не требовали водоотлива или попадали в плывунные породы с большим притоком воды. Значительные затруднения из-за притока воды были встречены также в долине Eldorado [42].

Утверждение некоторых авторов о том, что мерзлота ослабляет газовыделение и уменьшает пылеобразование практикой не подтверждается.

На основании, например, фактических материалов и специальных исследований А. А. Гескин, изучающий газовый и пыльный режим советских угольных шахт на Шпицбергене, не установил безусловную опас-

ность рудников Грумант-Сити и Баренцбург по газу и пыли. На руднике Longyear на Шпицбергене произошел взрыв угольной пыли, при котором погибло 26 человек [41]. Весьма значительно пылеобразование и газовыделения на угольных шахтах Норильска.

Нельзя считать также, что при работах в зоне мерзлоты устраняется опасность возникновения подземных пожаров эндогенного происхождения. Можно только предполагать, что отрицательная температура горных пород способствует охлаждению окисляющихся масс измельченного угля, что отдаляет опасность возникновения подземных пожаров. И действительно, при разработке угольных пластов Букачачинского месторождения, где температура горных пород не ниже —2,5°С, подземные эндогенные пожары возникали, но длительность периода между концом отработки пласта на данном участке и началом возникновения пожара обычно была довольно значительной и доходила до четырехпяти и даже десяти лет.

Таким образом, имеющиеся в нашем распоряжении данные указывают на то, что условия работ в зоне мерзлоты могут быть различными.

I. ГОРНЫЕ РАБОТЫ В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Добываемость горных пород в значительной степени зависит от их механических свойств. Многочисленные исследования мерзлых пород (наносов) [36], [45] показывают, что «сухие» породы в этом отношении не отличаются никакими особенностями, а у влажных пород по мере понижения температуры временное сопротивление сжатию, сопротивление сдвигу и модуль Юнга повышаются. Следует отметить, что исследования охватили только породы наносов и совершенно не коснулись коренных пород, поэтому имеющиеся данные нельзя считать достаточно исчерпывающими. В связи с этим помимо лабораторных исследований необходимо изучить и данные практики, хотя они противоречивы и обычно не только не сопровождаются анализом условий работ, но часто не содержат даже никаких указаний на влажность и температуру пород.

Еще в 1889 г. геолог Бунга отметил, что мерзлый песок оказывает огромное сопротивление всякому инструменту; при помощи кайлы и лома удается откалывать только небольшие, имеющие раковистый излом, куски.

А. Н. Брукс [40] в зоне мерзлоты породы наносов по крепости сравнивает с бетоном. С другой стороны, при работах вручную на Воркутинском руднике в мерзлой зоне особых затруднений не встречалось. Б. Н. Городков [6] указывает, что коренные породы на Воркуте — углистые сланцы и уголь — иногда содержат включения льда в разных количествах. При уменьшении их увеличивается рыхлость породы и работы по ее выемке облегчаются, тогда как при значительном содержании льда работы становятся крайне трудными. На руднике Грумант-Сити (Шпицберген) особенно в первый период ручные работы по углю, которые в обычных условиях следовало бы отнести к средним по крепости, были крайне затруднительными. Кайлом с трудом отбивались даже навесы угля, остававшиеся в забое после взрывных работ. Вообще, ручные работы по углю и мерзлым породам в зоне распространения мерзлоты, очевидно еще менее производительны, чем в обычных условиях. Отсюда ясно, что необходимо либо оттаивание горных пород, либо их дробление.

Различные методы оттайки горных пород в литературе освещены с достаточной полнотой, поэтому укажем только на их основные недостатки: 1) значительное повышение стоимости работ; 2) распространение процесса оттайки за пределы проводимой выработки или даже за пределы залежи; 3) ухудшение условий работ (например, при проходке

шахт и уклонов необходимо работать стоя в ледяной воде). Хотя работы с оттайкой применяются широко, но они не всегда рациональны и поэтому было бы чрезвычайно важно точно установить границу их применения.

Взрывные работы по мерзлым породам также затруднены, хотя обычно обходятся дешевле работ с оттаиванием. Затруднения начинаются с бурения шпуров, так как за счет теплоты, развивающейся при трении бура о породу, она прогревается. При незначительной отрицательной температуре пород —1, —2°С, она быстро начинает размягчаться, дробление прекращается и происходит ее уплотнение под головкой бура. Трудно указать какие-либо меры для борьбы с этими явлениями и для повышения падающей производительности бурения. При более низких температурах горных пород прогревание их при бурении замедляется, порода раздробляется, но за счет развивающейся теплоты начинается таяние заключенного в породе льда. Получающаяся при этом вода образует с буровой мукой кашицу настолько низкой температуры, что на буре выше буровой головки намерзает ледяное кольцо; при прекращении работы кашица немедленно замерзает и происходит схватывание бура в шпуре. Эти явления отмечены сотрудниками Главзолота на Ленских приисках в Алданском районе, в Енисейской и Баргузинской тайге, инженером Е. Г. Багратуни при работах на Норильском медно-никелевом месторождении и т. д. По мере понижения температуры буримых пород и повышения их влажности схватывание бура ускоряется и усиливается. При незначительной влажности бурение не вызывает особых затруднений. Это подтверждается, например, работами в замороженных породах в Соликамске при проходке шахты № 2 [19].

Все известные меры борьбы со схватыванием буров в шпуре недостаточно проверены на практике. При бурении с промывкой, очевидно, возможно применение трудно замерзающих растворов солей как это практикуется, например, при разведочном бурении [14], [15], [46]. Концентрацию раствора следует определять в зависимости от температуры буримых пород. При бурении по коренным породам неплохие результаты, очевидно, может дать промывка скважин горячей водой и может быть даже интенсивная продувка особенно, если сжатый воздух сохраняет более или менее высокую температуру.

При пневматическом бурении возможны затруднения в связи с замерзанием в воздухопроводах и шлангах конденсационной воды. В Соликамске для борьбы с этим явлением применялись: а) предварительное осушение поступающего в компрессор воздуха путем пропускания его через хлоркальциевый фильтр; б) промывка трубопроводов раствором $CaCl_2$; в) прогревание воздухораспределителя (иногда даже открытым огнем) и г) продувка труб паром. Впрочем и в Соликамске, несмотря на все эти предосторожности приходилось иногда и трубы и шланги выдавать для оттаивания на поверхность.

Принято считать, что в условиях многолетней мерзлоты наиболее эффективно ударное бурение. Опыт советских буровых инженеров показал, что вращательное бурение при работе в рыхлых, сцементированных льдом породах в ряде случаев может дать хорошие результаты. Колонковое бурение с успехом применяется в Советском Секторе Арктики [14], [15]. Имеющихся немногочисленных примеров применения электросверл на Шпицбергене недостаточно для окончательных выводов, поэтому здесь необходимо провести опытные работы электросверлами особенно при температуре пород —2, —1°С.

Действие взрывчатых веществ в мерзлой зоне ниже, чем в обычных условиях. Под влиянием отрицательной температуры влажные горные породы становятся вязкими. При взрывании шпуров, заложенных под большим углом к плоскости обнажения, часто получаются воронки и стаканы и поэтому приходится уменьшать угол заложения шпуров.

Иногда приходится вести работы с прострелом шпуров [4]. Вопрос о выборе типа взрывчатых веществ нельзя считать решенным. Очевидно, что при низких температурах применение различных нитроглицериновых препаратов недопустимо. Наилучших результатов следует ожидать от различных производных аммиачной селитры, а в ряде случаев, может быть и оксиликвитов. О применении производных аммиачной селитры говорят В. В. Вершинин и П. Е. Пучков.

Некоторые затруднения могут возникнуть и при погрузке взорванной породы. Так, А. Н. Брукс [40] указывает, что куски взорванной породы легко и быстро смерзаются по плоскостям соприкосновения. Сведений о применении машин и механизмов при выемке мерзлых пород совершенно недостаточно. В Соликамске при проходке шахты № 2 применялись отбойные молотки тяжелого типа [19], производительность которых была ниже, чем при обычных условиях. Вообще, применение отбойных молотков в зоне мерзлоты ограничивается вязкостью пород и их способностью откалываться лишь мелкими кусками.

Применение врубовых машин известно на шахтах Шпицбергена, Норильска и Воркуты. На Шпицбергене при включении льда в пласте во врубовой щели наблюдалось образование грязи, обмерзание бара и цепи. На шахтах Норильска и Воркуты никаких затруднений не отмечено, очевидно, вследствие незначительной влажности угля. Комбайны, повидимому, не применялись, хотя вопрос их применения дискуссировался в нашей литературе [9], [13].

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Добываемость горных пород в зоне распространения мерзлоты иная, чем при обычных условиях.

2. Механические свойства горных пород зависят от их характеристики, температуры и влажности. Мерзлые породы наносов иногда по крепости не уступают бетону. Следует также отметить вязкость мерзлых пород.

3. Работы с оттаиванием по экономическим соображениям, очевидно, допустимы лишь при небольшой глубине залегания и незначительной стрицательной температуре горных пород.

4. Буровзрывные работы по мерзлым горным породам в ряде случаев вполне возможны и целесообразны, но методику их нельзя считать разработанной. В частности, следует изучить: а) мероприятия по повышению эффективности бурения (выбор способов бурения, предупреждение схватывания буров в шпуре, способы очистки шпуров от буровой грязи и льда, применение твердых сплавов); б) способы содержания воздухопроводов и шлангов (предупреждение замерзания конденсационной воды, оттайка); в) расположение и глубину шпуров; г) выбор взрывчатых веществ и средств взрывания; д) методику определения величины заряда и т. д.

5. Применение отбойных молотков, особенно тяжелого типа, возможно, но производительность их ниже, чем в обычных условиях. Область и границы применения отбойных молотков еще нуждаются в изучении.

6. Весь комплекс вопросов, связанных с применением врубовых машин и комбайнов еще совершенно не изучен. Однако уже можно отметить некоторые специфические затруднения при их работе по мерзлым породам, например, обмерзание и заштыбование исполнительного органа, особенно при наличии включений льда в разрабатываемом пласте и повышенный износ зубков.

7. В связи с возможностью смерзания породы как в забое, так и при транспортировании необходимо изыскание способов борьбы с этим явлением и изучение транспортных средств с точки зрения их пригодности для работы в специфических условиях зоны распространения многолетней мерзлоты.

8. Необходимы некоторые изменения в методах ухода за оборудованием, например, в выборе смазочных материалов, режима смазки и т. д. [1].

2. КРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Мерзлые горные породы, сцементированные льдом, который часто заполняет все трещины и придает ей свойства монолита, весьма устойчивы. Поэтому в тех случаях, когда геотермический режим мерзлой зоны сохраняется без изменений в течение всего срока службы горных выработок, крепление их значительно облегчается или даже полностью исключается. Однако часто первоначальный температурный режим нарушается и становится неустойчивым, например, вследствие нарушения поверхностного покрова, прогревания пород за счет температуры вентиляционной струи, подмерзлотных слоев породы, выделений тепла при дыхании людей и животных, горении ламп, работе машин и т. д. Такое прогревание может быть очень интенсивным, особенно при работах с оттайкой. Скорость оттаивания зависит от разности температуры воздуха и горных пород, от теплоемкости и теплопроводности как пород, так и материалов крепления и от объемного содержания воды в горных породах.

Интересные данные о зависимости скорости оттаивания от абсолютной температуры горных пород приводят тов. Ионов, Дорохов и другие из практики строительства московского метро при проходке шахт с замораживанием. «1. После образования мерзлого кольца температура стенок шахты оказалась —7°..., температура наружного воздуха составляла не менее —20°... Вся зона неустойчивых пород после замораживания пройдена без крепления. Последующие наблюдения показали, что при температуре стенок шахты —7° теплая вентиляционная струя воздуха никакого влияния на стенки шахты, с точки зрения их разрушения, не оказала. За все время проходки не было ни одного отслаивания, только стенки шахты покрылись инием и воздух в шахте приобрел некоторую дополнительную влажность.

2. Второе наблюдение было произведено в шахте, где производились кессонные работы. Температура стенок после замораживания составляла в зависимости от глубины от 0 до —2°. Давление воздуха в кессоне было около 1 атм. и температура его 16°. При таких условиях установлено довольно интенсивное отслаивание — примерно 4—8 *см* в сутки». [2]

Аналогичное явление авторы отмечают также на шахте в Ленской тайге, где при температуре горных пород от 0 до —3° и воздуха от —12 до —21° оттаивание и отслаивание породы происходило даже за крепью, что в конечном итоге вызвало деформацию крепления и даже поломку некоторых венцов. При температуре же горных пород от —5 до —12° никакой деформации крепи не наблюдалось. К сожалению, авторы совершенно не указывают длительности наблюдений, хотя фактор времени несомненно играет весьма существенную роль.

Состояние горных пород после оттаивания, а, следовательно и условия поддержания выработок определяются первоначальным характером и структурой пород, изменениями, происшедшими в ней под влиянием низкой температуры, степенью влажности и даже водообильности пород. Коренные породы в зоне многолетней мерзлоты относительно редко бывают «сухими». Обычно они как бы пронизаны включениями льда различной формы и размеров — от жилок и тонких прослоек до значи-

[1] В ряде случаев происходит образование наледей в подземных выработках.

[2] Температура мерзлой зоны изменяется в пределах от 0 до —10 —12°. В различных районах и в одном и том же разрезе могут находиться различные по температурным условиям горизонты мерзлой зоны.

тельных по размерам жил, пропластков, штоков и т. д. Образование таких включений во многих случаях может быть объяснено следующим образом. Вода, проникающая в горные породы и обычно просачивающаяся по тонким едва заметным на глаз трещинам, под действием низкой температуры замерзает и при этом развивается значительное давление. Проф. Евдокимов-Рокотовский М. Н. [10], вычисляя давление для чистой воды по уравнению Клазиуса-Клапейрона находит, что при температуре —3° создается давление в 41,8 *кг/см*². Проф. Толстихин Н. И. указывает, что при замерзании воды в замкнутом пространстве давление может достигнуть 2000 атм.

Изучение ледяных жил в Юконе [47] убедительно показывает, что образование жильных трещин может быть вызвано лишь силой кристаллизации льда. Давление, которое при этом неизбежно развивается приводит к расширению ранее совершенно незаметных трещин. По мере увеличения глубины залегания пород, а следовательно, и давления, под которым они находятся, уменьшается расширение трещин, но нарушение связности между частицами все же происходит. При оттаивании порода распадается на те отдельности, которые образовались под действием силы кристаллизации льда. В осадочных породах такие мелкие трещины чаще всего образуются в плоскостях напластования, поэтому при оттаивании происходит отслаивание породы. Если эти трещины пересекают породу в различных направлениях, то при оттаивании значительного давления на крепь может и не быть. В этом случае происходит лишь обыгрывание крепи, как это наблюдалось, например, в подготовительных и очистных выработках угольных шахт на острове Шпицберген. Следовательно, в зависимости от характера и структуры пород при их оттаивании могут происходить все виды обрушений (осыпание, обвалы, куполение, обрушение зализов и т. д.). Величина зоны обрушения зависит от глубины оттаивания и может, очевидно, с течением времени возрастать. Аналогичные явления происходят и при оттаивании рыхлых пород (наносов), если только их влажность незначительна [48]. При переувлажненности пород наносов, в связи с большим содержанием в них мелких фракций, создаются все предпосылки для их превращения после оттаивания в плывуны. Наличие водоносных пород за крепью выработки особенно опасно в тех случаях, когда температура протекающего по выработке воздуха меняется в зависимости от времени года. Тогда вокруг выработки образуется деятельный слой и давление, развивающееся при замерзании, окажется настолько значительным, что ему не в состоянии противостоять рудничная крепь, деформация и поломки которой становятся неизбежными. В более неблагоприятных условиях находятся устья шахт и штолен.

Вопросы о методах и материалах для крепления относительно легко разрешаются для выработок, пройденных в коренных породах особенно, если не требуется полной защиты выработок от подтока воды при оттаивании горных пород. В этом случае возможно отслаивание пород, которое происходит менее интенсивно при нормальных условиях, поэтому здесь можно применять обычное крепление. Кроме того рекомендуется уменьшение сечения выработки, усиление крепления и особенно тщательная затяжка кровли и боков выработки [11].

Известны также методы крепления в наносах, если они не содержат значительных количеств воды. Мероприятия для предупреждения образования деятельного слоя вокруг выработок, а также и методы крепления при его образовании совершенно не изучены.

В этом случае следует использовать опыт промышленного строительства в зоне распространения мерзлоты и, в частности, те мероприятия, которые разработаны для защиты от нарушений фундаментов зданий. Эти мероприятия подробно описаны в литературе [10], [33], [35] и основаны либо на принципе сохранения, либо уничтожения вечной мерзлоты.

Применение принципа сохранения вечной мерзлоты дает возможность использовать лучшие свойства мерзлых пород (прочность, устойчивость, водонепроницаемость).

Сохранение мерзлоты достигается следующим.

1. Применением теплоизоляционных прокладок между креплением и породой, замедляющих процесс передачи тепловых потоков от вентиляционной струи горным породам. Этот метод наиболее эффективен при низких температурах горных пород.

2. Охлаждением поступающего в выработки воздуха. Это мероприятие может быть эффективным лишь для выработок, подающих в шахту свежий воздух. Недостатком метода является необходимость иметь специальные холодильные установки. [1]

3. Охлаждением горных пород за стенками крепления. Применение этого метода ограничено ввиду его технической сложности.

Принцип уничтожения мерзлоты рационально использовать при относительно небольших отрицательных температурах горных пород. В данном случае приходится принимать меры против вторичного замерзания горных пород. Это может быть достигнуто подогреванием подаваемого в выработки воздуха в зимнее время.

Выбор метода работ зависит от всей совокупности рабочих условий и должен быть обоснован технически и экономически. Недоучет возможности образования вокруг выработок деятельного слоя особенно при значительной водообильности пород может привести к очень тяжелым последствиям.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Сцементированные льдом горные породы монолитны, прочны и устойчивы.

2. При эксплоатации месторождения возможно нарушение первоначального геотермического режима. Особое значение в этом направлении имеет проветривание. При протекании по выработкам вентиляционной струи с положительной температурой, согласно известному постулату Фурье, неизбежно установление теплового потока от выработки к окружающим ее горным породам и, следовательно, их оттаивание. Скорость и глубина оттаивания зависят от разности температур воздуха и пород, теплоемкости и теплопроводности пород и от объемного содержания в них воды.

3. При оттаивании горные породы теряют некоторые механические свойства, присущие им в мерзлом состоянии. Коренные породы при этом могут стать даже менее устойчивыми, чем в обычных условиях. Породы наносов при значительной водообильности могут превратиться в плывуны. Особенно опасно поведение пород при образовании вокруг выработки деятельного слоя, в частности, у выходов выработок на поверхность.

4. Разработка мероприятий по поддержанию выработок, в частности, при проведении их в особо трудных условиях, очевидно, возможна на тех же принципах (сохранения или уничтожения мерзлоты), которые оправдали себя при промышленном строительстве в зоне распространения мерзлоты.

Дальнейшие исследования необходимо вести в направлении:

а) изучения законов распространения тепла в горных породах вокруг выработок и определения факторов, влияющих на глубину и скорость их оттаивания;

б) изучения способов борьбы с причинами возникновения и вредными последствиями образования деятельного слоя;

---

[1] Зимой воздух имеет отрицательную температуру и охлаждает подземные выработки, создавая «запасы холода».

в) разрешения проблемы крепления устья выработок, защиты его от доступа надмерзлотных вод и от вредного влияния деятельного слоя;

г) разработки методов крепления и поддержания горных выработок.

3. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО ПРИ РАБОТЕ В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ (ВОДООТЛИВ, ПРОВЕТРИВАНИЕ, ОСВЕЩЕНИЕ)

Водоотлив. Общераспространенное мнение о водонепроницаемости горных пород в мерзлой зоне неправильно. Это подтверждается неоднократно наблюдавшимся значительным притоком шахтных вод, не только затруднявшим работу, но и приводившим в некоторых случаях к затоплению шахты. В качестве примера укажем на затопление Раздельного полиметаллического рудника на острове Вайгач, которое произошло при отрицательной температуре горных пород; на значительный приток воды на Амдермском флюоритовом руднике [8], на появление подземных вод в выработках рудника Грумант-Сити на острове Шпицберген в 1936 г. [22], в шахтах долины реки Eldorado [41] и т. п.

Причины появления воды в шахтных выработках различны. Приток воды может быть вызван: 1) просачиванием поверхностных надмерзлотных вод; 2) пересечением выработкой межмерзлотных вод в жидкой или твердой фазе; 3) проникновением напорных подмерзлотных вод.

Наименее опасен первый источник появления вод, так как приток их обычно невелик, а дебит непостоянен.

Межмерзлотные воды, нарушающие монолитность горных пород, по форме залегания весьма разнообразны. В жидкой фазе они встречаются в виде жил и водоносных пластов и превращают окружающие их породы в талики. Об ископаемых льдах мы говорили достаточно подробно.

Напор и дебит подмерзлотных вод могут быть очень значительными. Как показал опыт, межмерзлотные и подмерзлотные воды наиболее опасны особенно при наличии вблизи шахты крупных водоемов. Методы борьбы с шахтными водами в зоне распространения мерзлоты в технической литературе освещены недостаточно. Укажем на некоторые из них: 1) возведение глиняных, бетонных и ледяных перемычек [21], [22]; 2) проходку выработок с замораживанием [8]. Следует отметить, что перемычки из льда, предназначаемые для гашения напора, нигде не возводились; бетонные и глиняные перемычки на Раздельном полиметаллическом руднике не достигали цели, так как вода обходила эти перемычки и проникала в выработки по трещинам в окружающие породы. Все эти сложные мероприятия необходимы лишь в экстренных случаях (при подтоке воды в количествах, угрожающих существованию рудника). Обычно же борьба с шахтными водами сводится к водоотливу и к борьбе с замерзанием воды в выработках, насосах, трубопроводах, зумпфах, водосборниках и при выходе на поверхность. Некоторые мероприятия в этой области можно заимствовать из практики прокладки и эксплоатации водопроводов в районах распространения многолетней мерзлоты [27]. Среди них можно указать следующие: 1) сообщение воде такой скорости движения, при которой замерзание ее невозможно; 2) освобождение насосов и трубопроводов от воды даже при кратковременных остановках водоотлива; 3) отепление и обогревание водоотливных установок.

Большие преимущества с точки зрения предупреждения замерзания воды дает установка паровых насосов. Прокладка паровых труб параллельно водоотливным и, пожалуй, их совместная изоляция могли бы дать достаточную гарантию против замерзания воды в трубопроводе, а отвод отработанного пара в водосборник мог бы предупредить замерзание воды в нем.

Однако при выборе приходится учитывать и отрицательные стороны применения паровых установок в подземных выработках особенно

в условиях мерзлоты: а) неизбежность растепления горных пород в тех частях выработок, где проложен трубопровод, что в ряде случаев совершенно недопустимо, например, при работах, основанных на принципе сохранения мерзлотного режима; б) сокращение срока службы деревянной крепи; в) значительную конденсацию пара в паропроводе и в связи с этим недостаточно удовлетворительную работу насосов; г) практическую невозможность подвода пара к удаленным участкам выработок; д) при проведении шахт и уклонов общие неудобства работ в забое, связанные с установкой в них паровых насосов.

Поэтому несмотря на приведенные выше преимущества парового водоотлива часто придется останавливать выбор на электрических насосах и итти на не всегда эффективную борьбу с замерзанием воды. Среди мероприятий, предупреждающих замерзание воды в трубах укажем на: 1) периодическую промывку труб раствором $CaCl_2$, продувку и прогревание их паром; 2) прогрев труб электрическими грелками. Во избежание перерывов в работе водоотлива еще более, чем в обычных условиях необходимо устанавливать запасной насосный став, так как разборка става и выдача труб на поверхность не исключаются.

Еще труднее указать меры борьбы с замерзанием воды непосредственно в шахтных выработках. Возможно, что некоторые результаты могли бы дать увеличение уклона водоотливных канавок; при организации работ по принципу уничтожения мерзлоты можно прибегать к подогреву подаваемого в шахту воздуха.

Проветривание. Работами А. А. Гескина, которые относятся в основном к угольным шахтам острова Шпицбергена установлено, что: 1) коэффициент сопротивления движению воздуха по подземным выработкам в зоне мерзлоты ниже, чем в обычных условиях; 2) предельные скорости движения вентиляционной струи по выработкам следует брать значительно ниже, чем это рекомендуется правилами безопасности.

Первое положение, еще недостаточно подтвержденное наблюдениями объясняется автором тем, что иней, обычно покрывающий стенки выработок значительно сглаживает их поверхность. Автор рекомендует принимать значение коэффициента примерно на 10% ниже обычного. Второе положение определяется температурой вентиляционной струи и может быть распространено на все случаи отрицательной температуры воздуха в подземных выработках. Автор рекомендует следующие предельные значения скоростей движения вентиляционной струи: для стволов шахт, по которым производится подъем людей 3,0 *м/сек*; для штреков, бремсбергов, уклонов и т. д. 2,0 *м/сек*; для очистных работ 1,0—1,5 *м/сек.*

Высказываемое иногда предположение о необходимости при проектировании вентиляции учитывать колебания температуры подаваемого в шахту воздуха по временам года, с нашей точки зрения, не обосновано, так как такие колебания установлены и для шахт районов с резко выраженным континентальным климатом. Практика работ показала, что никакого существенного изменения в режиме вентиляции это не вызывает. В некоторых случаях необходимо регулировать температуру подаваемого в шахту воздуха во избежание образования вокруг выработок деятельного слоя. Кроме того иногда может встретиться необходимость принимать меры по снижению влажности омывающей выработки струи, по борьбе с образованием тумана и т. п.

Освещение. Применение стационарного электрического освещения, очевидно, не может вызвать никаких затруднений, если не считать необходимости принимать меры против провисания и обрыва кабелей и проводов при обледенении. При пользовании переносными источниками света возможно сокращение срока службы стеклянных колпаков и образование на них копоти, вследствие усиленной циркуляции воздуха.

Пониженная температура может оказать влияние на поведение электролита.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Водонепроницаемость сцементированных льдом горных пород в мерзлой зоне выше, чем в обычных условиях. Тем не менее инфильтрация воды в выработке вполне возможна.

2. При фильтрации надмерзлотных вод возможно растепление и оплывание пород. Во избежание этого практикой установлено требование начинать работы по проведению выработок с поверхности в осенне-зимний период и в дальнейшем ограждать устья выработок от подтока воды, например, применением мерзлотных поясов.

3. При встрече выработками межмерзлотных вод в жидкой фазе возможны затруднения в связи с оттаиванием и даже оплыванием пород наносов. Чтобы предупредить встречу таликов рекомендуется проводить передовые и контрольные скважины. В коренных породах встречаются включения льда и напорные межмерзлотные воды. Изучение генезиса этих вод может дать некоторые основания для определения вероятной величины их притока. Эффективных методов борьбы с такими водами пока не найдено.

4. При приближении к нижней границе мерзлой зоны возможна встреча подмерзлотных напорных вод. При предварительном гидрогеологическом изучении участка могут быть получены данные для разрешения вопроса о их наличии, дебите и величине напора. Методы борьбы с подмерзлотными водами также нуждаются в разработке.

5. Для решения вопросов водоотлива, проветривания и освещения выработок, пройденных в мерзлой зоне, необходимы дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Н. И., Оттайка вечной мерзлоты в подземных горных работах, ОНТИ, 1937.
2. Арсентьев А. В., Поиски и разведка золота и платины, Цветметиздат, 1932.
3. Бюллетень технической информации, Норильский комбинат, НКВД, 1945—1947.
4. Вершинин В. В., Разработка глубоких россыпей в условиях вечной мерзлоты, ОНТИ, 1937.
5. Гескин А. А., Баренцбург, Уголь, 1935, № 133.
6. Городков Б. Н., Вечная мерзлота в северном крае, Труды СОПС, серия северная, изд. АН СССР, 1932, вып. 1.
7. Главзолото. Разработка россыпных месторождений золота подземным способом, Сборник материалов, ГОНТИ, 1938.
8. Виттенбург П. В., Рудные месторождения острова Вайгача и Амдермы, изд. Главсевморпути, 1940.
9. Геронтьев В. И., К вопросу о применении горных комбайнов в условиях вечной мерзлоты, Советская золотопромышленность, 1936, № 7.
10. Евдокимов-Рокотовский М. Н., Постройка и эксплоатация инженерных сооружений в вечной мерзлоте, изд. Сибирского строительного института, 1931.
11. Елпачев Н. И., О системах разработки Черновских копей, Уголь, 1938, № 11.
12. Львов А. В., Поиски и испытания водоисточников водоснабжения на западной части Амурской ж. д. в условиях вечной мерзлоты, 1916.
13. Матвеев М. А. и Демидов П. Н., Применение горных комбайнов в условиях вечной мерзлоты, Советская золотопромышленность, 1936, № 7.
14. Марамзин А. В., Руководство по бурению колонковых скважин в мерзлоте, изд. Главсевморпути, 1950.
15. Марамзин А. В., Краткая производственная инструкция по строительству вышек и бурению роторных скважин в Арктике, изд. Главсевморпути, 1950.
16. Мельников П. И., Мерзлотно-геологические условия возведения гражданских и промышленных зданий на территории центральной Якутии и опыт строительства, изд. АН СССР, 1951.
17. Морозов К. Д., Методы производства земляных работ в условиях вечной мерзлоты, Строительная промышленность, 1934, № 2.
18. Писарев Г. Ф. и Датский Н. Г., Вечная мерзлота и условия строительства в Усинской лесотундре Северного края, СОПС, серия северная, изд. АН СССР, 1934, вып. II.

19. Пучков П. Е., Проходка Соликамской калийной шахты № 2 способом глубокого замораживания, ОНТИ, 1934.
20. Петров В. Г., Наледи на Амуро-Якутской магистрали, изд. Автодорожного института, 1930.
21. Пономарев В. М., К вопросу изучения вечной мерзлоты в связи с шахтным строительством, Сборник инструкций и программных указаний по изучению мерзлых грунтов и вечной мерзлоты, изд. АН СССР, 1938.
22. Пономарев В. М., Вечная мерзлота и рудничные воды в Арктике, Советская Арктика, 1936, № 1.
23. Пономарев В. М., Изучение вечной мерзлоты в 1936 г., Советская Арктика, 1936, № 1.
24. Сумгин М. И., Вечная мерзлота в пределах СССР, изд. Дальневосточной обсерватории, 1937.
25. Сумгин М. И., Вечная мерзлота на севере СССР, сборник Геология и полезные ископаемые Севера СССР, 1936, т. III.
26. Сумгин М. И., Общее мерзлотоведение, изд. АН СССР, 1940.
27. Сухачев, О незамерзаемости воды и других жидкостей в трубопроводах, проложенных в зоне промерзания грунта, Вестник инженеров и техников, 1931, № 2.
28. Толстихин Н. И., Подземные воды в районах вечной мерзлоты, 1-й Всесоюзный Гидрогеологический съезд, 1931. сб. IV.
29. Толстихин Н. И., Подземные воды Забайкалья и их гидролакколиты, Труды КИВМ, 1932, т. I.
30. Толстихин Н. И., К вопросу о классификации льдов и льдистых пород. Проблемы советской геологии, 1937, № 7.
31. Толстихин Н. И., Подземные воды мерзлой зоны литосферы, Госгеолиздат, 1941.
32. Цытович Н. А., Основы механики грунтов, ОНТИ, 1937.
33. Цытович Н. А., Принципы конструирования и расчета фундаментов сооружений, возводимых в вечной мерзлоте, сборник Геология и полезные ископаемые Севера СССР, 1936, т. III.
34. Цытович Е. А. и Сумгин М. И., Основания механики мерзлых грунтов, изд. АН СССР, 1937.
35. Цытович Н. А., О выборе типа фундаментов в условиях вечной мерзлоты, Строительная промышленность, 1930, № 7.
36. Цытович Н. А., Материалы по исследованию мерзлых грунтов, Бюллетень ЛОВИС, 1932, № 25.
37. Чернышев М. Я., Тепловой расчет водопроводов в мерзлых грунтах, Строительная промышленность, 1930, № 2.
38. Швецов П. Ф., Подземные воды Верхоянско-Колымской горноскладчатой области и особенности их проявления, связанные с низкотемпературной вечной мерзлотой, изд. АН СССР, 1950.
39. Яновский В. К., Методы исследования вечной мерзлоты в инженерно-строительных целях, изд. АН СССР, 1951.
40. Brooks A. H., The mining industry in 1907 U. St. Geol. Survey, Bull. 345, Wash. 1908.
41. Cadell H. M., Coal mining in Spitsbergen Trans. Inst. Min. Engrs., 1920—21 v. 60 London, 1921.
42. Johnston W. A., Frozen ground in the glaciated parts of Northern Canada. Proc. d. Trans. of the R. Soc. of Canada III S. V. 24, Ottawa, 1930.
43. Hoël A. A., The coal deposits and coal mining of Swalbard. Resultater av de Norske Statsunderstottede Spitsbergenexpedition. B. I, Oslo, 1929.
44. Purington C. W., Method and costs of gravel and placer mining in Alasca U. St. Geol. Survey. Bull. 263.
45. Alby M., Note sur les experiences de congelation des terrains. Ann. des Mines, 1887 v. XI. Сравнить:.
Schmidt Fr. Shaft-sinking by freezing process Trans. Inst. Min. Engrs, v. LII, London 1916—17.
46. Johnston W. A., Effects of frozen ground on prospecting in Northern Canada Com. Min. J., 1931 v. LII, N 8.
47. Werneke L., Glaciation, depth of frost and ice veins of Keno-Hill and vicinity, Iukon territory Eng. d. Min. J., 1932, № 3.
48. Cadell H. M., The Klondike and Iukon goldfield in 1913. Scott. Geogr. Mag. v. 30, 1914.