

А.Г. Верхотуров**ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ КРИОЛИТОЗОНЫ
НА СЛОЖНОСТЬ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ
И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Рассмотрены причины изменения инженерно-геологических и гидро-геологических условий в южной криолитозоне на стадиях поисков, разведки и эксплуатации рудных месторождений. В Забайкалье деградация многолетнемерзлых пород вызывает развитие опасных экзогенных процессов, оказывающих отрицательное воздействие на горные выработки. Негативные экологические последствия, связанные с водопритоками в выработки, отмечены при консервации или завершении эксплуатации месторождений.

Ключевые слова: криолитозона, деградация, температура, порода, месторождение, инженерно-геологические условия, подземные воды.

Постановка проблемы

Сложность горно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых определяется компонентами инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий, к которым относятся: рельеф, геологическое строение района, условия залегания рудных тел, физико-механические и термодинамические свойства пород, напряженное состояние массивов, подземные воды, геологические явления, а также климат, гидрология участка месторождения и прилегающих к нему территорий, техногенные воздействия [8]. Для проектирования, строительства горнотехнических объектов и производства горных работ изучается часть геологической среды, которая вовлекается в хозяйственную деятельность. Границы ее определяются субъектом исследований и зависят от вида деятельности, типа горнотехнических и сопутствующих им инженерных сооружений. Соответственно, характеристика горно-геологических условий дается для всего месторождения, конкретного участка, шахты, карьера, выработки, которые приурочены к одно-

му или нескольким массивам горных пород. Под массивом горных пород понимается структурно обособленный участок земной коры, характеризующийся специфическими особенностями геологического разреза, физико-геологическим состоянием, физико-механическими свойствами горных пород и развитием подземных вод, приуроченных к водоносным комплексам, горизонтальным и зонам [5]. Массивы пород, вмещающие полезные ископаемые и находящиеся в сфере горнопроходческих и горно-эксплуатационных работ относятся, по определению П.Н. Панюкова, к горно-геологическим массивам [6, 8] и соответственно характеризуются комплексом горно-геологических условий.

Управленческие решения при их проектировании, строительстве и эксплуатации горнорудных предприятий, принимаемые без учета естественно-исторических закономерностей развития криолитозоны, часто отличаются недостаточной эффективностью. Поэтому исследования горно-геологических условий в криолитозоне должны иметь следующую логическую направленность: естественно-исторический

массив (ЕИМК) → горно-геологический массив (ГГМК) → физико-технический массив (ФТМК). Выделение последних, обусловлено тем, что в криолитозоне одним из компонентов инженерно-геологических условий является состояние пород (мерзлое – талое), которое существенно влияет на все способы разработки месторождений, включая и скважинное выщелачивание.

В Забайкалье, которое находится в южной криолитозоне, сложность горно-геологических условий, обусловленная состоянием пород, может изменяться на очень коротких пространственных интервалах. Так в центральном, южном и юго-восточном Забайкалье криолитозона характеризуется прерывистым, островным и редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород (ММП) [1, 2]. Поэтому проблема трансформации горно-геологических условий в Забайкалье с момента поисков, разведки и эксплуатации рудных месторождений до момента их консервации или завершения отработки в настоящее время становится все более актуальной.

Методика исследований

Горно-геологические условия месторождений цветных и благородных металлов Забайкалья изучались по стандартным методикам [6, 8] в ходе выполнения хозяйственных договоров, грантов и инициативных госбюджетных исследований по данной тематике в период 2000–2014 гг. На каждом из этапов использовалась комплексная методика изучения, предусматривающая получение фактического материала, аналитическую обработку, разработку приемов и методов оценки влияния деградации криолитозоны, обусловленную воздействием различных факторов, на изменения физико-технических свойств горных пород и их массивов. В первую очередь оценивались прочностные характеристики массивов

горных пород, которые зависят от состава, трещиноватости и интенсивности криогенного выветривания.

В инженерной геологии и геокриологии разработке и совершенствованию структуры инженерно-геологического опробования уделяется большое внимание. Под структурой системы опробования (ССО) понимают упорядоченное множество точек в пространстве и во времени, предназначенное для исследования влияния деградации криолитозоны на состав, строение и свойства пород [10]. В наших исследованиях использован аналогичный подход. Были выделены два класса структур. Первый класс отражал пространственный (ПССО), второй – пространственно-временной (ПВСО) характер опробований. В первом случае выбор точек опробования осуществлялся в координатах (X, Y, Z) , во втором – они использовались в сочетании с координатой времени (X, Y, Z, τ) . Классы ССО в зависимости от выбранных направлений исследований подразделялись на типы: одно-, двух-, и трехмерные. Виды ССО зависели от выбранного шага опробования (расстояния между точками опробования по направлению координат X, Y, τ или X, Y) и интервала опробований (расстоянием между двумя точками по направлению координат Z, τ или координаты Z). При этом количество точек опробований характеризовало объем ССО, а расстояние между ними (Δh) – регулярность опробования ($\Delta h = \text{const}$) или ее отсутствие ($\Delta h \neq \text{const}$).

Результаты и обсуждение

Забайкалье имеет значительную протяженность с юга на север, что сказывается на строении криолитозоны. ММП на юге региона имеют редкоостровное распространение, в центральной и юго-восточной частях островное и прерывистое, а на севере – сплошное (рис. 1).

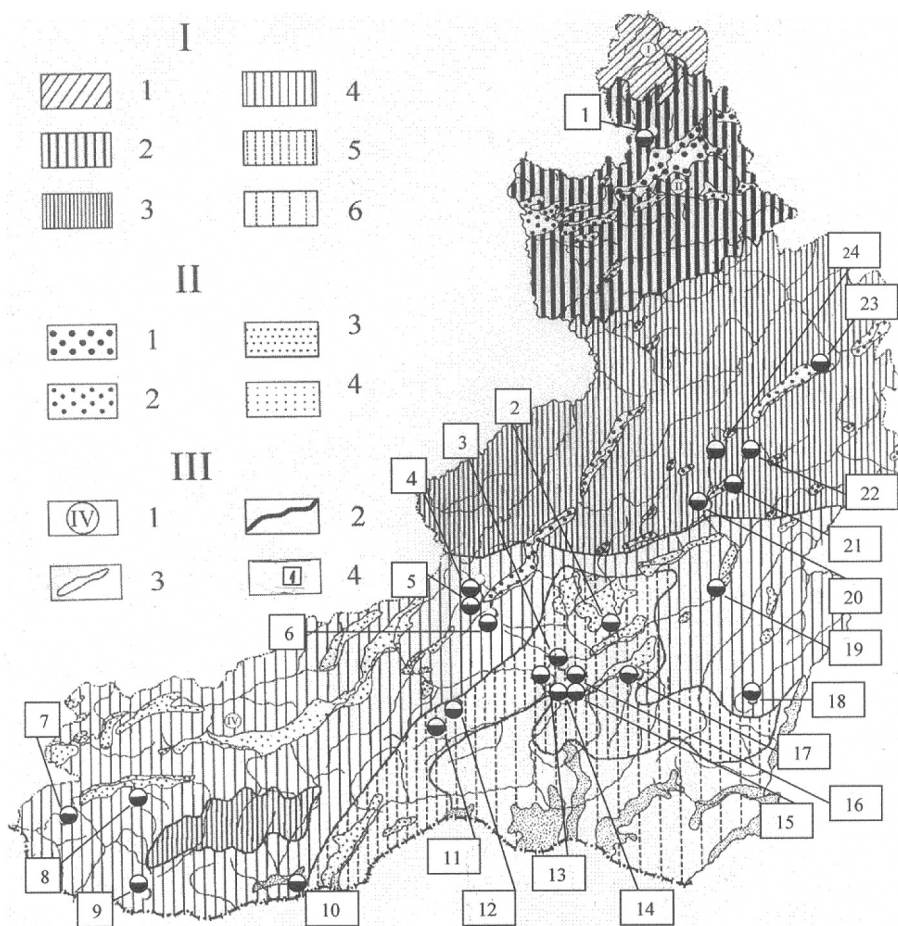


Рис. 1. Криолитозона Забайкалья и основные месторождения рудного золота пригодные к освоению и осваиваемые*, м-б 1 : 7 500 000 (по Д.М. Шестерневу [10] с изменениями): I – криолитозона зонального типа: 1 – плоскогорье южной окраины Сибирской платформы: массивно-островная криолитозона, площадь от 25 до 75% ($S = 25\text{--}75\%$), температура $0\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t = 0\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$), мощность (h) 50...250 м; 2 – горные сооружения Альпийского типа: прерывистая и сплошная, $S > 75\%$, $t = -3\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 300\text{--}1000$ м; 3 – Витимское плоскогорье и северная часть Олекминского Становика: прерывистая, $S = 75\text{--}95\%$, $t = -1\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 50\text{--}300$ м; 4 – среднегорье центрального и восточного Забайкалья: прерывистая, $S = 75\text{--}95\%$, $t = -1\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 50\text{--}300$ м, массивно-островная, $S = 25\text{--}75\%$, $t = -1\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 50\text{--}250$ м; 5 – низкогорье центрального и юго-восточного Забайкалья: островная, $S = 15\text{--}25\%$, $t = 0\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h < 50$ м; 6 – низкогорье юго-восточного Забайкалья: островная, $S = 5\text{--}25\%$, $t = 0\text{--}1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h < 20$ м; II – криолитозона аazonального типа: 1 – впадины Байкальского типа: прерывистая, $S = 75\text{--}95\%$, $t = -1\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 100\text{--}400$ м; 2 – впадины Байкальского типа и межгорные котловины: массивно-островная, $S = 25\text{--}75\%$, $t = 0\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h < 200$ м; 3 – аллювиальные равнины и степи: редкоостровное, $S < 5\%$, $t = 0\text{--}0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 5\text{--}20$ м; 4 – впадины Монгольского и Забайкальского типов: островная, $S = 5\text{--}25\%$, $t = 0\text{--}0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $h = 10\text{--}40$ м; III – прочие обозначения: 1 – индекс геокриологического региона; 2 – границы между геокриологическими регионами; 3 – границы криолитозоны аazonального типа; 4 – месторождения золота: 1 – Средне-Сауканское, 2 – Казаковское, 3 – Погромное*, 4 – Дельмачинское*, 5 – Талатуйское* и Теремкинское*, 6 – Дарасунское*, 7 – Воскресенское, 8 – Ернистое, 9 – Балджиканское, 10 – Любавинское, 11 – Илинское, 12 – Сыпчугурское, 13 – Шундуинское, 14 – Фатимовское, 15 – Среднеюлготайское, 16 – Балейское и Тасеевское, 17 – Бугдаинское, 18 – Козловское, 19 – Карийское*, 20 – Алесандровское, 21 – Ключевское, 22 – Уконинское, 23 – Амазарканское*, 24 – Итакинское

На широтную зональность накладывается высотная поясность, которая также влияет на инженерно-геологические и гидрогеологические условия. В хребтах с ростом абсолютных высот в интервале 800–1000 м происходит повышение температуры воздуха с высотой в пределах так называемого «потолка инверсии» [2]. Выше 1000 м происходит понижение температуры воздуха и увеличение количества атмосферных осадков.

Более детальная характеристика геокриологических характеристик основных месторождений цветных металлов, разрабатываемых или подготовленных к освоению представлена в таблице.

Широкое распространение многолетнемерзлых пород, характеризующихся неустойчивым термодинамическим равновесием, особенно в центральной

и в южной частях Забайкалья, приводит к тому, что любое хозяйственное освоение территории вызывает изменение горно-геологических условий и их сложности. Основной причиной изменения сложности горно-геологических условий является деградация многолетнемерзлых пород (ММП), связанная с техногенными воздействиями и глобальными изменениями климата. В первую очередь изменяется набор и интенсивность инженерно-геологических процессов, сопровождающие эти изменения, к ним относятся: 1) термокарст, 2) термоэрозия, 3) солифлюкция 3) суффозия, 4) оползни, 5) аккумуляция.

На начальном этапе освоения месторождений полезных ископаемых горно-геологические условия меняются на локальных участках горно-геологического массива (отдельная сква-

Основные месторождения цветных металлов Забайкалья

Месторождение	Характер оруденения	Геокриологический регион (область)	Мощность криолитозоны, м	Средняя годовая температура воздуха, °С	Температура ММП, °С
Удоканское	Медистые песчаники, (борнит, халькозин)	Байкальская	до 800	-8	-(0,5...7)
Чинейское	Меденосные габброиды (халькопирит)		100–600	-9	-(0,5...8,6)
Быстринское	Оруденение медно-порфирирового типа	Забайкальская (Шилкинско-Аргунская)	23–65	-5	-(0,5...2)
Нойон-Тологой	Полиметаллический сульфидный с повышенным содержанием серебра		до 30	-3,6	-(0,5...2)
Ново-Щирокинское	Пиритово-галенитово-сфалеритовые жильобразные руды		38–123	-4	-(0,5...2)
Бугдаинское	Молибденитсодержащие силикатно-кварцево-сульфидные руды		до 80	-4	-(0,5...2)
Жипхонское	Кварц-антимонитовые жилы	(Агинская)	50–60	-2,4	-(0,5...2)
Бом-Горохонское	Кварцево-гюбнеритово-сульфидные руды	(Хэнтэй-Чикойская)	70	-3	-(0,5...2)

жина, кровля штрека и др.), а со временем преобразования захватывают и прилегающие территории, по мере создания объектов горного производства. В первую очередь это связано с изменением состояния пород (мерзлое – талое).

На большинстве месторождений цветных металлов северного Забайкалья, например, в пределах хребта Удокан снятие растительного покрова приводит к прекращению охлаждающего его влияния, величина которого достигает в данном районе минус $2,2\div 2,7$ °С. Сезонноталый слой здесь с поверхности земли представлен крупнообломочными элювиально-делювиальными отложениями, на отдельных участках в его нижних частях с гольцовыми льдами. Оттаивание льдов в обычных условиях замедленно и требует значительно больше энергии, чем для их образования. Удаление высокольдистых горизонтов при проходке канав, шурфов приводит к росту притока тепла в массив горных пород, приводя к резкому увеличению глубин сезонного оттаивания за счет непосредственного контакта многолетнемерзлых пород с атмосферой. Кроме этого, обнажение массива обеспечивает доступ атмосферных осадков и поверхностных вод, приносящих большое количество тепла к кровле ММП. Интенсивность увеличения глубины сезонного оттаивания может составлять $1,5\text{--}2$ м/год [9].

Чем больше выработок на единицу площади, тем более обнажены породы, тем интенсивнее идет повышение температур пород. Количество горных выработок, их концентрация в пределах рудных массивов зависит от стадии производства геологоразведочных работ и принятой методики исследований.

Наличие не затампонированных скважин в криолитозоне обеспечивает конвекцию воздуха и поступление

поверхностных или подземных вод (в случае вскрытия напорных водоносных горизонтов), что вызывает растепление пород в контуре ствола. Если от стадии разведки до начала освоения месторождения проходит значительный промежуток времени, то в северных районах в большинстве случаев восстанавливаются ранее существовавшие горно-геологические условия. Скважины перемерзают с формированием ледяных пробок, что исключает конвективный теплообмен, понижаются температуры и в горных выработках до исходных значений, трещины вновь кольятируются льдом.

В южном и юго-восточном Забайкалье, где температуры многолетнемерзлых пород составляют минус $0,5\text{--}2$ °С процесс деградации ММП, как правило, не заканчивается после завершения разведки месторождения, а оттайка мерзлых пород продолжается до полной ликвидации многолетнемерзлых пород или до достижения нового равновесного состояния с изменившимися условиями теплообмена. Если скважины полностью проходят мерзлую толщу, температура которой не ниже минус 1 °С, то с течением времени вокруг формируется трубообразный талик. Так на Уконинском золоторудном месторождении сквозной талик вначале сформировался вокруг ствола восстающей выработки (В-18) в штольне № 3, затем в процесс деградации была вовлечена и прилегающая часть массива [9].

В условиях глобальных изменений климата в контуре разведанных месторождений происходит полная деградация ММП, что было отмечено на Бугдаинском, Березовском месторождениях и других. На Бугдаинском месторождении на участках снятия почвенно-растительного слоя за 25 лет деградация ММП составила $20\text{--}40$ м.

При эксплуатационной разведке оттаивание ММП и водопритоки в гор-

ные выработки уменьшают устойчивость бортов карьеров, увеличивают количество вывалов и обрушений в подземных горных выработках, по периметру которых вначале развивается зона разуплотнения мощностью 3–5 м. Особенно интенсивно процесс идет на участках разрывных нарушений, заполненных крупнообломочными породами, сцементированными льдом. Одним из таких примеров является обвал 1984 г. в Кодарском тоннеле при строительстве БАМ, произошедший в результате почти 15-ти кратного отставания между креплением стенок тоннеля и участком проходки, а также вследствие нарушения температурного режима работ.

Высокая трещиноватость массивов горных пород, сцементированных льдом, обуславливает значительные удельные объемы вывалов при их оттаивании в стенках горных выработок. Например на шахте Талатуй, по данным Ю.Г. Саитова [9], они составили на 1 погонный метр проходки 0,58 м³ (рис. 2).

Известно, что в качестве расчетных показателей в наиболее распространенных прогнозах горно-геологических условий используются: плотность, прочность на одноосное сжатие, растяжение и изгиб, угол внутреннего трения, сцепление, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, коэффициент теплопроводности, удельная теплоем-

кость, коэффициент линейного теплового расширения, удельное электрическое сопротивление, относительная диэлектрическая проницаемость, относительная магнитная проницаемость. Величины большинства из них существенно варьируют в зависимости от теплового состояния породы. Поэтому требуется комплексный подход к изучению физических и физико-механических характеристик горных пород в процессе изысканий, как в мерзлом, так и в талом состоянии.

Глубина залегания полезного ископаемого, а соответственно и горных выработок определяет: их взаимоотношение с многолетнемерзлыми породами, возможность и величину обводненности горных выработок. На участках с многолетнемерзлыми породами, как правило, ниже подошвы ММП находятся напорные подмерзлотные воды, вскрытие которых приводит к осложнению горно-геологических условий. Многолетнемерзлые породы, поры которых полностью заполнены льдом, являясь абсолютным водоупором, уменьшают влияние сквозных водоносных таликов, приуроченных к тектоническим нарушениям, на условия обводненности горных выработок.

В инженерно-геологических нормативных документах по проектированию и строительству в Забайкалье используются сведения, полученные в

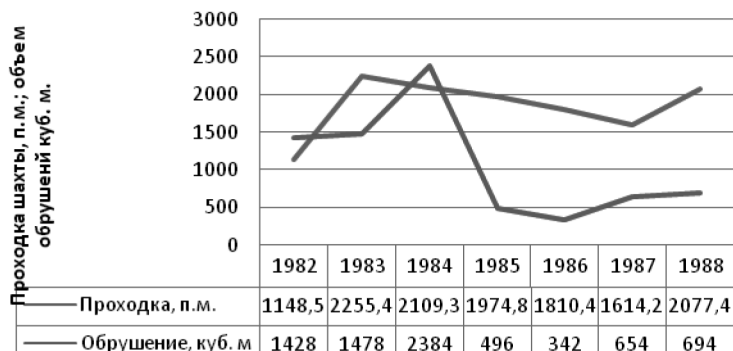


Рис. 2. Объемы обрушений при проходке шахты Талатуй

XX в., когда средние годовые температуры воздуха характеризовались более низкими значениями, поэтому предлагаемые мероприятия по предупреждению деградации криолитозоны: при проходке горных выработок, создании объектов инфраструктуры, жилья (каменные наброски, проветриваемые подполья и др.) оказываются, как правило, неэффективными [1].

При выборе принципа использования многолетнемерзлых пород в качестве оснований сооружений с сохранением их состояния или с допущением их оттаивания, необходимо учитывать современные изменения в строении многолетнемерзлых толщ и возможные изменения сложности горно-геологических условий.

Выводы

1. Деградация ММП в силу резкого изменения температурного режима при понижении альбеда поверхности, снятия растительного покрова, планировки поверхности, инфильтрации атмосферных осадков проходки гор-

ных выработок и создания объектов инфраструктуры приводит к изменению физических и физико-механических характеристик горных пород, развитию опасных инженерно-геологических процессов. Это требует существенного увеличения расходов: на поддержание в рабочем состоянии объектов горного производства и инфраструктуры, осуществление мероприятий по обеспечению экологической безопасности.

2. Проведенный анализ проектов освоения месторождений Забайкалья показал, что не во всех случаях учитывается возможность изменения сложности горно-геологических условий территории при деградации криолитозоны. Учет природных и техногенных факторов в дальнейшем обеспечит более обоснованный выбор: конкурирующих вариантов размещения объектов горнорудной промышленности и инфраструктуры; принципа проектирования инженерных сооружений на вечноммерзлых грунтах; защиты окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхотуров А.Г.* Воздействие динамики криолитозоны на горно-геологическую среду Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 370–373.

2. *Верхотуров А.Г.* Трансформация геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых в Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 357–360.

3. *Воронов Е.Т., Воронов Д.Е., Бондарь И.А.* Повышение эффективности и безопасности подземной разработки месторождений горного хрустала в криолитозоне. – Чита: ЧитГУ, 2006. – 243 с.

4. *Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья* / под ред. Г.А. Юргенсона. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 574 с.

5. *Бабушкин В.Д., Прохоров Д.И. и др.* Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений

твердых полезных ископаемых – М.: Недра, 1969. – 408 с.

6. *Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых* // Под ред Г.Н. Кашковского. – М.: Недра, 1986. – 172 с.

7. *Иудин М.М.* Оценка сложности горно-геологических условий рудных месторождений Севера // Вестник ЯГУ. – 2008. – Т. 5. – № 3. – С 10–17.

8. *Ланюков П.Н.* Инженерная геология. – М.: Недра, 1978. – 296 с.

9. *Сайтов Ю.Г.* Закономерности изменения геологических параметров золоторудных месторождений Восточного Забайкалья на разных этапах их освоения.: автореф. дис. канд. геол.-минерал.наук 04.00.11. – Чита, 1999. – 24 с.

10. *Шестернев Д.М.* Инженерная геокриология: учебное пособие. – Чита: ЧитГУ, 2010. – 160 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Верхотуров Алексей Геннадьевич – кандидат геолого-минералогических наук,
e-mail: weral0606@yandex.ru,
Забайкальский государственный университет.

UDC 551.345:53/54

THE INFLUENCE OF CRYOLITOZONE DEGRADATION ON THE COMPLEXITY OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF NON-FERROUS AND RARE METALS OF TRANSBAIKALIE

Verkhoturov A.G., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
e-mail: weral0606@yandex.ru,
Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

The causes of changes in geotechnical and hydrogeological conditions in the southern cryolitozone at the stages of prospecting, exploration and exploitation of mineral deposits are presented. Permafrost degradation in Transbaikalie causes the development of dangerous exogenous processes that have a negative impact on mining. Negative environmental impacts associated with water production in mining are marked with conservation or completion of deposits operation.

Key words: cryolitozone, degradation, temperature, rock, deposit, geotechnical conditions, groundwater.

REFERENCES

1. Verkhoturov A.G. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 6, pp. 370–373.
2. Verkhoturov A.G. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 4, pp. 357–360.
3. Voronov E.T., Voronov D.E., Bondar' I.A. *Povyshenie effektivnosti i bezopasnosti podzemnoi razrabotki mestorozhdenii gornogo khrustalya v kriolitozone* (Improved efficiency and safety of underground mining of quartz crystal in permafrost zone), Chita, ChitGU, 2006, 243 p.
4. *Geologicheskie issledovaniya i gorno-promyshlennyy kompleks Zabaikal'ya*. Pod red. G.A. Yurgensona (Geological exploration and mining industry in Transbaikalia, Yurgenson G.A. (Ed.)), Novosibirsk, Nauka, Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN, 1999, 574 p.
5. Babushkin V.D., Prokhorov D.I. *Izuchenie gidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh uslovii mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh* (Analysis of hydrogeological and engineering-geologic conditions at hard mineral deposits), Moscow, Nedra, 1969, 408 p.
6. *Izuchenie gidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh uslovii mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh*. Pod red G.N. Kashkovskogo (Analysis of hydrogeological and engineering-geologic conditions at hard mineral deposits, Kashkovsky G.N. (Ed.)), Moscow, Nedra, 1986, 172 p.
7. Iudin M.M. *Vestnik YaGU*. 2008, pp. 5, no 3, pp. 10–17.
8. Panyukov P.N. *Inzhenernaya geologiya* (Engineering geology), Moscow, Nedra, 1978, 296 p.
9. Saitov Yu.G. *Zakonomernosti izmeneniya geologicheskikh parametrov zolotorudnykh mestorozhdenii Vostochnogo Zabaikal'ya na raznykh etapakh ikh osvoeniya* (Regular patterns of variation in geological parameters at different stages of gold mining in Eastern Transbaikalia), Candidate's thesis, Chita, 1999, 24 p.
10. Shesternev D.M. *Inzhenernaya geokriologiya: uchebnoe posobie* (Engineering geocryology: Educational aid), Chita, ChitGU, 2010, 160 p.



Признаваться в невежестве никогда не поздно, а получить хорошее образование – можно и опоздать.