

УДК 622.271.3:556.16  
DOI 10.17513/use.38252

## ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕКРЕАЦИОННОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ХАРБАЛАХСКОГО РАЗРЕЗА

<sup>1</sup>Заровняев Б.Н., <sup>1</sup>Антоева С.П., <sup>2</sup>Попов В.Н., <sup>3</sup>Федоров А.А.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск;

<sup>2</sup>АО «Телен», Харбалах, Таттинский район, Республика Саха (Якутия);

<sup>3</sup>ГБПОУ Республики Саха (Якутия) «Харбалахский образовательный комплекс имени Н.Е. Мординова – Амма Аччыгыя», Харбалах, e-mail: mine\_academy@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены особенности разработки Харбалахского каменноугольного месторождения, имеющего пологое залегание пластов с имеющимся междупластьем мощностью 0,8 м. Вскрытие месторождения осуществлено капитальными наклонными центральными и фланговыми траншеями с подъездными путями, выезжающими на руслоограждающую дамбу. Вскрытие нижележащих горизонтов произведено капитальными внутренними съездами. Для разработки месторождения принята сплошная односторонняя система разработки с комбинированным внутренним отвалообразованием, с разделением вскрышных работ на два слоя и раздельной технологией их выемки. На верхних горизонтах используется механическое рыхление мерзлой вскрыши бульдозерами и их выталкиванием в выработанное пространство. На нижнем слое вскрышные работы ведутся с применением буровзрывного рыхления с вывозом взорванной горной массы автосамосвалами во внутренний отвал. Таким образом формируются внутренний бульдозерный и автомобильный отвалы для дальнейшей их рекультивации. Выполненный анализ горно-геологических и геотехнологических условий эксплуатации Харбалахского разреза показал эффективность существующей технологии с комбинированным бульдозерным и автомобильным внутренним отвалообразованием, благоприятствующим рекреационной рекультивации созданием водоема на отработанном карьерном поле. Анализ динамики коэффициента вскрыши по годам показал его ежегодный рост из-за рельефа местности, которая приведет к полному заполнению выработанного пространства породами вскрыши к 2026–2027 гг. с переходом на сельскохозяйственную и лесохозяйственную рекультивацию карьерного поля.

**Ключевые слова:** геотехнология, малый разрез, породы вскрыши, выработанное пространство, рекреационная рекультивация, водоем

## GEOTECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF RECREATIONAL RECLAMATION OF THE KHARBALAKH QUARRY

<sup>1</sup>Zarovnyaev B.N., <sup>1</sup>Antoeva S.P., <sup>2</sup>Popov V.N., <sup>3</sup>Fedorov A.A.

<sup>1</sup>North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk;

<sup>2</sup>JSC Telen, Kharbalakh, Tattinsky District, Sakha Republic;

<sup>3</sup>Kharbalakh educational complex named after N.E. Mordinov – Amma Achchygyya, Kharbalakh, e-mail: mine\_academy@mail.ru

**Annotation.** The work examines the Kharbalakh coal deposit, which has a horizontal occurrence of layers with interlayers and a thickness of 0.8 m. The opening of the deposit was carried out using capital inclined central and flank trenches with circular access roads leading to a channel-fencing dam. The opening of the underlying horizons was carried out by capital internal exits. To develop the deposit, a continuous single-sided development system with combined internal dumping was adopted, in accordance with the mining technologies used: with mechanical loosening with bulldozers with pushing the overburden into the mined-out space and with the use of drilling and blasting operations with removal of the overburden by dump trucks into the internal dump. In this way, internal bulldozer and automobile dumps are formed for their further reclamation. The analysis of the mining, geological and geotechnological operating conditions of the Kharbalakh open-pit mine showed the effectiveness of the existing technology with combined bulldozer and automobile internal dumping, conducive to recreational reclamation by creating a reservoir on a spent quarry field. Analysis of the dynamics of the stripping coefficient over the years showed its annual growth due to the terrain, which will lead to complete filling of the mined-out space with overburden rocks by 2026–2027 with the transition to agricultural and forestry reclamation of the quarry field.

**Keywords:** geotechnology, small quarry, overburden rocks, goaf out quarry, recreational reclamation, bodies of water

Республика Саха (Якутия) расположена в зоне многолетней мерзлоты с продолжительным (9 месяцев) зимним периодом, требующим в значительном объеме теплоснабжения горючих ресурсов в виде каменного угля. В связи с этим угледобывающая промышленность в суровых природно-климатических условиях является важным звеном для развития

экономики региона. Как известно, предприятия угольной промышленности помимо обеспечения теплом оказывают существенное негативное влияние на окружающую среду: атмосферный воздух, земельные и водные ресурсы, флору и фауну, а также деградацию мерзлых горных пород, вызывающих деформацию бортов карьеров, от-

валов и прикарьерных земель. В результате происходит изъятие из землепользования территорий как сельскохозяйственного, так и лесохозяйственного назначения.

Одним из ведущих предприятий угледобывающей промышленности республики является разрез «Харбалахский», добывающий каменный уголь открытым способом, с ежегодным объемом около 150 тыс. т угля в год. Разрез «Харбалахский» дислоцируется на междуречье Лено-Амгинского плоскогорья и характеризуется слабой расчлененностью рельефа карьерного поля. Разрез разрабатывает один угольный пласт – «Карьерный» (марка угля – Д). Пласт разделен на две угольные пачки – верхнюю, мощностью 4,0 м, и нижнюю – 2,7 м. Между двумя пачками угля имеется породный прослой мощностью 0,8 м, представленный крупнозернистым алевролитом. Вскрышные породы представлены преимущественно крупнозернистыми уплотненными песчаниками и алевролитами в мерзлом состоянии. Суммарная мощность вскрышных пород составляет 8,4 м. Проектом разработки месторождения принят угол откоса уступов 40–55° для песчано-глинистых пород и 55–70° при выемке песчаников, алевролитов и угля.

С учетом почти горизонтального залегания пласта месторождение вскрыто внешней капитальной наклонной траншеей центрального заложения, а также фланговыми внешними капитальными траншеями. Вскрытие последующих нижележащих горизонтов производится внутренними капитальными съездами. Транспорт на карьере реализован с использованием автосамосвалов на вскрышных и добычных работах. В качестве погрузочного оборудования используются экскаватор и погрузчик. Учи-

тывая простое строение месторождения, выбрана сплошная однобортная система разработки с частичным внутренним отвалообразованием. Вскрышные работы разделены на два этапа. На верхнем выветрелом горизонте используется выемка породы с механическим рыхлением с последующим их выталкиванием в выработанное пространство для формирования внутреннего отвала. Для разработки нижней части вскрыши применяются буровзрывные работы. При этом взорванная горная масса автосамосвалами перемещается во внутренний отвал.

В результате формируются внутренний бульдозерный и автомобильный отвалы, подлежащие рекультивации.

Целью исследований является максимальное сокращение отчуждаемых земель и создание технологически возможных, экономически эффективных методов рекультивации нарушенных земель с использованием благоприятных естественных природно-климатических условий.

При дальнейшем развитии фронта горных работ согласно горно-геологическим условиям месторождения предусматривается постепенное увеличение коэффициента вскрыши, что может привести к частичному внешнему отвалообразованию. Это увеличит площади отчуждаемых земель под отвалы и увеличит объемы рекультивационных работ. В связи с этим стоит задача сокращения нарушаемых площадей. Для решения поставленной задачи наиболее перспективными являются системы разработки с внутренним отвалообразованием, при которых возможно полное использование выработанного пространства, что значительно снижает объемы рекультивационных работ [1–4].



Рис. 1. Капитальная вскрывающая траншея и угольные пласты разреза «Харбалахский»

В работе [5] представлена технология, предусматривающая промораживание ледяной призмы в основании отвала и укрепление отвала путем закладки перфорированных труб на определенном расстоянии с учетом радиуса промораживания вокруг каждой трубы и отсыпание песчано-гравийной смесью (ПГС) в форме треугольной призмы с последующим замораживанием ее для укрепления основания отвала. После формирования льдопородной призмы необходимо ее защитить от оттаивания в летний период. С этой целью над ним располагают породы вскрыши толщиной больше мощности сезонной оттайки. Глубина сезонной оттайки в летний период в районе ведения горных работ составляет 3–3,5 м. Таким образом, мощность закладываемых вскрышных пород должна быть более указанной глубины. Разработанная технология позволяет значительно сократить расстояние транспортирования пород вскрыши в выработанное пространство, а также обеспечивает наиболее полное заполнение выработанного пространства с последующей его рекультивацией и повышает устойчивость отвала на наклонной поверхности.

Экологические последствия разработки месторождений в условиях Арктики, представленные в работах [6–8], показывают катастрофические воздействия на раннюю северную природу, что отрицательно влияет на любую жизнедеятельность в этом регионе. Экологическое влияние горнодобывающей промышленности можно разделить на следующие аспекты: экологические, экономические, социальные и правовые. При этом стадии освоения недр подразделяются на 1) премайнинг, 2) майнинг и 3) постмайнинг. Состояние ландшафта после стадии постмайнинг в основном определяется технологией ведения горных работ. Если карьер работает с внешним отвалообразованием, то остается выработанное пространство карьера и отвалы, а в случае технологии с внутренним отвалообразованием – выработанное пространство, заполненное отвалом, что является наиболее щадящей технологией.

Как правило, сплошные системы разработки с внутренним отвалообразованием применяются при горизонтальном или пологом залегании месторождения с коэффициентом заполняемости выработанного пространства ( $K_3$ ) равным 1, при котором выработанное пространство полностью заполняется вскрышными породами. При этом в основном используются сплошные

и углубочно-сплошные системы разработки с поперечным и продольным размещением фронта горных работ, которые обеспечивают землесберегающий способ разработки месторождения [9–12]. Как показала практика, данная технология значительно повышает эффективность открытой угледобычи и максимально снижает экологическую нагрузку на окружающую среду. Такие технологические схемы используются при проектировании и эксплуатации малых разрезов в условиях криолитозоны. Однако при разработке пологих и наклонных месторождений возникает проблема устойчивости внутренних отвалов и опасность их сползания в выработанное пространство. Практика эксплуатации пологих и наклонных месторождений в зоне многолетней мерзлоты с размещением отвалов на наклонной поверхности показала высокую опасность, связанную с термомеханикой основания отвалов [13, 14]. Таким образом, отвалообразование является не только сложной инженерно-технической проблемой, но и представляет несомненный научный интерес, где устойчивость отвала зависит не только от угла наклона поверхности, но и от высоты создаваемого отвала и состояния многолетней мерзлоты в его основании. Установлено, что, если основание отвала находится в мерзлом состоянии, отвал устойчив.

Рассмотренные технологии при разработке горизонтальных и пологих месторождений в условиях многолетней мерзлоты предусматривают внутреннее отвалообразование с замораживанием ледяной призмы в основании отвала и укреплением его путем закладки перфорированных труб. После намораживания льдопородного отвала необходимой высоты над ним должен быть расположен теплоизоляционный слой, защищающий от оттаивания в летний период. Таким слоем являются породы вскрыши, размещаемые над ним. Мощность этого слоя определяется с учетом теплоизоляционных свойств пород, экспозиции внутреннего отвала и количества льда – цемента. С учетом этих свойств мощность теплоизолирующего слоя может быть больше 4 м. Анализ горно-геологических условий месторождений малых разрезов показал, что у большинства месторождений коэффициент вскрыши составляет меньше 4, что говорит о необходимости применения технологии дополнения (дозагрузки) выработанного пространства льдопородным внутренним отвалом с учетом коэффициента заполняемости.

### Материалы и методы исследования

Для выполнения работы проводились анализ работы предприятия по вскрышным и добычным работам. Определены объемы вскрышных работ в теплое время года с механическим рыхлением бульдозерами и формированием бульдозерного внутреннего отвала в выработанном пространстве карьера. Исследованы выемочно-погрузочные работы нижней части пород вскрыши с применением буровзрывных работ в зимний период и вывозом их автосамосвалами во внутренний отвал. По мощностям угольных пластов и междупластья определена глубина выработанного пространства разреза для размещения пород вскрыши. С учетом кусковатости и крепости мерзлых вскрышных пород определен коэффициент разрыхления для расчета количества вскрышных пород в выработанном пространстве и показателя заполняемости.

В результате анализа горно-геологических условий разработки Харбалахского каменноугольного месторождения установлено, что мощность вскрыши в последующие годы будет расти, следовательно, ее объем также будет расти, вызывая проблему размещения во внутренний отвал. В связи с этим нужна оценка степени заполнения выработанного пространства разреза возрастающим объемом вскрыши.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследования горно-геологических условий Харбалахского каменноугольного месторождения показали, что у разреза коэффициент вскрыши с годами растет, что говорит о необходимости применения технологии последовательной рекультивации путем заполнения выработанного пространства комбинированным бульдозерным и транспорт-

ным внутренним отвалом. На рис. 2 представлен график роста коэффициента вскрыши на разрезе. Данный рост обусловлен изменениями горно-геологических условий, а именно ростом мощности вскрыши.

Как видим из графика, в настоящее время линейный коэффициент вскрыши составляет от 1,5 до 2,3 м/м. При этом, с учетом коэффициента разрыхления ( $K_p$ ), вскрышные породы не полностью заполняют выработанное пространство карьера. Обратимся к [5] и оценим заполняемость выработанного пространства через показатель заполняемости ( $K_z$ ) выработанного пространства, который для разреза составляет около 0,7, то есть для полного заполнения выработанного пространства на 4 м глубины разреза вскрышных пород не хватает. На рис. 3 представлено выработанное пространство разреза, частично заполненное породами вскрыши и представляющее большую чашу. Для заполнения всего этого пространства не хватает объема вскрыши.

Это позволяет проектировать рекреационную рекультивацию карьерного поля, превратив его в водоем. Этому благоприятствует близость р. Амга, отделенной от разреза только предохранительной дамбой. В период весеннего половодья достаточно открыть дамбу, и вода сама попадет в разрез, а после заполнения закрыть. В результате получится водоем глубиной около 4 м. Есть возможность поднимать прибрежную его часть, которую следует выполаживать и озеленять.

По предварительным прогнозам начиная с 2026 г. выработанное пространство начнет полностью заполняться породами вскрыши. Начиная с этого периода целесообразно выполаживание внутреннего отвала и использование в качестве сельскохозяйственного или лесохозяйственного уголья.

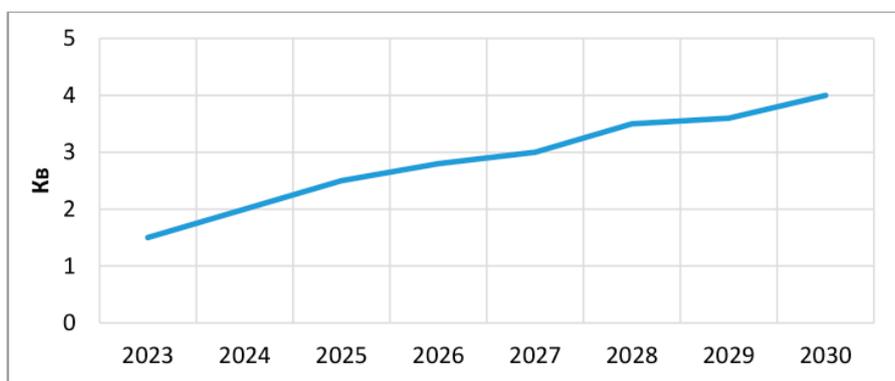


Рис. 2. Рост коэффициента вскрыши по годам



*Рис. 3. Выработанное пространство разреза «Харбалахский», частично заполненное породами вскрыши*

Выполненные работы ряда исследователей и анализ горно-геологических условий Харбалахского разреза позволяют обосновать на ближайшие годы возможность применения рекреационной рекультивации в виде водоема. На последующие годы выработанное пространство будет полностью заполнено вскрышными породами и использоваться для сельскохозяйственных и лесохозяйственных угодий.

При этом формирование внутренних отвалов может осуществляться с частичным заполнением выработанного пространства путем намораживания льда на дне карьера с последующим размещением пород вскрыши на них в качестве теплоизолирующего материала. Намораживание осуществляется в зимний период как методом дождевания, так и послойным наливом насосами из реки. При этом каждый новый слой воды заливается после проморозки предыдущего слоя. Вопрос сохранения ледяной «подушки» в летний период решается размещением на него пород вскрыши достаточной мощности, предотвращающего оттайку пород и льда в теплое время года. Такая мощность вскрыши в зоне расположения разреза составляет 3–3,5 м; если общая глубина разреза после удаления вскрыши и извлечения угля составляет около 14 м, то оттайки нижележащей ледяной «подушки» не произойдет.

Таким образом, объем выработанного пространства разреза для создания водоема составляет 239400 м<sup>3</sup>, из них 1992510 м<sup>3</sup> заполнено породами вскрыши. Остающийся объем для заполнения водой составляет 39890 м<sup>3</sup>. При этом незначительная фильтрация возможна со стороны дамбы, защи-

щающей разрез от р. Амга. По другим берегам водоема фильтрация минимальна, поскольку борта карьера представлены песчаниками, суглинками в многолетнемерзлом состоянии и являются водонепроницаемыми. Отток воды из водоема будет компенсироваться притоком поверхностных вод со стороны внешних отвалов и нагорной части разреза, а также таянием многолетнемерзлых пород, в которых содержание льда составляет 25–37%.

### Выводы

1. Геотехнологические условия и географическое расположение разреза Харбалахский благоприятствуют рекреационной рекультивации путем создания водоема на отработанном карьерном поле, а с учетом дальнейшего развития фронта горных работ, предусматривающего постепенное увеличение коэффициента вскрыши, полное заполнение выработанного пространства вскрышными породами с применением сельскохозяйственной и лесохозяйственной рекультивации.

2. Усложнение горно-геологических условий разреза, проявляющееся в увеличении коэффициента вскрыши, потребовало формирования внутренних отвалов с частичным заполнением выработанного пространства путем послойного намораживания льда на дне карьера с последующим размещением пород вскрыши на них в качестве теплоизолирующего материала. Сооружение ледяной «подушки» позволит заполнить выработанное пространство и применить для оставшейся части разреза сельскохозяйственную и лесохозяйственную рекультивацию.

## Список литературы

1. Zarovnyaev B., Shubin G., Sobakina M. Analysis of disturbed lands and environmentally safe technologies of mining in permafrost // 18-th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2018. Vol. 18. Exploration and mining. 2 July – 8 July. 2018. Albena, Bulgaria. P. 79–87. DOI: 10.5593/sgem2018/1.3/s03.011.
2. Туласынов Н.А. Экологически безопасные технологии ведения открытых горных работ в условиях многолетней мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 3. С. 120–124.
3. Каплунов Д.П. Проблемы комбинированной геотехнологии при устойчивом, экологически сбалансированном освоении недр // Горный журнал. 2018. № 1. С. 14–17.
4. Zarovnyaev B.N., Shubin G., Sobakina M.P. Justification of environmentally safe technology for the development of fields with an ice-breed internal dump // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference Proceedings Vol. 19. Science and Technologies in Geology. Exploration and Mining. Issue: 1.3. P. 363–369. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.046.
5. Zarovnyaev B.N., Shubin G.V., Budikina M.E., Sobakina M.P., Danilov A.A. Formation of an internal dump during exploitation. // 21st International Scientific Multidisciplinary Conference on Earth and Planetary Sciences SGEM 2021. Conference Proceedings Volume. Exploration and Mining. Albena, Bulgaria: 14 August – 22 August 2021. P. 405–412. DOI: 10.5593/SGEM2021/1.1/S03.050.
6. Tolvanen A., Eilu P., Juutinen A., Kangas K., Kivinen M., Markovaara-Koivisto M., Naskali A., Salokannel V., Tuulentie S., Similä J. Mining in the Arctic environment – A review from ecological, socioeconomic and legal perspectives // Journal of Environmental Management. 2019. № 233. P. 832–844. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.124.
7. Glotov V.E., Glotova L.P., Chlachula J., Little E. Causes and environmental impact of the gold-tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East // Engineering Geology. 2018. T. 245. P. 236–247. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.08.012.
8. Chlachula J., Lugovaya E. Environmental reflections on native peoples' health in the Siberian North based on microelements // 18th International Multidisciplinary Geo-Science Conference SGEM. Sofia, Bulgaria. Session 22. Ecology and Environmental Protection. 2018. P. 371–378. DOI: 10.5593/sgem2018/5.2/S20.050.
9. Курехин Е.В. Технологические схемы отвалообразования вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 5. С. 67–82.
10. Ortiz J.P. Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines. Cogent Engineering. 2017. Vol. 4, Is. 1. DOI:10.1080/23311916.2017.1387955.
11. Hongge Peng, Ding Zhang. Research on Inpit Dumping Height during Tracing Mining Period between Two Adjacent Surface Coal Mines // Advances in Civil Engineering. 2018. Vol. 2018. Article ID 3450584. 8 p. DOI: 10.1155/2018/3450584.
12. Cheskidov V.I., Norri V.K. Stripping with direct dumping in Kuzbass open pit mines: the current state and prospects // Journal of Mining Science. 2017. Vol. 52, Is. 4. P. 725–773.
13. Еремин Г.М. Повышение безопасности и эффективности отвалообразования в условиях нагорных и нагорно-равнинных карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 5. С. 161–167.
14. Заровняев Б.Н., Кузьмин А.А. Льдопородная рекультивация выработанного пространства (на примере Кировского разреза) // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXVIII международной науч.-практич. конф. / под общ. ред. В.М. Панарина. Тула: Инновационные технологии. 2021. С. 36–41.