

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАЗРАБОТКУ ЭЛЬГИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Хосоев Д.В., Киселев В.В.

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск*

Ключевые слова: геокриологические и гидрогеологические условия, температура, криолитозона, горный отвод, многолетнемерзлые породы, вторичное смерзание, сезонно-талый слой, ледниковые отложения, подземные воды, обводненность, налипание и намерзание, талики,

Аннотация. В статье отражены природно-климатические условия южного региона Якутии, где расположено суперкрупное Эльгинское каменноугольное месторождение Северо-Западный участок которого отрабатывается в настоящее время открытым способом с применением цикличной – буровзрывной технологии. Отмечается, что месторождение находится в зоне многолетней мерзлоты, а талики развиты в поймах рек и крупных ручьев. Угли месторождения характеризуются высоким качеством, низкой влажностью и не склонны в отличие, от пород к налипанию, слеживанию, смерзанию, что наблюдается при ведении вскрышных работ на разрезе и является негативными факторами, наряду с низкими температурами значительно осложняющими ведение горных работ. Приведены результаты исследований особенностей геокриологических и гидрогеологических условий территории горного отвода месторождения, результаты которых имеющих практическую значимость, представлены в графической форме. Подчеркивается особая важность выявления участков наиболее вероятного проявления вторичного смерзания отбитых взрывом вскрышных пород находящихся в навале. Представлены подробные сведения по типам подземных вод характерных для месторождения. Поступление, которых может значительно затруднить ведение горных работ, в особенности в перспективе при отработке нижних пластов. Отмечается, что месторождение по условию обводнения различными типами вод относится к сложным, и в связи с этим не исключено, что потребуются выполнение превентивных мероприятий по водоотведению и осушению. Подчеркивается, что использование результатов исследований на практике будет способствовать повышению эффективности и безопасности ведения горных работ, а так рациональность перехода на поточную технологию отработки месторождения.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GEOCRYOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS ON THE DEVELOPMENT OF ELGINSKOE COAL DEPOSIT

Khosoev D.V., Kiselev V.V.

*N.V. Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Yakutsk*

Keywords: geocryological and hydrogeological conditions, temperature, cryolithozone, mining allotment, permafrost, secondary freezing, seasonally thawed layer, glacial deposits, groundwater, water content, adhesion and freezing, taliks.

Abstract. The article reflects the natural and climatic conditions of the southern region of Yakutia, where the super-large Elginskoye coal deposit is located. The North-Western section of which is currently being mined in an open pit using cyclic drilling and blasting technology. It is noted that the field is located in the permafrost zone, and taliks are developed in the floodplains of rivers and large streams. The coals of the deposit are characterized by high quality, low humidity and, unlike rocks, are not prone to sticking, caking, freezing, which is observed during stripping operations in the open pit and are negative factors, along with low temperatures, which significantly complicate mining operations. The results of studies of the peculiarities of geocryological and hydrogeological conditions of the territory of the mining allotment of the deposit are presented, the results of which are of practical significance and are presented in graphical form. The particular importance of identifying areas of the most likely manifestation of secondary freezing of overburden rocks broken off by an explosion in the pile is emphasized. Detailed information on the types of groundwater characteristic of the deposit is presented. Receipts that can significantly complicate mining operations, especially in the future when mining lower layers. It is noted that, due to the conditions of flooding with various types of water, the field is classified as complex and, therefore, it is possible that preventive measures for water disposal and drainage will be required. It is emphasized that the use of research results in practice will help improve the efficiency and safety of mining operations, as well as the rationality of the transition to flow technology for mining the deposit.

Введение

По мнению специалистов горного дела, освоение суперкрупных месторождений минерального сырья требует особого подхода к их отработке в постепенно ухудшающихся горно-технических условиях, в частности, в следствие повышения интенсивности водопритоков, за счет пересечения горными выработками водоносных горизонтов. Этот негативный фактор наряду с низкими температурами воздуха, процессами смерзания отбитой горной массы характерными на горных предприятиях Севера.

В настоящее время высокими темпами идет разработка открытым способом крупнейшего в Дальневосточном регионе РФ Эльгинского каменноугольного месторождения (ЭКМ), находящегося в южной Якутии в зоне многолетней мерзлоты, запасы которого составляют 2,2 млрд. т., в том числе наиболее ценных коксующихся типов.

Низкие температуры породного массива и высокие прочностные показатели вскрышных пород, предопределяет необходимость перед экскавацией применение предварительной буровзрывной подготовки. В ходе производства взрывных работ, как уже говорилось, наблюдается проявления эффекта вторичного смерзания взорванной горной массы [1-3]. Нередко эффективному использованию оборудования препятствуют такие негативные факторы, как склонность горных пород к налипанию и намерзанию на металлические поверхности. Кроме этого, в перспективе ожидается пересечение горными выработками водоносного горизонта, что значительно повысит интенсивность водопритока в разрез.

В этих условиях для технологических параметров отработки месторождения криолитозоны необходимо в первую очередь изучить и провести анализ геокриологического и гидрогеологического режимов Северо-Западного участка (СЗУ) ЭКМ.

Общие сведения

Климат района нахождения ЭКМ резко континентальный, характеризуется длительной, до 7 месяцев, холодной зимой и коротким, часто жарким летом. Среднегодовая температура воздуха минус 11°C с колебаниями от 61°C (декабрь-январь) до +36°C (июль).

Разрабатываемый СЗУ ЭКМ представляет собой толщу пологопадающих (2-10°) скальных горных пород шириной 5-8 км и глубиной до 480м, вмещающую 24 угольных пласта и вытянутую в северо-западном направлении на 16 км.

На юго-западе граница СЗУ проходит по среднему течению р. Ундыткан с отметками 800-900 м, на юго-востоке – по нижнему течению р. Уреды с отметками 950-1000 м.

На участке берёт начало р. Эльга, истоки которой располагаются на отметке 950-1000 м. Глубина разведки и отработки нижнего пласта Н15 в центральной части будет достигать отметки 875 м, что ниже русел указанных водотоков на 25-125 м. Зимой русла водотоков, в основном, промерзают, за исключением отдельных участков, где сохраняется сток под руслом, как в открытом, так и закрытом льдом русле. Подобные условия наблюдаются по руслу реки Удыткан, где выше и ниже границ с участком зимой происходит намерзание больших наледей. В пределах долин водотоков имеются старицы, непромерзающие озера.

Горно-геологические и горнотехнические условия эксплуатации участка характеризуются целым рядом существенных особенностей, среди них следует отметить следующие:

- суровые климатические условия;
- наличие вечно-мерзлых пород в составе вскрыши;
- резко-пересеченный рельеф поверхности с перепадом отметок до 350 м;
- пологие углы падения угольной мульды на флангах, не превышающие 3-5°, а в центре мульды – горизонтальные;
- наличие нарушений типа взброса, с амплитудами смещения до 55 м;
- наличие большого количества маломощных угольных пластов сложного строения – с учетом расщеплений 24 пласта;
- сложное строение пластов (наличием прослоек и многоазовых расщеплений с изменчивой мощностью междупластий).

Методы и материалы исследований

Проведенные институтом мерзлотоведения СО РАН (ИМЗ) в пределах Эльгинского месторождения геокриологические исследования показали, что мощность сезонно талого слоя (СТС) в зависимости от характеристик природно-территориальных комплексов и состава грунтов изменяется от 0,3-0,5 м до 2,5-3,5 м при варьировании их влажности от 0,05 до 0,7-0,8 и средней температуры на подошве слоя годовых теплооборотов от -0,3 до -3,0°C. Кроме этого, были так же установлены некоторые общие закономерности изменения мощности СТС для района в целом. Глубина сезонной оттайки колеблется от 0,2-1,0 м на склонах северной экспозиции до 1,5-2,0 м – на южных.

Так, здесь четко прослеживается почти двукратное увеличение глубин сезонного протаивания грунтов соответственно с уменьшением их влажности (рис. 1) [5].

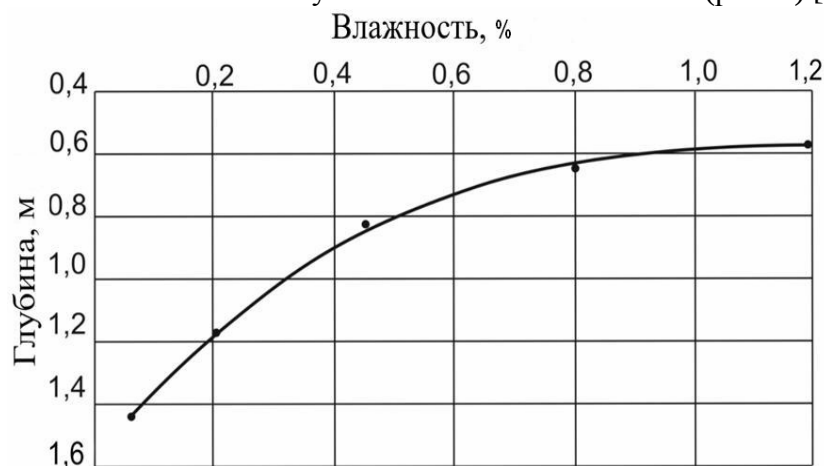


Рис. 1. Зависимость средневзвешенной глубины сезонного протаивания грунтов от их процентной влажности

Глубина СТС зависит от многих факторов (летняя температура воздуха, растительный покров, влажность литологический состав грунтов и т. п.).

Верхняя часть породного мерзлотного горизонта представляет собой слой годовых колебаний температуры, который испытывает значительные межгодовые и короткопериодные колебания, пределах от 20 до 25 м, с температурой от 0°C до -3°C [6].

Талики развиты в поймах рек и крупных ручьев, а также в некоторых межгорных котловинах с мощностью (35 м и более) толщей ледниковых отложений. Температура пород изменяется от +0,2 до -1,5°C в долинах от -1,2 до -3,2°C водоразделах.

Температурное поле межгорных распадков и долин ручьев характеризуется наличием в верхней части разреза зон, отличающихся малым градиентом температуры (0,3-1,0°C/100 м), что связано с циркуляцией воды в горных породах [7]. Температура ММП на этих элементах рельефа изменяется от -0,2 до -0,8°C, а их мощность составляет 30-70 м. Наиболее низкие температуры (до -2,1°C) отмечены в подножье склона северо-восточной экспозиции, на участке, где крупнообломочные четвертичные отложения покрыты мохово-лишайниковым покровом.

На территории района широко развиты многолетнемерзлые породы (ММП) с температурой от 0°C до -3°C и мощностью от 20 до 200 м. Нижняя граница многолетнемерзлой толщи обычно проходит почти горизонтально, приподнимаясь под относительно крупными водотоками.

В пределах средней части склонов месторождения температура ММП варьирует от -0,6 до -2,5°C. Наиболее низкие температуры (от -2,0 до -2,5°C) установлены на крутых склонах северной и северо-восточной экспозиции, высокие (от -0,6 до -0,8°C) – на южной и юго-западной. Следует также отметить, что на водоразделах с высокими абсолютными отметками в пределах ЭКМ температура пород может снижаться на 1,5-2,0°C.

Общеизвестно, что наличие многолетнемерзлых горных пород в совокупности с низкими температурами воздуха существенно замедляют все технологические процессы разработки месторождений, т.к. их прочность на порядок выше их прочности в талом

состоянии, поэтому существующие технологии разработки требуют предварительного вскрытия вскрышных пород с применением буро-взрывных работ.

Ледниковые отложения развиты в его юго-восточной части и по долинам рек и ручьев в юго-западной и северо-восточной площадях СЗУ. Их мощность в долинах рек колеблется от 5 до 35 м, в юго-восточной его части достигает 50-90 м, они полностью проморожены и безводны [8].

Немаловажным негативным фактором, в перспективе затрудняющим отработку месторождения является наличие различных типов водопритоков в пределах границ месторождения. Подземные воды развиты в четвертичных и мезозойских отложениях. Их мощность колеблется от 1,0-1,5 м на крутых склонах до 8-10 м у их подножия, где имеются более мелкие фракции геоматериала. Подстилают их плотные сезонно, а в основном, многолетнемерзлые породы, являющиеся водоупором. В местах отсутствия плотных пород воды по трещинам фильтруются вниз, пополняя запасы залегающего ниже гидрогеологического комплекса. Воды относятся к грунтовым, надмерзлотным с питанием за счет жидких атмосферных осадков. Их наибольший дебет фиксируется летом после продолжительных дождей. Подземные воды пресные, с минерализацией 0,2-0,3 г/л, неагрессивные.

Высокое гипсометрическое положение четвертичных отложений СЗУ ЭКМ не способствует накоплению дождевых вод в летний период, поэтому они не представляют особой опасности и могут быть пригодны для целей водоснабжения. Значительную опасность представляет в пределах горного отвода подземные воды мезозойских отложений, которые приурочены к песчаникам, алевролитам с прослоями аргиллитов и пластам каменных углей меловой (ундытканская свита) и юрской систем (нерюнгриканская свита). До глубины 50 м (в днищах долин ручьев) – 330 м (на водоразделах) толща пород проморожена и водонепроницаема, ниже содержит подземные воды с величиной напора, достигающего на склонах 130-140 м.

Угольные пласты, залегающие в верхней части разреза ($У_{16}-У_{20}$), на всей площади распространения не обводнены. Ниже по разрезу угольные пласты $У_{14}-У_4$, $Н_{16}$, $Н_{15}$ обводнены в центральной части участка.

Проведенный анализ результатов исследований показал, что гидрогеологический комплекс [9] СЗУ ЭКМ состоит из нескольких водоносных горизонтов, имеющих между собой слабую гидравлическую связь из-за наличия между ними выдержанных литологических водоупоров (угли, глинистые алевролиты и аргиллиты).

Глубина залегания уровня подземных вод колеблется от 45-50 м в днищах долин водотоков до 328 м на водоразделах.

Мощность водоносных пород составляет от первых метров в местах их выклинивания и увеличивается до 220 м в центральной, наиболее глубокой части СЗУ [10].

На территории горного отвода ЭКМ встречаются следующие типы подземных вод характерные для криолитозоны:

- надмерзлотные воды, циркулирующие в многолетних и сезонно-талых слоях выше кровли ММП (они, в свою очередь, подразделяются на воды слоя сезонного оттаивания, полностью промерзающего зимой, и воды слоя несквозных многолетних таликов);
- подмерзлотные воды первого от подошвы мерзлой толщи водоносного горизонта;
- воды таликовых зон, ограниченных мерзлыми породами по боковым поверхностям, которые являются областями питания и разгрузки подмерзлотных и межмерзлотных вод;
- межмерзлотные (циркулирующие в талых слоях, ограниченных сверху и снизу толщами многолетнемерзлых пород) и внутримерзлотные (в линзах и прослоях талых вод, ограниченных со всех сторон мерзлыми породами) воды, не имеющей водообмена с поверхностными и подземными водами [11-13].

Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод через «окна» сезоннооттаивающих пород и за счет оттайки мерзлоты на нижней границе многолетнемерзлых пород и перехода льда в воду. Подъем уровня подземных вод начинается в июне-июле и продолжается до августа-сентября, по некоторым скважинам – до декабря. Амплитуда подъема уровня колеблется от 0,8 до 26,35 м.

Информация о гидрогеологических особенностях месторождения необходима для формирования системы водоотведения, подбора оборудования и комплектующих [14].

Согласно типизации угольных месторождений по условиям обводнения горных выработок месторождения следует отнести к сложным [15]. В связи, с чем будет необходима разработка превентивных мероприятий по водоотведению и водозащите.

Ранее проведенными исследованиями НИОГР установлено, что угли СЗУ ЭКМ характеризуются пониженной рабочей влажностью, находящейся на уровне 3-5% и не склонны в отличие от пород к смерзанию и прилипанию как в процессе экскавационно-погрузочных работ, так и при транспортировке [16, 17].

Как уже говорилось, главными и неопровержимыми факторами, обуславливающими процесс вторичного смерзания отбитой горной массы, являются отрицательная температура пород и наличие водяной пленки (ледяной) на поверхности отдельных кусков. Исследованиями ИГДС СО РАН ранее было установлено, что для начала протекания процесса смерзания достаточно отрицательной температуры куска породы, весьма близкой к 0°C [18].

Характеристика влажности и пористости по осадочным породам, песчаникам и алевролитам по интервалам глубин залегания представлена в таблице, анализ которой показал, что с увеличением глубины залегания пород от 75 м до 150 м и более их влажность снижается: в песчаниках – с 10,5 до 1,3%, а алевролитах – с 3,4 до 2,1%. Снижение влажности пород с глубиной происходит в связи с уменьшением их пористости.

На рисунке 2 показано изменение термовлажностного режима пород СЗУ ЭКМ в зоне текущих горных работ на разрезе по глубине отработки по данным скв. 1159.

Табл. 1. Физико-механические свойства по осадочным породам, песчаникам и алевролитам по интервалам глубин залегания [19]

Литологический тип,	Влажность, %	Пористость
Глубина залегания менее 75 м		
Песчаники	10,5	10,5
Алевролиты	3,45	9,7
Глубина залегания менее 75-150 м		
Песчаники	1,7	8,8
Алевролиты	2,5	9,1
Глубина залегания более 150 м		
Песчаники	1,3	7,9
Алевролиты	2,1	8,1

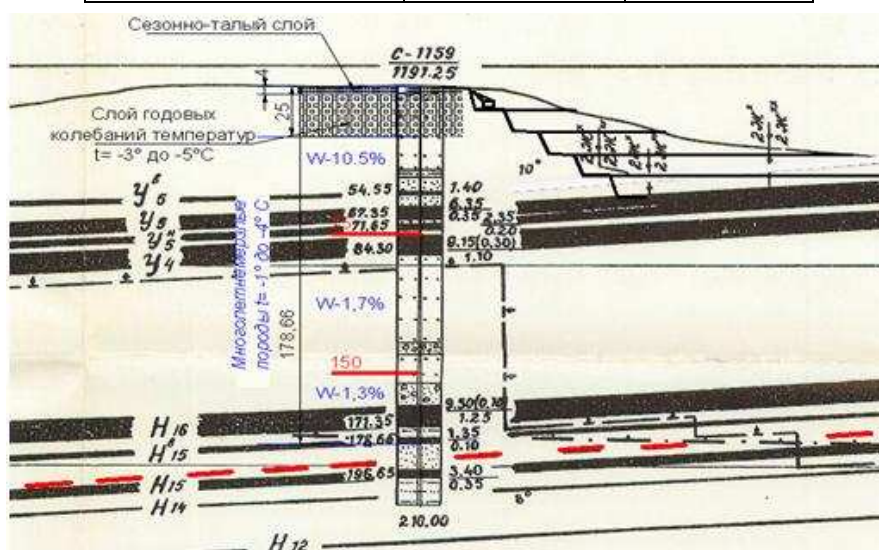


Рис. 2. Изменение термовлажностного режима пород по глубине отработки Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения (источник: Отчет о результатах детальной разведки

Северо-западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения в Токинском районе Южно-Якутского бассейна за 1991-1996 гг. п. Чульман, РС(Я). – Якутск, 1996. – Т. 2. – Кн. 6. – 230 с.)

Анализ приведенных параметров показывает, что отбитые взрывом породы с влажностью от 10,5% склонны к вторичному смерзанию. В частности температура СТС изменяется от -0,3 до -3,0⁰ С, температура слоя годовых колебаний изменяется от 0°С до -3,5°С и многолетнемерзлых пород от 0°С до -3°С.

Таким образом, полученные результаты проведенных исследований обеспечивают возможность выявления участков вероятного проявления вторичного смерзания взорванной породной массы, находящейся в навале, что имеет практическую значимость при ведении горных работ на разрезе.

Заключение

Усложняющиеся год от года горно-технические, геокриологические и гидротехнические условия оказывают существенное негативное влияние на все технологические процессы разработки СЗУ ЭКМ и требуются их периодическая корректировка.

Анализ температурно-влажностного режима пород СЗУ ЭКМ подтверждает склонность отбитых пород к вторичному смерзанию. Температура СТС в пределах горного отвода сезонно талого слоя изменяется от -0,3 до -3,0°С, слоя годовых колебаний изменяется от 0°С до -3,5°С и многолетнемерзлых пород от 0°С до -3°С. Мерзлые вскрышные породы на глубине до 75 м влажные (10,5%) при длительном нахождении в навале не исключено их вторичное смерзание.

Угли СЗУ ЭКМ характеризуются пониженной рабочей влажностью, находящейся на уровне 3-5% и не склонны к смерзанию, слеживанию и налипанию как в процессе добычных работ, так и при транспортировке.

Мощность ледниковых отложений в долинах рек колеблется от 5 до 35 м, в юго-восточной части СЗУ достигает 50-90 м. Сцепление отдельностей ледниковых отложений, в талом состоянии, не значительная, а угол внутреннего трения составляет в среднем 22,5°. При их сезонной оттайке которая составляет 1,5-2 м и водонасыщении, не исключено локальное сползание бортов разреза.

Согласно существующей типизации угольных месторождений по условиям обводнения СЗУ ЭКМ является сложным, в связи с чем, отработка нижних горизонтов его центральной части в виду значительного обводнения месторождения может быть затруднена, и потребуются выполнение превентивных мероприятий по предварительному осушению.

Талики развиты в поймах рек и крупных ручьев, а также в некоторых межгорных котловинах с мощностью 35 м зачастую перекрытые толщей мерзлых ледниковых отложений.

Финансирование. «Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема, №122011800086-1 ЕГИСУ НИОКТР) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН».

Список литературы

1. Панишев С.В., Каймонов М.С., Максимов М.С., Алькова Е.Л. К вопросу прогноза производительности драглайна при экскавации смерзающейся взорванной горной массы в условиях месторождений криолитозоны // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2022. –Т. 9, №3 – С. 138-141.
2. Алькова Е.Л., Панишев С.В., Максимов М.С. Оценка относительного показателя трудности экскавации взорванного массива в условиях криолитозоны // Успехи современного естествознания. – 2020. – №3 – С. 32-38.
3. Lai Y., Xu X., Dong. Y., Li S. Present situation and prospect of mechanical research on frozen soils in China // Cold Regions Science and Technology. 2013, vol. 87, no. 3, pp. 6-18.
4. Zhang Z., Ma W., Zhang Z. Scientific concept and application of frozen soil engineering system // Cold Regions Science and Technology. 2018, vol. 146, no. 2, pp. 127-132.
5. Железняк М.Н., Любомиров А.С. Оценка мерзлотных и инженерно-геологических условий Эльгинского месторождения углей и задача охраны природной среды // Наука и образование. – 2000. – №3 – С. 81-85.
6. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 2005. – 227 с.
7. Бедрин Е.А., Завьялов А.М., Завьялов М.А. Обеспечение термической устойчивости основания земляного полотна автомобильных дорог. – Омск: СибАДИ, 2012. – 178 с.

8. Обосновать концепцию разработки Эльгинского каменноугольного месторождения открыто-подземным способом, отвечающую требованиям охраны окружающей среды, экономичности и эффективности горного производства: отчет о НИР 0-92-11. – Якутск, 1993. – 231 с.
9. Строкова Л.А., Дмитриева С.А., Осьмушкина Н.В., Осьмушкин А.В. Опыт инженерно-геологического районирования по несущей способности грунтов промплощадки Эльгинского горно-обогатительного комбината в Якутии // Известия Томского политехнического университета Инжиниринг георесурсов. 2019. – Т. 330, №2. – С. 175-185.
10. Эльгинский горно-обогатительный комплекс. I очередь строительства Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технических решений. Подраздел 7. Технические решения. Кн. 1. Горнотранспортная часть (разрез «Эльгинский»): проектная документация / «Мечел-Инжиниринг» ОАО ХК «Якутуголь». – Нерюнгри, 2010. – 110 с.
11. Романовский Н.Н. Схема подразделения подземных вод области распространения многолетнемерзлых пород // Методика гидрогеологических исследований и ресурсы подземных вод Сибири и Дальнего востока. – Иркутск: Изд-во СО АН СССР, 1966. – Вып. 3. – С. 28-40.
12. Толстихин Н.И. Подземные воды мерзлой зоны литосферы. – М.-Л.: Госгеолиздат, 1941. – 201 с.
13. Gupta P.K., Sharma D. Assessment of hydrological and hydrochemical vulnerability of groundwater in semi-arid region, India // Sustainable Water Resources Management. 2009, vol. 5, no. 2, pp. 847-861.
14. Кучумова. А. Как приручить воду // Добывающая промышленность. – 2020. – №6 – С. 174-184.
15. Технический проект разработки Эльгинского месторождения каменного угля ООО «Эльгауголь». Вторая очередь, производственная мощность 45000 тыс. т.: Проектная документация. – Кемерово, 2020. – 203 с.
16. Патент №2685671 РФ. Профилактическая смазка для предотвращения прилипания, примерзания и смерзания вскрышных горных пород / Н.К. Кондрашева, О.В. Зырянова, Е.В. Киреева. – Заявка №2018122874 от 22.06.2018; опубл. 22.04.2019, Бюл. №12.
17. Исследовать плотностные, прочностные, абразивные и акустические свойства пород Северо-западного участка Эльгинского месторождения Южно-Якутского бассейна: отчет о НИР / НИИОГР. – Челябинск, 1996. – 181 с.
18. Максимов М.С. О проблеме вторичного смерзания пород и его влияние на эффективность бестранспортной разработки месторождений криолитозоны // Рациональное освоение недр. – 2020. – №2 – С. 44-53.
19. Исследование и обоснование комплекса геологических параметров и физико-механических свойств, определяющих разрабатываемость вскрышных пород Северо-Западного участка Эльгинского месторождения: отчет о научно-исследовательской работе / НИИОГР. – Челябинск, 1996. – 202 с.

References

1. Panishev S.V., Kaimonov M.S., Maksimov M.S., Alkova E.L. On the issue of predicting dragline performance during excavation of frozen blasted rock mass in the conditions of permafrost deposits // Fundamental and applied issues of mining sciences. 2022, vol. 9, no. 3, pp. 138-141.
2. Alkova E.L., Panishev S.V., Maksimov M.S. Estimation of the relative indicator of the difficulty of excavating an exploded massif in permafrost conditions // Advances in modern natural science. 2020, no. 3, pp. 32-38.
3. Lai Y., Xu X., Dong. Y., Li S. Present situation and prospect of mechanical research on frozen soils in China // Cold Regions Science and Technology. 2013, vol. 87, no. 3, pp. 6-18.
4. Zhang Z., Ma W., Zhang Z. Scientific concept and application of frozen soil engineering system // Cold Regions Science and Technology. 2018, vol. 146, no. 2, pp. 127-132.
5. Zheleznyak M.N., Lyubomirov A.S. Assessment of permafrost and engineering-geological conditions of the Elga coal deposit and the task of protecting the natural environment // Science and Education. 2000, no. 3, pp. 81-85.
6. Zheleznyak M.N. Geotemperature field and permafrost zone of the southeast of the Siberian platform. – Novosibirsk: Science, 2005. – 227 p.
7. Bedrin E.A., Zavyalov A.M., Zavyalov M.A. Ensuring thermal stability of the base of highway subgrades. – Omsk: SibADI, 2012. – 178 p.
8. Justify the concept of developing the Elga coal deposit by open-pit method, meeting the requirements of environmental protection, cost-effectiveness and efficiency of mining production: research report 0-92-11. – Yakutsk, 1993. – 231 p.
9. Strokov L.A., Dmitrieva S.A., Osmushkina N.V., Osmushkin A.V. Experience in engineering-geological zoning based on the bearing capacity of soils at the industrial site of the Elginsky mining and processing plant in Yakutia // News of Tomsk Polytechnic University Georesource Engineering. 2019, vol. 330, no. 2, pp. 175-185.
10. Elga mining and processing complex. Phase I of construction Information about engineering equipment, engineering support networks, a list of engineering activities, the content of technical solutions. Subsection 7. Technical solutions. Book 1 Mining transport part (Elginsky open-pit mine): design documentation. / Mechel-Engineering OJSC Holding Company Yakutugol. – Neryungri, 2010. – 110 p.
11. Romanovsky N.N. Scheme of subdivision of groundwater in the area of distribution of permafrost // Methods of hydrogeological research and resources of groundwater in Siberia and the Far East. – Irkutsk: Publ. house of the SB AS SSR, 1966. – Issue. 3. – P. 28-40.

12. Tolstikhin N.I. Groundwater of the frozen zone of the lithosphere. – M.-L.: Gosgeolizdat, 1941. – 201 p.
13. Gupta P.K., Sharma D. Assessment of hydrological and hydrochemical vulnerability of groundwater in semi-arid region, India // Sustainable Water Resources Management. 2009, vol. 5, no. 2, pp. 847-861.
14. Kuchumova A. How to tame water // Extractive industry. 2020, no. 6, pp. 174-184.
15. Technical project for the development of the Elga coal deposit of Elgaugol LLC. Second stage, production capacity 45,000 thousand tons: Design documentation. – Kemerovo, 2020. – 240 p.
16. Patent No. 2685671 RU. Preventive lubricant to prevent sticking, freezing and freezing of overburden rocks / N.K. Kondrasheva, O.V. Zyryanova, E.V. Kireeva. – Appl. No. 2018122874 from 22.06.2018; publ. 22.04.2019, Bul. No. 12.
17. Investigate the density, strength, abrasive and acoustic properties of rocks in the Northwestern section of the Elginskoye field of the South Yakutsk basin: research report / NIIOGR. – Chelyabinsk, 1996. – 181 p.
18. Maksimov M.S. On the problem of secondary freezing of rocks and its influence on the efficiency of transport-free development of cryolithozone deposits // Rational development of subsoil. 2020, no. 2, pp. 44-53.
19. Research and justification of a complex of geological parameters and physical and mechanical properties that determine the exploitability of overburden rocks in the North-Western section of the Elginskoye field: report on research work / NIIOGR. – Chelyabinsk, 1996. – 202 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хосоев Доржо Владимирович – ведущий инженер	Khosoev Dorzho Vladimirovich – leading engineer
Киселев Валерий Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник	Kiselev Valery Vasilyevich – candidate of technical sciences, senior researcher
hosoev70@mail.ru	

Получена 15.08.2024