

## ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-63-69

УДК 622.271.3 (571.56)

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПЛОШНЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

**Заровняев Борис Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор, mine\_academy@mail.ru

Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова,  
677016, г. Якутск, ул. Кулаковского, 50

#### **Аннотация.**

При открытой разработке месторождений вопрос экологической безопасности становится первостепенным. Как известно, разработка месторождений в условиях криолитозоны вызывает оттаивание мерзлых пород и деформацию бортов карьера, провалы, обрушение отвалов, что является скрытым явлением и потому более катастрофическим. При разработке месторождений в условиях многолетней мерзлоты целесообразно сокращение нарушения ландшафта в процессе разработки месторождений. Опыт разработки горизонтальных и пологих угольных месторождений малыми разрезами показал обширные нарушения ландшафта и их накопление в больших количествах, а также последующие нарушения в результате таяния отвалов, что приводит к выводу площадей из сельхозугодий и ухудшению экологического состояния районов ведения горных работ. В связи с этим совершенствование открытых горных работ в условиях многолетней мерзлоты, в том числе разработка экологически безопасных технологий, весьма актуально. Целью работы является разработка экологически безопасных технологий ведения горных работ с внутренним отвалообразованием и совершенствование сплошных систем разработки с учетом геокриологических условий эксплуатации горизонтальных, пологих угольных и россыпных месторождений.

Результаты выполненных исследований мерзлотно-криогенного состояния условий ведения горных работ позволили разработать новые технологии ведения горных работ с внутренним отвалообразованием с обеспечением сохранности внутренних отвалов, массива пород, бортов карьеров в мерзлом состоянии (патенты №№ 1677317, 2215148, 2206747, 2740892), что является развитием сплошных систем разработки в условиях криолитозоны. Разработанные варианты сплошных систем разработки с учетом специфики многолетнемерзлого массива и применением технологий защиты отвалов, массива пород, бортов карьеров от оттаивания являются принципиально новыми технологическими решениями при разработке угольных пластов, россыпных месторождений и обеспечивают одновременную рекультивацию выработанного пространства, размещение внутренних отвалов с предохранением от оттаивания и обеспечивают экологическую безопасность открытых горных работ.



#### **Информация о статье**

Поступила:  
15 сентября 2021 г.

Рецензирование:  
30 ноября 2021 г.

Принята к печати:  
05 декабря 2021 г.

#### **Ключевые слова:**

криолитозона, оттаивание,  
открытые горные работы,  
сплошные системы  
разработки, внутреннее  
отвалообразование,  
экологическая безопасность.

---

*Для цитирования* Заровняев Б.Н. Совершенствование сплошных систем разработки в условиях криолитозоны // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 6 (148). – С. 63-69 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-63-69

---

### **Введение.**

В России 65% территории занимают многолетнемерзлые породы, максимальная глубина которых достигает 1370 м. Основные территории распространения многолетнемерзлых пород это – Арктическая зона, Заполярье, Северные территории, Дальневосточный регион и вся территория Республики Саха (Якутия). Как установили ученые-мерзловеды, мерзлота начинает таять со скоростью примерно 2-3% в год. Исследования проводились в нетронутых техногенным воздействием местах. Как известно, любое техногенное воздействие на мерзлоту вызывает ускорение ее деградации, изменение ландшафта и приводит к крупномасштабным катастрофам. Известно, что при разработке месторождений таяние многолетнемерзлых пород происходит весьма интенсивно и вызывает необратимые процессы, такие как обрушение борта карьера, образование провалов в выработанном пространстве и на отвалах, разрушение зданий и сооружений, расположенных в зоне таяния мерзлых горных пород и другие последствия техногенного воздействия [1, 2]. В связи с этим при разработке месторождений, особенно осадочных, таких как угольные, россыпные месторождения, следует использовать технологии, предотвращающие последствия таяния мерзлоты в результате разработки месторождений. Это, как правило, разработка месторождений с внутренним отвалообразованием, предохраняющим мерзлоту от таяния.

На территории Республики Саха (Якутия) более 700 тыс. км<sup>2</sup> являются перспективными угленосными районами, включая Ленский угольный бассейн как основной угленосный район. Эти угольные бассейны представлены коксующимися углями Тунгусского, Зырянского бассейнов, а также отдельными разрозненными месторождениями, такими как Уяндинское, Куларское, Согинское, а также центральной части республики: Кировское, Харбалахское, Кангаласское, Джебарики Хаинское. Всего это более 90 месторождений с балансовыми запасами более 14,3 млрд т угля [3]. В связи с тем, что территория республики весьма обширная и отличается отсутствием постоянно действующих дорог, с целью сокращения транспортных расходов для энергетического обеспечения населения принято разрабатывать месторождения малыми разрезами, расположенными в непосредственной близости к потребителям. Годовая производительность таких разрезов составляет, как правило, 40-150 тыс. т угля в год. Благодаря такому расположению малых разрезов достигнуты следующие преимущества перед централизованным энергообеспечением: низкая себестоимость добычи угля за счет небольшого коэффициента вскрыши и благоприятных горно-геологических условий разработки месторождений; снижение транспортно-перевалочных расходов за счет сокращения расстояния перевозки водным фрахтом; значительно упрощается транспортно-логистическая схема завоза энергоносителей; предоставление хозяйствующим субъектам доступных по цене энергоресурсов и модернизация экономики районов с предоставлением новых рабочих мест для населения. Как известно, разработка месторождения сопровождается обширными нарушениями ландшафта в результате оттаивания бортов карьеров, отвалов, образования провалов и др. При существующей технологии ведения горных работ рекультивация нарушенных земель производится раздельно и требует дополнительных затрат на ее производство, это привело к накоплению нарушенных земель. Изложенное является проявлением технологического противоречия между существующей технологией ведения горных работ и комплексным решением проблем снижения себестоимости и сокращения площади нарушаемых земель, что выдвигает новую актуальную научную проблему сокращения площадей нарушаемых земель при сохранении существующей производительности и интенсивности добычи угля малыми разрезами в условиях многолетней мерзлоты.

### **Результаты.**

Для достижения поставленной цели была поставлена задача повышения экологической безопасности с помощью инновационных технологий с использованием специфических физико-механических свойств многолетнемерзлых горных пород. В свете вышеизложенного при открытой разработке месторождений вопрос экологической безопасности становится первостепенным, а выбранная технология ведения горных работ должна обеспечивать экологическую безопасность. Совершенствованию открытых горных работ в условиях многолетней мерзлоты, в том числе разработке экологически безопасных технологий, посвящены работы [4-8]. Как известно, разработка месторождений в условиях криолитозоны вызывает оттаивание мерзлых пород и деформацию бортов карьера, провалы, обрушение отвалов, что является скрытым явлением и потому оно более катастрофично. Оттаивание мерзлоты приводит к нарушению ландшафта, разрушению зданий и сооружений, появлению термокарстовых явлений. Данные исследования посвящены оценке степени нарушенности земель, их загрязнения и не направлены на сокращение площадей нарушаемых земель в процессе разработки месторождений. При разработке месторождений в условиях многолетней мерзлоты целесообразно сокращение нарушения ландшафта в процессе разработки месторождений.

Были проведены работы по оценке экологического воздействия карьеров и отвалов при открытой разработке месторождений и созданию предпосылок к землесберегающим технологиям ведения горных работ [9, 10]. В результате установлено, что на выбор землесберегающей технологии влияет не только система разработки, но и параметры бортов карьера и отвала: высота и количество добычных и вскрышных уступов, место заложения, тип и размеры вскрывающих выработок, количество рабочих бортов карьера, направление и скорость подвигания фронта горных работ, а также площадь возвращаемых после рекультивации нарушенных земель. Также выполнена систематизация объектов открытой разработки месторождений, по классификационным признакам формы и размеров месторождения в плане и по глубине залегания. Как утверждают авторы, такой подход обеспечивает создание рациональной технологии вскрытия, разработки и доработки месторождения и обеспечивает меньшую площадь земельных нарушений под горные выработки и отвалы, а также обеспечивает большую площадь поверхности внутренних отвалов для горнотехнической рекультивации.

Одной из экологически безопасных технологий открытой разработки пологих осадочных месторождений в условиях многолетней мерзлоты может быть технология с внутренним отвалообразованием и использованием особого порядка укладки вскрыши во внутренний отвал с последующим выравниванием поверхности [11]. Однако такая технология предусматривает только перевалку пород вскрыши во внутренний отвал с помощью драглайнов, что практикуется при разработке угольных месторождений и имеет ограниченное применение.

Анализ технологий ведения горных работ сплошными системами разработки с внутренним отвалообразованием показал недостаток новых технологий – они в большинстве случаев не обеспечивают предохранение многолетней мерзлоты от таяния, экологическую и технологическую безопасность горных работ. В последующем это привело к исключению из хозяйственного оборота сотен тысяч гектаров нарушенных земельных угодий, законсервированы на десятки лет минерально-сырьевые ресурсы техногенных россыпей.

В связи с этим требуется кардинальное изменение традиционных сплошных систем разработки с внутренним отвалообразованием при разработке пологих угольных месторождений в условиях многолетней мерзлоты и обеспечение сохранности криолитозоны в выработанном пространстве как основы экологической и промышленной безопасности горных работ.

Имеется ряд разрезов, где породы вскрыши недостаточны для заполнения выработанного пространства, а также часть вскрыши представлена песчано-гравийной смесью и применяется в качестве строительных материалов для отсыпки различных объектов. В таких случаях при использовании сплошных систем с внутренним отвалообразованием объем пород вскрыши недостаточен для заполнения выработанного пространства. Такие условия имеются на разрезах Харбалахский и Кировский, для которых предложена технология разработки месторождений с дополнением выработанного пространства льдопородным целиком. Идея способа рекультивации в условиях криолитозоны заключается в том, что с целью значительного удешевления и интенсификации работ заполнение выработанного пространства производится льдопородным материалом, производимым на месте. Технология создания льдопородного материала заключается в дождевании воды во внутренний отвал в зимний период, накрываемого далее теплоизолирующим слоем пород вскрыши – толщиной, обеспечивающей стабильность отрицательной температуры созданного внутреннего отвала. Таким образом, предлагаемые технологии рекультивации нарушенных земель позволяют при значительном снижении затрат полностью механизировать процесс, обеспечивать заполнение выработанного пространства, сохранить массив в мерзлом состоянии и ландшафт в зоне ведения горных работ.

Льдопородная закладка выработанного пространства известна во многих случаях, в том числе при подземной разработке россыпных и рудных месторождений, и зарекомендовала себя как наиболее приемлемая технология при сохранении отрицательной температуры заложеного массива пород [12]. Авторы также предложили технологию разработки кимберлитовой трубки с льдопородной закладкой и частичным обрушением вмещающих пород, а также технологию при разработке малообъемных золоторудных месторождений. Таким образом, практика льдопородной закладки в горной промышленности дает возможность ее использования и для внутреннего отвалообразования при разработке месторождений с мощными пластами для заполнения выработанного пространства.

Многообразие горно-геологических условий месторождений позволило разработать новые технологии ведения горных работ. Специфика природных комплексов региона, многолетняя мерзлота и резко-континентальный климат в таежно-тундровой зоне не позволяют прямо переносить из других регионов накопленный опыт и рекомендации по сбережению природных ресурсов, требуются дополнительные исследования и обобщение накопленных данных по экономическим и экологическим критериям. Одним из перспективных экологически безопасных технологических решений для данных горно-геологических и природных условий является способ открытой разработки многолетнемерзлых осадочных месторождений с формированием внутреннего отвала крупногабаритными блоками из вскрышных пород (а.с. № 1677317). Главным условием технологии является монолитность пород

вскрыши, которая обеспечивается благодаря мерзлому состоянию вскрышных пород. Способ предусматривает формирование крупногабаритных блоков одним из известных способов, например буровзрывным, механическим. Затем производят переворачивание и укладку сформированных пород вскрыши во внутренний отвал. Таким образом, основание внутреннего отвала формируется из крупногабаритных блоков, а сверху располагается оставшаяся часть вскрыши и плодородный слой, защищающий крупногабаритные блоки от оттаивания. В результате достигается одновременное внутреннее отвалообразование из крупногабаритных блоков с сохранением внутреннего отвала в мерзлом состоянии.

Также предложен способ, включающий разделение карьерного поля на блоки, разупрочнение пород в пределах блока, вскрытие и выемку продуктивного пласта с размещением вскрышных пород в выработанное пространство отработанного по порядку предыдущего блока. При этом проходят первоначальную разрезную траншею, разделяют месторождение на блоки предыдущей и последующей заходок, перемещают вскрышные породы продуктивного пласта и формируют внутренний отвал (патент № 2215148). Таким образом достигается извлечение продуктивного пласта наиболее экономичной технологией по мере оттайки бульдозером с одновременным внутренним отвалообразованием.

Для разработки горизонтальных и пологих угольных месторождений предложен вариант сплошной системы разработки с внутренним отвалообразованием с заполнением выработанного пространства льдопородным целиком (патент №2206747). Идея способа рекультивации в условиях криолитозоны заключается в том, что с целью значительного удешевления и интенсификации работ заполнение выработанного пространства производится льдопородным материалом, производимым на месте. Технология создания льдопородного материала заключается в дождевании воды во внутренний отвал в зимний период, накрываемого далее теплоизолирующим слоем пород вскрыши, толщиной, обеспечивающей стабильность отрицательной температуры массива. Для производства большого количества техногенного льда используется дождевальная агрегат «Град-6» производительностью от 6 до 10 тыс. куб. м льда за сутки. Метод намораживания состоит в том, что основной теплообмен, необходимый для образования льда, с помощью высоконапорного насоса и дальнеструйного дождевателя переносится с поверхности намораживания на значительную высоту (до 18-20 м) зоны рассеивания мельчайших капель воды в постоянно сменяющийся объем морозного воздуха. Образующаяся при этом водоледная смесь выпадает на намораживаемую основу в виде жидкой не растекающейся кашицы, грубо копирующей неровности подстилки и быстро смерзающейся. Смерзание происходит не только под воздействием морозного воздуха и намного ускоряется тем, что часть намерзших капель воды, не встретив в воздухе зерна кристаллизации, выпадает в переохлажденном состоянии, быстро оледеневает, коснувшись льда на подстилке. После намораживания необходимого объема ледяной призмы на нее начинают экскавацию или бульдозером предварительно разрыхленной вскрыши и формируют внутренний отвал, причем толщина последней должна превышать мощность сезонной оттайки и обеспечивать теплоизоляцию ледяной призмы. На полученный внутренний отвал размещают плодородный слой и осуществляют рекультивацию карьерного поля.

Разработан вариант сплошной системы разработки с внутренним отвалообразованием в условиях многолетней мерзлоты, включающий выемку плодородного слоя, блочную отработку вскрышного уступа, выемку и транспортирование полезного ископаемого с чередованием отсыпки выработанного пространства с подвалкой внутреннего отвала, где параллельно намораживают ледяную призму, а на основании выработанного пространства закладывают трубы с перфорацией, суммарная площадь которых составляет не менее диаметра трубы, причем вдоль труб формируют насыпи из песчано-гравийной смеси в виде призмы треугольной формы высотой 3-5 диаметров трубы, а расстояние между трубами составляет не менее двукратного радиуса промораживания в намораживаемом льдопородном внутреннем отвале (патент №2740892). После намораживания внутреннего отвала с призмой треугольной формы для укрепления основания отвала формируют внутренний отвал и на него размещают теплоизоляционный слой из растительного покрова необходимой толщины.

Предлагаемые варианты сплошных систем разработки с внутренним отвалообразованием применимы для осадочных месторождений, таких как горизонтальные и пологие угольные и россыпные месторождения, и позволяют минимизировать себестоимость за счет обеспечения внутреннего отвалообразования, а также формировать их пригодными для сельскохозяйственного применения, исключив протаивание замороженных отвалов и массива горных пород. Таким образом, предлагаемые варианты сплошных систем разработки с внутренним отвалообразованием в условиях многолетней мерзлоты обеспечивают заполнение выработанного пространства, сохранение отвала и массива в мерзлом состоянии и помогают сохранить ландшафт в зоне ведения горных работ.

#### **Выводы:**

1. Опыт применения вариантов сплошных систем для разработки горизонтальных и пологих угольных месторождений малыми разрезами, а также россыпных месторождений показал обширные нарушения

ландшафта и их накопление в больших количествах, а также последующие нарушения в результате таяния отвалов, массива пород в выработанном пространстве за счет термокарстовых явлений, обрушения бортов карьера, отвалов, что приводит к выводу площадей из сельхозугодий и ухудшению экологического состояния районов ведения горных работ.

2. Результаты выполненных исследований мерзлотно-криогенного состояния условий ведения горных работ позволили разработать новые технологии ведения горных работ с внутренним отвалообразованием с обеспечением сохранности внутренних отвалов, массива пород, бортов карьеров в мерзлом состоянии, что является развитием сплошных систем разработки в условиях криолитозоны.

3. Разработанные варианты сплошных систем разработки с учетом специфики многолетнемерзлого массива и применением технологий защиты отвалов, массива пород, бортов карьеров от оттаивания являются принципиально новыми технологическими решениями при разработке угольных пластов, россыпных месторождений и обеспечивают одновременную рекультивацию выработанного пространства, размещение внутренних отвалов с предохранением от оттаивания и обеспечивают экологическую безопасность открытых горных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thermal State of Permafrost in Russia / Romanovsky V.E., Drozdov D.S., Oberman N.G., Malkova V.G., Kholodov A.L., Marchenko S.S., Moskalenko N.G. // *Permafrost and Periglacial Process.* – 2010. – Vol. 1. – P. 136-155.
2. Иванов В.В. Трансформация природных комплексов при недропользовании в условиях Якутии.- Новосибирск: Наука, 2015. – 248 с.
3. Ковалев Л.Н. Сычевский А.В., Кузнецов В.В. Минерально-сырьевые ресурсы Республики Саха (Якутия) / Буркова Н.В.// *Горный журнал*, 2016, №7. С.83-88. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26469040>.
4. Development of environmental geotechnologies in the conditions of cryolitzone / Boris N. Zarovnyaev, Grigoriy V. Shubin, Maria E. Budikina, Maria P. Sobakina, Sakhayana I. Koroleva // 20-th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020 Conference Proceedings volume 19 Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining Issue: 1.3. p. 59-64. DOI: 10.5593/sgem2020/1.2/s03.008.
5. Ермаков С.А. Совершенствование геотехнологий открытой разработки месторождений криолитозоны / Бураков А.М. // *Проблемы недропользования.* №3. 2014. С. 96-104. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22597138>.
6. Development of Environmentally Safe Mining Technologies Taking into Account Thermomechanical Conditions of the Permafrost Zone / Zarovnyaev, B., Shubin, G., Sobakina, M., Budikina, M.// *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* Volume 221, Issue 1, 4, Czech Republic, 2019. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38695707>.
7. Zarovnyaev B.N. Analysis of disturbed lands and environmentally safe technologies of mining in permafrost/ Shubin Grigory.V., Sobakina Mariya.P. //18-th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2018, Volume 18, Exploration and mining, 2 July-8 July, 2018, Albena, Bulgaria. – P. 79-87. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42585235>.
8. Ивершина Г.Е. Эколого-технологические аспекты открытой угледобычи // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* №2(53). 2006. С. 7-9. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12944116>.
9. Environmental impact assessment jiu opencast area using an integrated sar analysis / V.D. Poenaru, I.F. Dana Negula, A. Badea, R. Cuculici // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. P. 151 – 156. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B8-151-2016.
10. Мормуль Т.Н. В выбор землесберегающей технологии вскрытия и системы разработки месторождений в зависимости от их формы и размеров / Литвинов Ю.И. // *Экология и природоохранение*, 2013, Выпуск 17. С. 145 - 150.
11. Viktor O. Solov'ev. Development of New Mining and engineering Construction Works for the Development of Remote Northern Regions and the Far East/ Igor M. Shvedov // *CDQM, An Int. J.* V.17. – № 4. – 2014. – P. 34-41.
12. Необутов Г.П. Эффективные способы крепления кровли горных выработок при добыче руды с использованием льдопородной закладки / Петров Д.Н. // *Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Северных и Северо-Восточных регионов России.* Тр. Всеросс. Научно-практич. Конфер. посвященной памяти член-корр. РАН Новопашина М.Д., Якутск, издат. Ин-та мерзлотоведения им. П.И.мельникова СО РАН. – 2011. – P. 114-116. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21601951>.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-63-69

UDS 622.271.3 (571.56)

## IMPRUVEMENT OF CONTINUOUS DEVELOPMENT SYSTEMS IN PERMAFROST

**Boris N. Zarovnyaev,**

Dr. Sc. in Engineering, Professor, [mine\\_academy@mail.ru](mailto:mine_academy@mail.ru)

North-Eastern Federal university, 677016, Yakutsk, Kuakovskaya str., 50.

### **Abstract.**

*With open-pit mining, the issue of environmental safety becomes paramount. As you know, the development of deposits in the permafrost zone causes thawing of frozen rocks and deformation of the pit walls, sinkholes, collapse of dumps, which is a hidden phenomenon and therefore more catastrophic. When developing deposits in permafrost conditions, it is advisable to reduce the disturbance of the landscape during the development of deposits. The experience of developing horizontal and shallow coal deposits by small open-pit mines showed extensive disturbances to the landscape and their accumulation in large quantities, as well as subsequent disturbances as a result of the melting of dumps, which leads to the withdrawal of areas from farmland and deterioration of the ecological state of mining areas. In this regard, the improvement of open pit mining in permafrost conditions, including the development of environmentally friendly technologies, is highly relevant. The aim of the work is to develop environmentally friendly technologies for conducting mining operations with internal dumping and improve continuous development systems, taking into account the geocryological operating conditions of horizontal, shallow coal and placer deposits.*

*The results of the performed studies of the permafrost-cryogenic state of the mining conditions made it possible to develop new technologies for conducting mining operations with internal dumping, ensuring the safety of internal dumps, rock mass, walls of quarries in a frozen state (patents Nos. 1677317, 2215148, 2206747, 2740892), which is development.*

*The developed options for continuous development systems, taking into account the specifics of the permafrost massif and the use of technologies for protecting dumps, rock mass, and quarry sides from thawing, are fundamentally new technological solutions in the development of coal seams, placer deposits and provide simultaneous reclamation of the worked-out area, placement of internal dumps with protection from thawing and ensure the environmental safety of open pit mining.*



### **Article info**

Received:

15 September 2021

Revised:

30 November 2021

Accepted:

05 December 2021

**Keywords:** permafrost, thawing, open pit mining, continuous development systems, internal dumping, environmental safety

---

**For citation** Zarovnyaev B.N. Impruvement of continuous development systems in permafrost. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.6 (148), pp. 63-69. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-63-69

---

## REFERENCES

1. Thermal State of Permafrost in Russia / Romanovsky V.E., Drozdov D.S., Oberman N.G., Malkova V.G., Kholodov A.L., Marchenko S.S., Moskalenko N.G. // *Permafrost and Periglacial Process*. – 2010. – Vol. 1. – P. 136-155.
2. Ivanov V.V. Transformatsiya prirodnykh kompleksov pri nedropol'zovanii v usloviyakh Yakutii.-Novosibirsk: Nauka. 2015. –248 s.
3. Mineralno-sirievie resursy Respubliki Sakha (Yakutia) / Kovalev L.N., Burkova N.V., Sichevskiy A.V., Kuznetsov V.V.// *Gorniy jurnal*. 2016. №7. S.83-88. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26469040>.
4. Development of environmental geotechnologies in the conditions of cryolitzone / Boris N. Zarovnyaev, Grigoriy V. Shubin, Maria E. Budikina, Maria P. Sobakina, Sakhayana I. Koroleva // 20-th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020 Conference Proceedings volume 19 Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining Issue: 1.3. P. 59-64. DOI: 10.5593/sgem2020/1.2/s03.008.
5. Yermakov S.A. Sovershenstvovaniye geotekhnologii otkrytoy razrabotki mestorozhdeniy kriolitozony / Burakov A.M. // *Problemy nedropol'zovaniya*. №3. 2014. S. 96-104. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22597138>.
6. Development of Environmentally Safe Mining Technologies Taking into Account Thermomechanical Conditions of the Permafrost Zone/ Zarovnyaev, B., Shubin, G., Sobakina, M., Budikina, M.// *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* Volume 221. Issue 1. 4. Czech Republic. 2019. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38695707>.
7. Zarovnyaev B.N. Analysis of disturbed lands and environmentally safe technologies of mining in permafrost/ Shubin Grigoriy.V., Sobakina Mariya.P. //18-th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2018, Volume 18, Exploration and mining, 2 Jily-8 July. – 2018. Albena. Bulgaria. – P. 79-87. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42585235>.
8. Ivershina G.Ye. Ekologo-tehnologicheskiye aspekty otkrytoy ugledobychi // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – №2(53). – 2006. – S. 7-9. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12944116>.
9. Environmental impact assessment jiu opencast area using an integrated sar analysis / V.D. Poenaru, I. F. Dana Negula, A. Badea, R. Cuculici // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016 XXIII ISPRS Congress. 12–19 July 2016. Prague. Czech Republic. P. 151 – 156. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B8-151-2016.
10. Mormul' T.N. Vybory zemlesberegayushchey tekhnologii vskrytiya i sistemy razrabotki mestorozhdeniy v zavisimosti ot ikh formy i razmerov / Litvinov YU.I. // *Yekologiya iprirodokoristuvannaya*, 2013, Vipusk 17. S.145 - 150.
11. Viktor O. Solov'ev. Development of New Mining and engineering Construction Works for the Development of Remote Northern Regions and the Far East / Igor M. Shvedov // *CDQM. An Int. J. V. 17. – №4. – 2014. – P. 34-41*.
12. Neobutov G.P. Effektivnyye sposoby krepleniya krovli gornyykh vyrabotok pri dobyche rudy s ispol'zovaniyem l'doporodnoy zakladki / Petrov D.N. // *Geomekhanicheskiye i geotekhnologicheskiye problemy effektivnogo osvoyeniya mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopayemykh Severnykh i Severo-Vostochnykh regionov Rossii*. Tr. Vseross. Nauchno-praktich. Konfer.posvyashchennoy pamyati chlen-korr. RAN Novopashina M.D., Yakutsk, izdat. In-ta merzlotovedeniya im. P.I.mel'nikova SO RAN. – 2011. – S. 114-116. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21601951>.

### Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).