

ИССЛЕДОВАНИЯ ИГДС СО РАН ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ, МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР КРИОЛИТОЗОНЫ

С. М. Ткач

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

Аннотация: Проанализированы геомеханические и геотехнологические особенности освоения месторождений твердых полезных ископаемых Севера России и их влияние на эффективность и безопасность горного производства. Представлены результаты исследований Института горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН за 2020 год по Программе ФНИ СО РАН № IX.132.5.1 «Комплексное изучение геомеханических и теплофизических процессов, свойств геоматериалов и массивов горных пород в условиях естественно низких температур, разработка основ инновационных технологий, методов и технических средств освоения недр криолитозоны», направленные на решение задач по совершенствованию существующих и разработке принципиально новых, эффективных, экологически безопасных геотехнологий и их элементов, методов и технических средств освоения месторождений твердых полезных ископаемых криолитозоны, максимально учитывающих специфические условия их разработки.

Ключевые слова: криолитозона, условия разработки, геотехнология, теплофизика, обогащение, руда, уголь, моделирование, температура, георадиолокация, эффективность.

Для цитирования: Ткач С. М. Исследования ИГДС СО РАН по совершенствованию геотехнологий, методов и средств эффективного освоения недр криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12–1. – С. 5–14. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_5.

Studies of the N. V. Chersky Mining Institute of the North to improve the geotechnologies, methods and tools for the efficient development of subsoil in permafrost

S. M. Tkach

N. V. Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Abstract: this work considers the analyses of geomechanical and geotechnological features of the development of solid mineral deposits of the Russian North and their impact on the efficiency and safety of mining production. The work presents the results of the Institute's research for 2020 according State Program «Integrated study of geomechanical and thermal processes, properties of geomaterials and rock masses under conditions of naturally low temperatures, development of the fundamentals of innovative technologies, methods and

technical means of exploitation of subsoil in permafrost» addressed the challenges to improving existing technologies and developing innovative, efficient, environmentally safety new ones, methods and techniques for the development of solid mineral deposits in permafrost, taking into account as much as possible the specific conditions of their mining.

Key words: permafrost, conditions of mining, geotechnology, thermophysics, enrichment, ore, coal, simulation, temperature, georadar, efficiency.

For citation: Tkach S. M. Studies of the N. V. Chersky Mining Institute of the North to improve the geotechnologies, methods and tools for the efficient development of subsoil in permafrost. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12–1):5–14. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_1_0_5.

Введение

Экономика большинства субъектов Российской Федерации, особенно северных территорий, связана с развитием горнодобывающей промышленности. В настоящее время в связи с истощением ресурсной базы минерального и углеводородного сырья в центральных областях страны новые объекты освоения горнодобывающей промышленности неуклонно смещаются в еще малоосвоенные восточные и северо-восточные регионы страны, характеризующиеся обширными территориями с очень слабо развитой инфраструктурой и малой их заселенностью, удаленностью от мест переработки и потребления добываемого сырья, дороговизной товаров и услуг, дефицитом высококвалифицированных кадров и др. Природные условия (физико-географическая и геологическая среда) оказывают решающее влияние на эффективность всех отраслей экономики, в том числе и горнодобывающей промышленности. Особенно остро проблема стоит при разработке месторождений, расположенных в районах распространения многолетнемерзлых горных пород (64% территории РФ), в том числе Республике Саха (Якутия), которые отличаются суровым резко континентальным климатом (продолжительная холодная зима и короткое жаркое лето), сложностью горно-технических условий эксплуатации при значительной степени

нарушенности и влажности (льдиности) горных пород, многократно повторяющихся циклах их замораживания — оттаивания в процессе производства горных работ, слабой геологической изученностью месторождений при устаревшей геолого-экономической оценке эффективности их освоения [1]. На огромной территории этих регионов, в частности Якутии, при ее недостаточной изученности разведана и прогнозируется уникальная по масштабам и разнообразию минерально-сырьевая база. Качество запасов и прогнозных ресурсов многих полезных ископаемых сопоставимо со средним качеством запасов подобного сырья в мире, а в ряде случаев (алмазы, сурьма, ниобий и др.) превосходит их. Однако в конце прошлого века в условиях перехода к рыночной экономике более половины разведанных запасов основных видов полезных ископаемых оказались в те годы не конкурентоспособными к освоению. В последние двадцать лет за счет внедрения более совершенной техники и технологии добычи и обогащения минерального сырья, положительной динамики цен на некоторые его виды на мировом рынке ситуация начала постепенно улучшаться в части вовлечения в отработку месторождений благородных металлов с более низким содержанием полезных компонентов (0,3–0,4–0,5 г/т бортовое содержание в пробе), что свидетельствует о посте-

пенной адаптации горнодобывающей отрасли региона к рыночным условиям хозяйствования, росту потенциала ее конкурентоспособности.

Методы

Современные тенденции (направления) совершенствования и создания принципиально новых элементов горной техники и геотехнологий в России и за рубежом связаны с обеспечением существенного повышения эффективности разработки месторождений в имеющихся условиях и худших в перспективе. Реализация такой установки возможна за счет повышения уровня полноты и комплексности извлечения полезных компонентов при добыче и переработке песков и руд традиционных, новых и прогнозируемых типов, улучшения качества конечной продукции и кратного увеличения выработки на одного занятого. Наиболее остро эти проблемы стоят при освоении месторождений в области распространения многолетнемерзлых горных пород, так как мировой опыт их решения в подобных условиях крайне мал. Разработка основ инновационных технологий добычи и переработки твердых полезных ископаемых — комплексная проблема, которая требует достаточно полного и правильного использования современных достижений геологических наук, физики, геофизики, механики, химии и более глубокого понимания процессов, происходящих при освоении недр криолитозоны в каждом локальном выемочном участке изменчивой в пространстве геологической среды любого месторождения [1 — 5 и др.].

Активное промышленное освоение минерально-сырьевых ресурсов северо-восточных территорий страны, в том числе и Якутии, предопределило объективную необходимость научного сопровождения горных разработок в крайне

сложных природно-климатических условиях. Для решения этих задач в 1980 году в г. Якутске был создан институт горного дела Севера ЯФ СО АН СССР, ныне ИГДС СО РАН, носящий имя его основателя Н. В. Черского. С самого начала своей деятельности научные разработки Института так или иначе основываются на учете геомеханических и геотехнологических особенностей, влияющих на эффективность освоения недр Севера.

Результаты и их значимость для практического применения

В части продолжения рассмотрения результатов исследований ИГДС СО РАН, приведенных в [1, 6 и др.], далее излагаются новые аннотированные результаты, полученные в рамках выполнения в 2020 году научных исследований по трем комплексным проектам вышеупомянутой Программы ФНИ СО РАН: «Исследование и разработка эффективных конструктивных и технологических параметров подземной и открытой геотехнологии, методов освоения недр криолитозоны»; «Исследование прочностных и физико-механических свойств геоматериалов и особенностей развития теплофизических и геомеханических процессов в горных выработках и массивах пород при разработке месторождений полезных ископаемых в условиях естественно низких температур»; «Разработка и обоснование инновационных технических и технологических решений эффективного обогащения и глубокой переработки минерального сырья месторождений Севера».

Геотехнология, Геоэкономика, геоинформатика

В лаборатории проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов экспериментальными исследованиями установлено влияние угла наклона отбитого слоя руды различной влажности (от 0 до 1%) при системах

подэтажного обрушения на показатели ее потерь от смерзания при торцевом выпуске в условиях отрицательных температур ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) очистного пространства месторождений криолитозоны. В частности, показано, что изменение угла наклона отбиваемого слоя руды с 90° до 85° и ее влажности от 0 до 0,5% несущественно влияет на увеличение потерь. Резкое повышение потерь руды вследствие ее смерзания при выпуске (до 12,5%) отмечено при угле наклона 80° и влажности 1%. Наилучшие показатели полноты и качества извлечения руды при торцевом выпуске достигаются при вертикальном контакте отбитой руды и вмещающей породы, уменьшение угла наклона контакта до 75% приводит к возрастанию потерь рудной массы в связи с тем, что увеличивается объем смерзшейся руды в очистном пространстве. Результаты исследований имеют важное значение для разработки практических рекомендаций по технологии выпуска руды из блока, обеспечивающей безопасную и эффективную отработку запасов месторождения в условиях отрицательных температур очистного пространства.

В этой же лаборатории разработана модель расчета относительной ошибки ожидаемой (расчетной, плановой) прибыли Pr от освоения месторождения или его участка, учитывающая влияние следующих основных исходных параметров: объём добычи Q , среднее содержание полезного компонента G_a , коэффициент извлечения J , потери при добыче L , разубоживание D , вероятность нахождения системы в неисправном состоянии

W , цена единицы конечного продукта P , совокупные затраты C .

Показано, что ошибки какого-либо из исходных аргументов в 10–20%, связанные с их изменчивостью в пространстве залежи и фактором времени при выполнении технологических процессов, приводят к ошибкам в оценке Pr более чем на 30%, достигая в некоторых случаях 250–300%. Допустимая погрешность прогноза прибыли всегда значительно выше ошибок отдельных факторов, что нередко связано с ошибками геологического и геотехнологического оконтуривания запасов и их подсчета [7]. Научная и практическая значимость результатов исследований состоит в оценке систематических ошибок завышения или занижения на 20–80% расчетных геологических, геотехнологических, затратных и ценовых переменных, функционально полностью определяющих прибыль от отработки локального участка рудного или россыпного месторождения, что способствует возникновению дополнительных, разнообразных по природе рисков в рамках ресурсосберегающего, экономически сбалансированного и экологически приемлемого недропользования.

В лаборатории георадиолокации разработаны рекомендации по совершенствованию методики геофизического картирования геокриологических структур массива многолетнемерзлых горных пород, основанные на использовании параметрического зондирования по методике углового георадиолокационного сканирования (УГС) на участках со сложно-пересечённой местностью.

$$\frac{\sigma_{Pr}}{Pr} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\gamma}{\gamma}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{G_a}}{G_a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_J}{J}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_L}{1-L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_D}{1-D}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_P}{P} \cdot \frac{1}{1-K}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_C}{C} \cdot \frac{K}{1-K}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_W}{1-W}\right)^2},$$

где $K = C/P$; s, m – площадь и мощность заданного блока соответственно; g – средняя плотность руды; s – среднеквадратическая ошибка расчета факторов ($s, m, g, G_a, J, L, D, P, C, W$).

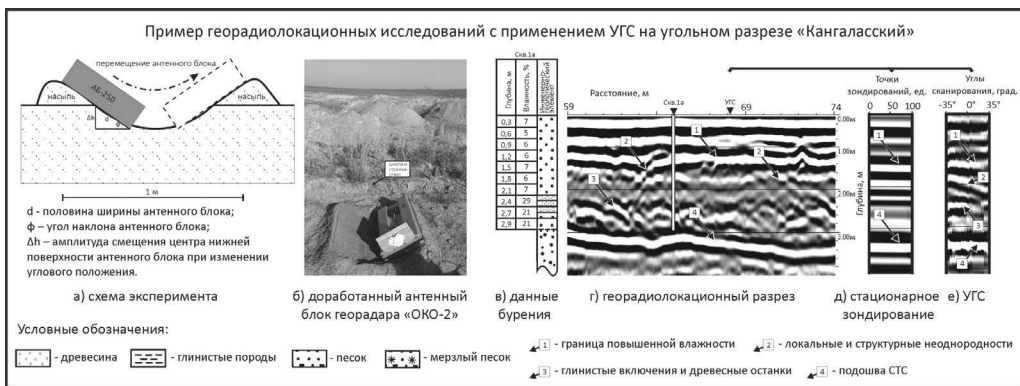


Рис. Пример георадиолокационных исследований с применением углового сканирования на угольном разрезе «Кангаласский»

Fig. Example of ground-penetrating radar (GPR) research using angular scanning in Kangalassky open cut

По данным УГС получают радарограмму с набором уникальных трасс сигналов, записанных в секторе 70 градусов с шагом 5 град. В результате на радарограмме формируется волновая картина, позволяющая выделить оси синфазности сигналов от искоемых объектов и оценить фазу и время регистрации сигнала для достоверной интерпретации данных по разработанным критериям [8]. Пример георадиолокационных исследований с применением углового сканирования на угольном разрезе «Кангаласский» приведен на рис. Усовершенствованная методика геофизического картирования геокриологических структур массивов многолетнемерзлых горных пород позволяет представлять данные георадиолокационных исследований в трехмерном виде с высокоточной топографической привязкой их местоположения для повышения эффективности прогноза и контроля геокриологической обстановки на всех стадиях разработки россыпных месторождений.

В лаборатории открытых горных работ на основе разработанной ранее методики прогнозной оценки ресурсного потенциала техногенных россыпей Якутии, учитывающей совокупность горнотехнических условий и особен-

ностей процессов добычи и переработки продуктивных песков, выполнена оценка прогнозных ресурсов золотоносных техногенных образований и создана обобщённая база данных техногенных ресурсов основных районов россыпной золотодобычи Якутии (порядка 100 объектов). Показано, что по отдельным россыпям прогнозные техногенные ресурсы могут превышать технологические потери при промывке и обогащении на 10–30%, причём эта разница возрастает с уменьшением крупности золота.

Геомеханика и горная теплофизика

В лаборатории механики геоматериалов в рамках линейной теории упругости выполнено математическое моделирование процесса деформирования многолетнемерзлого горного массива вокруг двух параллельно пройденных протяженных выработок одинакового прямоугольного сечения с закруглениями с учетом изменения упругих свойств горных пород от температуры. При этом установлены зависимости концентрации напряжений на контуре выработки от расстояния между выработками, отношения высоты и ширины выработки и радиусов закругления с учетом размеров ореолов оттаивания вокруг выработок, а также определены координаты сечений в целом

между выработками, где концентрация напряжений максимальна, и динамика ее изменения по мере увеличения ореола оттаивания вокруг выработок. На основе проведенных расчетов предложены рекомендации по выбору размеров, формы и расстояния между выработками в зависимости от размеров ореолов оттаивания вокруг выработок.

Экспериментальными исследованиями сотрудниками лаборатории горной теплофизики выявлена зависимость прочностных характеристик легкого торкретбетона от содержания полипропиленовой фибры (длина 6 мм, $\text{Ø}10\pm 15$ мкм) и количества знакопеременных температурных воздействий. Установлено: содержание 1% фибры является оптимальным для вермикулитобетона состава цемент /вспученный вермикулит = 1/2, при этом прочность его на сжатие достигает 5,2 МПа, что на 45% выше, чем у неармированных бетонов (3,6 МПа); образцы дисперсно-армированных серий обладают более высокой способностью сохранять свои физико-механические характеристики после знакопеременных температурных воздействий, в частности после 5 циклов замораживания-оттаивания (температура замораживания минус 50 ± 5 °С), в насыщенном 5% раствором NaCl состоянии, прочность образцов оптимальной серии снизилась до 4,2 МПа, что выше, чем у исходных неармированных бетонов [9]. Полученные результаты имеют практическое значение для разработки эффективных способов крепления подземных горных выработок криолитозоны.

В этой же лаборатории разработана математическая модель и программа расчёта тепло-массообменных процессов при круглогодичном кучном выщелачивании золоторудных месторождений криолитозоны, учитывающая климатические условия, технологические параметры (температура, скорость подачи, кон-

центрация реагентов в растворе), а также процессы диффузионного и конвективного тепло- и массообмена, фазовые превращения раствора. Модель позволяет с достаточной степенью точности и достоверности рассчитать оптимальную толщину теплоизоляции штабеля выщелачиваемых геоматериалов, обеспечивающую его положительный тепловой режим в климатических условиях промплощадки [10]. Использование разработанной модели позволит прогнозировать динамику извлечения золота при выборе оптимального режима кучного выщелачивания.

Разработаны рекомендации по обеспечению оптимального теплового режима системы горных выработок высокомеханизированных россыпных шахт криолитозоны в период их строительства и эксплуатации, в частности, при применении высокопроизводительного самоходного дизельного оборудования, требующего кратное увеличение объема воздуха, подаваемого в шахту, что вызывает прогрессирующее протаивание вмещающих мерзлых пород и снижение их устойчивости в летний период. При сезонной добыче песков определены оптимальные сроки консервации россыпной шахты с учетом мощности применяемого самоходного горного оборудования с дизельным приводом, позволяющие сохранять массив горных пород вокруг выработок в мерзлом состоянии на весь летний период. Определены рациональные параметры вентиляции тупиковых и очистных выработок исходя из условия поддержания требуемого теплового режима шахты в летний период с целью обеспечения их устойчивости [11]. Разработанные методики расчетов теплового и вентиляционного режимов позволяют выбрать оптимальные параметры крепления капитальных и подготовительных выработок для обеспечения безопасных условий добычи песков.

***Рудоподготовка, обогащение,
переработка минерального
и углеводородного сырья***

Сотрудниками лаборатории обогащения проведены экспериментальные исследования эффективности разделения сыпучих геоматериалов крупностью $-3+0,1$ мм различного фракционного состава по плотности в аэро- и гидродинамических потоках, формируемых в барабанных противоточных сепараторах. Установлено, что для разделения в аэродинамическом потоке в диапазоне скорости от 8 до 15 м/с наиболее рациональной формой его рабочей камеры является цилиндрическая с показателями извлечения тяжелых фракций (имитаторов $\rho = 6,8 - 16$ г/см³) в диапазоне от 57,1 до 94,2%, а для разделения в гидродинамическом потоке с дебитом технологической воды 10 – 15 л/мин и числе оборотов барабана 20 об/мин – многогранная форма рабочей камеры с аналогичными показателями по извлечению тяжёлых фракций от 89,6 до 98,6%. Полученные результаты исследований являются существенным заданием для разработки и выбора противоточных барабанных сепараторов для обогащения в разных средах минералов различной плотности крупностью $-3+0,1$ мм.

Экспериментальными лабораторными исследованиями определена оптимальная технологическая схема бескрубберной промывочной установки для переработки высокоглинистых песков и обогащения тяжелых минералов, состоящая из новых, конструкции ИГДС СО РАН, аппаратов дезинтеграции и классификации (АДК), гравитационного разделения на крутонаклонном (КНК) и центробежно-вибрационном (ЦВК) концентраторах, и установлено, что наилучшие показатели извлечения тяжёлых минералов крупностью -3 мм (до 70%) достигаются при производительности по твёрдому 120 кг/ч [12].

В лаборатории комплексного использования углей экспериментальными исследованиями установлены закономерности изменения сорбционной активности получаемых сорбентов в зависимости от различных способов подготовки бурого угля (кислотно-щелочное воздействие, термовыщелачивание и механоактивация) при щелочной активации. Показано, что наиболее эффективным способом подготовки является применение механоактивации после термовыщелачивания, что увеличивает сорбцию на 6,0 – 28,7% в сравнении с результатами щелочной активации без проведения дополнительной подготовки углесодержащего сырья. В качестве способа подготовки бурого угля при получении сорбентов методом щелочной активации были исследованы: кислотно-щелочное воздействие, термовыщелачивание и механоактивация. Влияние способов подготовки оценивалось как отдельно, так и в различных комбинациях друг с другом. В качестве исходного сырья для исследований был использован хангорский бурый уголь марки Б2. Полученные в результате экспериментов данные показали, что кислотно-щелочное воздействие (обработка окисляющими веществами) не дала значимого эффекта (кроме обработки гидроперитом). Термовыщелачивание (предварительный нагрев и выдержка при температуре 160 °С смеси угля со щелочью) показала результаты, сопоставимые с полученными ранее результатами химической активации бурого угля, с закономерностью увеличения сорбции с увеличением количества щелочи в смеси. Однако применение термовыщелачивания в комбинации с последующей механоактивацией (механическое измельчение смеси угля с щелочью) дает увеличение сорбции на 6,0 – 28,7 % в сравнении с результатами щелочной активации без проведения дополнительной подготовки угле-

содержащего сырья. При этом большее увеличение сорбции получено в экспериментах с меньшим содержанием щелочи в смеси с углем (1:0,5) [13].

Выводы

В условиях интенсивного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Востока и Северо-Востока РФ, которые в основном расположены в зоне распространения многолетнемерзлых горных пород и удалены от перерабатывающих производств и потенциальных потребителей минерально-сырьевых ресурсов, требуется приложение максимальных усилий горной науки и практики в решении задач, максимально учитывающих специфические особенности физико-географической и геологической среды эксплуатации месторождений

региона. Представленные новые результаты исследований учёных института горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН за 2020 год являются заключительными в рамках выполнения Программы ФНИ СО РАН № IX.132.5.1. Приведенные выше результаты и результаты исследований предыдущих лет [1, 6] направлены на повышение эффективности разработки месторождений криолитозоны за счет достижения высокого качества конечных продуктов, максимально возможного извлечения полезных ископаемых из недр и снижения непроизводительных затрат при разведке, добыче и глубокой переработке минерального сырья. Многие из них реализованы либо успешно апробированы на практике горного производства в сложных условиях разработки месторождений Севера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ткач С. М.* Геомеханические и технологические особенности освоения месторождений твердых полезных ископаемых севера России // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* — 2020. — Т. 7. — № 1. — С. 149. — 154.
2. *LaRoche-Boisvert M., Dimitrakopoulos, R., and Ferland, J. A.* (2021) Simultaneous production scheduling and transportation optimization from mines to port under uncertain material supply. *Resources Policy*, 73:102150. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102150
3. *Ajaka A. D., Lilford E., Topal E.* Application of predictive data mining to create mine plan flexibility in the face of geological uncertainty. *Resources Policy*, 55 (2018), pp. 62–79, DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.10.016
4. *Gilani S. O., Sattarvand J.* Integrating geological uncertainty in long-term open pit mine production planning by ant colony optimization // *Comput. Geosci.*, 87 (2016), pp. 31–40, 10.1016/j.cageo.2015.11.008
5. *Barnewold, Lars, Lottermoser, Bernd G.* Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry // *International journal of mining science and technology.* Volume 30. Issue 6. Pages 747–757. — DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.003
6. *Ткач С. М.* 35 лет работы Института горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН в решении проблем освоения недр криолитозоны // *Горный журнал.* — 2015. — № 4. — С. 4–9].
7. *Батугина Н. С., Ткач С. М., Хоутанов Е. А.* Оценка точности расчета минимально-промышленного содержания золота в россыпных месторождениях // *Горный журнал.* — 2020. — № 12. — С. 45–48. — DOI: 10.17580/gzh.2020.12.09
8. *Kulyandin G. A., Fedorova L. L.* Improvement GPR research of dredged polygons using the angular scanning technique / G. A. Kulyandin, L. L. Fedorova // *Conference Proceedings: «Engineering and Mining Geophysics 2020»* — Perm, September 2020 — Volume 2020. — 5 p. — URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202051142>. DOI:10.3997/2214-4609.202051168.

9. Alekseev K. and Kurilko A. Strength characteristics of fiber-reinforced light shotcrete 01020. Trudy VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020), DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201020>

10. Каймонов М. В., Киселёв В. В. Способ кучного выщелачивания золота из галеефельных отвалов первичной переработки золотосодержащих песков россыпных шахт криолитозоны в условиях отрицательных температур // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России»: материалы X Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием (г. Якутск, 08–10 апр. 2020 г.). — Якутск : Издательский дом СВФУ, 2020. — С. 567–572.

11. Kurilko A., Solovev D. Temperature conditions in the ventilation shaft lining and the space behind lining when reversing the main ventilation unit in winter / VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020), DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201018>, E3S Web Conf., Volume 192, 2020.

12. Shirman G., Matveyev A., Eremeyeva N., Matveyev I., Ochosov O. Experimental studies on the disintegration of high-clay sands and the enrichment of heavy minerals in an experimental scrubber-free washing plant 02008. Trudy VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020), Khabarovsk, Russian Federation, September 8–10, 2020 / 02008. Published online: 30 September 2020 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019202008>.

13. Vorsina E., Moskalenko T., Mikheev V., Bilen M. Research of efficiency of lignite chemical modification and steam-gas activation combining for sorbents preparation 02025. Trudy VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020), Khabarovsk, Russian Federation, September 8–10, 2020 / 02025. Published online: 30 September 2020 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019202025>. **PLAAS**

REFERENCES

1. Tkach S. M. Geomechanical and technological features of development of solid mineral deposits of the North of Russia. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk*. 2020, vol. 7, no. 1, pp. 149–154. [In Russ]

2. LaRoche-Boisvert, M., Dimitrakopoulos, R., and Ferland, J. A. (2021) Simultaneous production scheduling and transportation optimization from mines to port under uncertain material supply. *Resources Policy*, 73:102150. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102150

3. Ajaka A. D., Lilford E., Topal E. Application of predictive data mining to create mine plan flexibility in the face of geological uncertainty. *Resources Policy*, 55 (2018), pp. 62–79, DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.10.016.

4. Gilani S. O., Sattarvand J. Integrating geological uncertainty in long-term open pit mine production planning by ant colony optimization. *Comput. Geosci.*, 87 (2016), pp. 31–40, 10.1016/j.cageo.2015.11.008

5. Barnewold, Lars, Lottermoser, Bernd G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International journal of mining science and technology*. Volume 30. Issue 6. Pages 747–757. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.003.

6. Tkach S. M. Chersky Institute of Mining of the North SB RAS 35 years of operation in the area of permafrost zone development. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no. 4, pp. 4–9. [In Russ].

7. Batugina N. S., Tkach S. M., Khoyutanov E. A. Assessment of computational accuracy of minimum commercial value for gold placers. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 12, pp. 45–48. [In Russ].

8. Kulyandin G. A., Fedorova L. L. Improvement GPR research of dredged polygons using the angular scanning technique. *Conference Proceedings: «Engineering and Mining Geophysics 2020» Perm, September 2020 Volume 2020*. 5 p. DOI:10.3997/2214-4609.202051168.

9. Alekseev K. and Kurilko A. Strength characteristics of fiber-reinforced light shotcrete 01020. *Trudy VIII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources"* (PCDG 2020), DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201020>

10. Kajmonov M. V., Kiselyov V. V. *Sposob kuchnogo vyshchelachivaniya zolota iz gale-efel'nyh otvalov pervichnoj pererabotki zolotosoderzhashchih peskov ros-sypnyh shaht kriolitozony v usloviyah otricatel'nyh temperature* [A method for the heap leaching of gold from hale-effluent heaps for the primary processing of red-sand-containing gold-bearing silos in negative-temperature conditions], *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii. materialy X Vseros. nauch.-prakt. konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Yakutsk, Izdatel'skij dom SVFU, 2020, pp. 567 – 572.

11. Kurilko A., Solovev D. Temperature conditions in the ventilation shaft lining and the space behind lining when reversing the main ventilation unit in winter. *VIII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources"* (PCDG 2020), DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201018>, E3S Web Conf., Volume 192, 2020.

12. Shirman G., Matveyev A., Eremeyeva N., Matveyev I., Ochosov O. Experimental studies on the disintegration of high-clay sands and the enrichment of heavy minerals in an experimental scrubber-free washing plant 02008. *Trudy VIII International Scientific Conference "Problems of Complex Development of Georesources"* (PCDG 2020), Khabarovsk, Russian Federation, September 8 – 10, 2020. 02008. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019202008>.

13. Vorsina E., Moskalenko T., Mikheev V., Bilen M. Research of efficiency of lignite chemical modification and steam-gas activation combining for sorbents preparation 02025. *Trudy VIII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesources»* (PCDG 2020), Khabarovsk, Russian Federation, September 8 – 10, 2020. 02025. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019202025>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ткач Сергей Михайлович – докт. техн. наук, директор Института горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43, tkach@igds.ysn.ru, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tkach S. M., Dr. Sci. (Eng.), Director, tkach@igds.ysn.ru, N. V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, Lenin Ave, 43, tkach@igds.ysn.ru.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 28.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 28.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.

