

Анализ методов подготовки песков при разработке россыпных месторождений

Деннер В. И.^{1*}, Косолапов А. И.¹

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

*e-mail: dennerdirect@gmail.com

Реферат

Введение. Роль разработки россыпных месторождений весьма значительна. Основные проблемы при этом связаны со снижением содержания металла в песках и исчерпанием богатых месторождений. Гранулометрический состав песков смещается в сторону глинистых фракций и более тонкого металла, что усложняет процесс промывки. Это предопределяет необходимость дополнительных затрат на подготовку песков к выемке и их дезинтеграции.

Методика проведения исследования. В статье выполнен анализ методов подготовки пород россыпных месторождений к выемке и предварительного воздействия на пески перед промывкой. Рассмотрены основные факторы, влияющие на их эффективность. Все методы по воздействию на горную породу разделены на две группы.

Результаты исследования. На основе изучения существующей практики применения технологий подготовки выделены характеристики песков, которые влияют на процесс их обогащения. К ним отнесены мерзлотность и водопроницаемость пород. Установлено, что предварительная дезинтеграция песков необходима, когда количество глинистых фракций составляет более 50 %. При предварительной дезинтеграции песков эффективно применение химического воздействия для преодоления капиллярных сил связанной воды с использованием различных реагентов, а также вибрации, создаваемой посредством распространения в песках упругих колебаний ультразвукового спектра частот.

Выводы. При выборе наиболее эффективного метода подготовки песков к выемке и их предварительной дезинтеграции необходимо учитывать конкретные горно-геологические, климатические и технические условия и существующую инфраструктуру.

Ключевые слова: россыпное месторождение; пески; методы подготовки пород; оттаивание; глинистые породы; льдистость; водопроницаемость.

Введение и актуальность исследования. До 1990-х гг. до 80 % золота добывали из россыпей [1]. Затем доля россыпного золота начала сокращаться.

Во-первых, это было обусловлено снижением абсолютных показателей добычи россыпного золота, связанным с изменением структуры предприятий. Во-вторых, резким увеличением добычи золота при разработке коренных месторождений – с 29,7 т в 1991 г. до 214 т в 2021 г. В настоящее время, несмотря на преобладание добычи золота из коренных месторождений, доля металла, извлеченного из россыпных золотоносных месторождений, остается значительной. Данное обстоятельство доказывает актуальность поиска решений с целью повышения эффективности разработки россыпных месторождений.

Постановка проблемы. Большинство обрабатываемых в настоящее время месторождений имеют сложные горно-геологические условия залегания, содержат в добываемых песках мелкое и тонкое золото и большое количество глинистых частиц.

Одним из основных показателей эффективности разработки россыпного месторождения является извлечение полезного компонента, зависящего, при про-

чих равных условиях, от состояния песков, поступающих на обогащение. Процесс подготовки песков к выемке формирует их состояние перед обогащением. На эффективность процесса подготовки оказывают влияние горно-геологические, гидрогеологические, технологические, климатические и технические факторы [2].

Большая часть территории России, на которой разрабатывают россыпные месторождения, находится в зоне сезонного промерзания или в зоне вечной мерзлоты. Это предопределяет необходимость оттаивать породы и защищать их от промерзания.

Используемые методы оттаивания пород можно разделить на две группы: первая – воздействие на открытую поверхность массива (последовательное оттаивание; затемнение поверхности; снегонакопление; затопление полигона в зимний период); вторая – объемное воздействие на мощность массива (игловое гидрооттаивание; фильтрационно-дренажное оттаивание мерзлых пород; дождевально-инфильтрационное гидрооттаивание).

Первая группа. При *последовательном оттаивании* песков периодически удаляют талый слой, обеспечивая доступ к более глубоким слоям. В оттаиваемом слое (контакте литосферы и атмосферы) проходит множество процессов теплопередачи, например конвективный турбулентный теплообмен, проходящий из-за разности температур. Значительную роль играет такой параметр, как водонасыщенность. Это связано с тем, что при испарении 1 г воды поглощается до 2,5 Дж тепла, а при конденсации столько же тепла выделяется. Следовательно, талый слой в некоторой мере снижает эффективность дальнейшего оттаивания. Наблюдения показывают, что скорость углубки при таком методе достигает максимума при сокращении интервалов времени между уборкой талого слоя [3]. Данный метод является наиболее простым и распространенным, главное достоинство – простота, а недостаток – низкая производительность бульдозерной техники на мерзлых породах.

Метод затемнения поверхности основан на физическом принципе поглощения энергии солнца за счет низкой отражательной способности поверхности и направлен на ускорение оттаивания. В то же время слой нанесенного вещества термоизолирует и сохраняет накопленное ранее тепло [3]. Затемняющий материал наносится на участок россыпи путем разбрызгивания и разбрасывания. Промышленное применение такого оттаивания в условиях предприятия «Северовостокзолото» на прииске «Широкий», расположенного вблизи места слияния р. Берелех с ручьем Бургали, позволило получить слой оттаянных пород в 2 раза больше, чем до применения данного метода. Однако для нанесения составов необходимо специальное оборудование, составы также достаточно дорогие. Помимо этого, они требуют подготовленной высушенной поверхности.

Затопление поверхности полигона водой на зиму – относительно простой и дешевый метод защиты полигона от промерзания в зимнее время. Роль термоизолирующего слоя выполняет лед толщиной не менее 0,3 м [2]. Для его осуществления осенью на границах площадей, подлежащих защите, строят водоупорные дамбы и затапливают полигон. При значительной фильтрации воды через дамбу может понадобиться подпитка. Специальное оборудование не требуется, но необходимы дополнительные затраты на сооружение дамб. Эффективность данного метода можно повысить за счет изменения химического состава воды [4]. Для этого в бассейн на разных глубинах нагнетают раствор солей NaCl, CaCl₂ или технической соли магния MgCl₂ · 6H₂O концентрацией 20 %. По результатам проведенных экспериментов и расчетов доказано, что таким способом возможно оттаивание пород на глубину 10–15 м в год. Достоинством метода является большая глуби-

на оттаивания (до 15 м). К недостаткам можно отнести сложность осуществления в промышленных масштабах, высокую стоимость проведения мероприятий, использование химических реагентов, которые могут ухудшить экологическую обстановку.

Вторая группа. *Применение иглового гидрооттаивания* основано на передаче тепла от воды к телу россыпи. Для этого на участке оттаивания удаляют торф, планируют поверхность массива и размечают точки бурения скважин. Затем подводят воду из магистральных труб, проходящих по поверхности, к иглам (трубы диаметром 34–42 мм), которые направлены в глубь массива [5]. Их устанавливают в пробуренные скважины или в заранее оттаявшие места. Возможно бурение скважин непосредственно иглами с буровой короной на конце. Температура воды, подаваемой в скважины, должна превышать 5 °С. Расстояние между иглами принимают в зависимости от конкретных условий [6]. Данный метод очень эффективен для обеспечения равномерности оттаивания, но сложен и дорог при реализации.

Фильтрационно-дренажное оттаивание основано на принципе передачи тепла от воды породам, но в отличие от предыдущего метода вода проникает в массив в результате ее перемещения из более высокого места в более низкое. Для его осуществления необходимо обеспечить питание водой и место ее выхода, расположение в верхней и нижней точке оттаиваемой россыпи, соответственно. Путь от места питания до выхода воды может варьироваться в пределах 20–80 м. Для применения данного метода необходим значительный уклон, породы должны иметь высокую водопроницаемость и низкое содержание глины. Для повышения эффективности данного метода оттаивания проводили исследования на предмет добавления химических реагентов в воду в питающей канаве [7]. В частности, на месторождении, расположенном на Северном Таймыре в долине р. Мамонт, использовали раствор хлорного железа. По результатам исследования установлено, что скорость фильтрационного потока увеличивалась в 2–4 раза. Помимо увеличения скорости оттаивания при определенных условиях возможно создать зоны искусственных сушенцов. По сравнению с предыдущим при использовании рассматриваемого метода не нужно строить сеть водоснабжения, необходимо проводить только работы по строительству канав.

Дождевально-инфильтрационное оттаивание как разновидность предыдущего метода основано на том, что подпитку дренарующих вод осуществляют посредством дождевания. Благодаря этому вода-теплоноситель при взаимодействии с атмосферным воздухом, а также при просачивании сквозь поверхностный слой, насыщенный солнечной радиацией, поднимает свою температуру на 1–2 °С. Для применения данного метода необходимо: среднесуточная температура воздуха больше 0 °С; оттаиваемые породы имеют коэффициент фильтрации не менее 50 м/сут; необходимая инфраструктура соответствует игловому гидрооттаиванию. Для бесперебойной работы насадок необходимо, чтобы используемая для дождевания вода была достаточно чистой (содержание взвесей 0,5 кг/м³) [8]. Этот метод оттаивания по сравнению с игловым гидрооттаиванием дешевле, но обеспечивает меньшую глубину оттаивания.

Экспериментальные методы. Кроме описанных известны методы, находящиеся на уровне экспериментов и полупромышленных испытаний, анализ которых приведен далее.

Для предотвращения промерзания песков в зимний период можно *укрывать поверхность полипропиленовой пленкой, пенопластом*. Данный метод обеспечивает удержание тепла и аккумулялирование его в россыпи в теплое время года.

Для осуществления необходимо спланировать площадку на кровле песков, создать подъезд для доставки материалов (валиков пленки, щитов пенопласта). Экспериментальные работы выполнялись на дражном полигоне ручья Шеркунча, в верхнем течении р. Нижняя Борзя в Забайкальском крае [9], полигоне гидромеханической добычи в притоке р. Антаганчан, Оймяконский район, Республика Якутия. Основным достоинством является простота конструкции, к недостаткам можно отнести стоимость материалов и малый срок службы конструкций [10]. Некой разновидностью предыдущего является метод, при котором роль покрова выполняет снег [5, 11, 12].

Взрывогидравлическое фильтрационно-дренажное оттаивание имеет целью повышение фильтрационных характеристик породы за счет проведения взрывов по траектории, необходимой для фильтрации. За основу берется фильтрационно-дренажный метод, однако при недостаточной водопрпускной способности пород между питающей и дренажной канавой бурят скважины, глубина которых возрастает при приближении к дренажной канаве. При взрывании скважин по траектории дренирования образуется зона меньшей плотности [13]. Данный метод более эффективен по сравнению с фильтрационно-дренажным, но использование взрывчатых веществ значительно усложняет технологию работ.

Нестандартные методы подготовки мерзлых пород включают *электрооттаивание, паровое оттаивание*, характеризующиеся высокими затратами и сложностью исполнения. Про паровое оттаивание можно сказать, что это еще один тип иглового оттаивания, только вместо воды в скважины нагнетают пар температурой 120–130 °С. Тепло при таком методе передается тем лучше, чем выше водопроницаемость породы. Прогрев россыпи проходит в два этапа. Вначале, после монтажа конструкции, в течение 1–3 дней в массив пород подается пар. После завершения подачи пара в течение 5–10 дней происходит перераспределение тепла в массиве и оттаивание остатков мерзлых пород [14]. При электрооттаивании в качестве внутреннего источника тепла используют электрический ток. Подготовка полигона к применению данного метода аналогична предыдущему. Отличие – в оборудовании, необходимо провести линию электропередачи и подготовить трансформаторную подстанцию. Необходимо учитывать, что мерзлые породы имеют достаточно большое электрическое сопротивление [8]. Использование тока влечет за собой проведение дополнительных мероприятий по технике безопасности. Оба метода применяют, когда необходимо быстро произвести оттаивание небольшого участка россыпи.

Методы разупрочнения песков. Выверенные параметры режима оттаивания пород в летнее время позволяют продлить время промывочного сезона. В районах, где влияние вечной мерзлоты значительно снижено и встречается очаговыми проявлениями, ранняя подготовка пород к вскрытию повышает цементацию песков.

Следующие методы подготовки россыпей влияют непосредственно на материал пород, слагающих россыпь, решая проблему дезинтеграции песков с высоким содержанием глины. Пески с высоким содержанием фракции –2 мм относят к весьма труднопромывистым. Решению этой проблемы посвящено множество исследований. Все методы разупрочнения песков делятся на три больших группы: физические; химические и специальные. В группу физических методов авторы [10] включают механические, термические и гидравлические методы. Следует отметить, что данное разделение не учитывает акустические методы воздействия на массив. Группа химических методов разупрочнения включает применение химических реагентов. Группа специальных методов представлена бактериальным воздействием на породу.

Наибольшее распространение на практике получили следующие методы: предварительное водонасыщение песков; внедрение мелких частиц; разрушение струей воды. Известны экспериментальные исследования по воздействию на глинистые пески вибрацией, вакуумом.

Метод внедрения частиц основан на изменении гранулометрического состава песков на этапе выемки за счет введения в них галечной фракции. Наибольший эффект достигается при определенном соотношении размера внедряемых частиц и глинистых агрегатов, а также их масс. Увеличение соотношения массы внедряемой фракции к исходному материалу больше чем 1 : 1 ведет к снижению эффективности дезинтеграции вследствие увеличения расхода энергии [15]. Промышленные испытания подтверждают снижение объема глинистых агрегатов в хвостах на 10 %. Метод обеспечивает снижение налипания песков на технологическое оборудование, а также является экологически безопасным. К недостаткам можно отнести необходимость доставки галечной фракции хвостов к месту выемки песков.

Вода служит основой процесса обогащения при разработке россыпей. Это допускает использование *метода предварительного водонасыщения* песков. При погружении глинистых агрегатов в водную среду происходит гидратация внешних слоев тела окатыша. Это приводит к увеличению объема гидратированной части агрегата. Разница в объемах создает напряжение между внутренним и внешним слоями, что вызывает отрыв гидратированного слоя. Подготовка глинистых песков россыпных месторождений управляемым водонасыщением возможна при значениях естественной влажности меньше максимального содержания связанной воды. На основе проведенных исследований [16] предлагается способ подготовки, включающий выемку песков, их транспортировку на промежуточный склад с оборудованной технологической емкостью для водонасыщения, проведение вторичной выемки и промывки песков. Увеличение эффективности промывки зависит от времени нахождения пород на промежуточном складе. Разновидностью данного метода является проведение водонасыщения в местах залегания песков. Исследования [17, 18] доказывают снижение модуля упругости в 2,1 раза при проведении водонасыщения высокоглинистых песков.

Метод разрядно-импульсного воздействия основан на низкочастотном электрофизическом влиянии на пульпу, которая содержит глинистые конгломераты. Физический смысл метода заключается в формировании зоны растягивающих волн напряжения, которые вызывают колебания пространственной сетки глинистых окатышей с последующим ее разрушением. Многократные волновые процессы в дальнейшем вытесняют жидкую фазу за пределы окатыша, удаляя связанную воду и разрушая конгломерат на отдельности [19]. Расход энергии при этом варьирует от 6 до 9 МДж/м³ в зависимости от пластичности материала, что делает возможным промышленное применение. На предприятии ЗАО ЗДК «Золотая звезда» закрепление разрядно-импульсной установки в бункере гидровашгерда привело к снижению потерь полезного ископаемого на 60 % и повышению эффективности работы гидротранспорта.

Дальнейшее развитие этого метода связано с применением предварительного ультразвукового высокочастотного воздействия на глинистые конгломераты с последующим воздействием электрическими импульсами. Ультразвуковые высокочастотные колебания запускают процесс предварительного инициирования дефектов структуры глинистых окатышей. Известны эксперименты [20], в ходе которых отбирались две группы образцов, первую группу подвергали воздей-

ствию только электрогидроударным разрушением, на образцы второй группы предварительно влияли ультразвуковыми высокочастотными колебаниями. В первом случае разрушение образца происходило в среднем за 10–15 электровзрывов. Энергетические затраты составили 30–50 Дж на образец. Ультразвуковое воздействие интенсивностью 8–10 Вт/см² в течение 1 мин для второй группы образцов привело к сокращению количества электровзрывов на образец до 2–6 в среднем, энергетические затраты при этом снизились в 2 раза. Широкое промышленное применение описанных методов требует дополнительных исследований.

Метод гидродинамической кавитации широко применяется при обогащении песков. Энергия струи воды дезинтегрирует материал при гидравлическом методе разработки. Вместе с тем при промывке песков в барабанных грохотах и в дражных бочках процесс дезинтеграции и классификации сопровождается высоконапорным орошением воды. Одним из нестандартных решений служит применение гидравлических центробежных дезинтеграторов [21]. Оборудование имеет конструкцию, схожую с классической скруббер-бутарой. Основное отличие – это отношение диаметра бочки к ее длине, которое составляет от 2 до 8, тогда как в классических бочках этот параметр принимает значения от 0,2 до 0,3. Глинистый материал в виде гидросмеси под давлением попадает в корпус одновременно через два загрузочных патрубка. Внутри корпуса образуются потоки, направленные навстречу друг другу. По ходу движения потоков установлены специальные лопасти, при встрече с которыми конгломераты разрушаются. В средней части корпуса потоки воздействуют друг на друга. Установка проходила промышленные испытания на фабрике № 5 треста «Якуталмаз». На вход в дезинтегратор поступал нижний продукт скруббер-бутары крупностью –30 мм с содержанием глинистых конгломератов 95 %. На выходе объем окатышей снижался на 55 %. Широкое применение центробежных дезинтеграторов определяет высокий износ корпуса и внутренних лопастей.

Вакуумно-импульсное воздействие – наиболее оригинальный метод дезинтеграции глинистых песков. Для разрушения материал помещают в герметичную камеру, где проводят стремительное изменение давления со 100 до 0,4 кПа. Возникает перепад давления между внешним слоем конгломерата и остальной его частью, что приводит к дроблению породы. При понижении давления ниже значения давления насыщенных паров происходит интенсивное испарение. Испарение влечет за собой резкое снижение температуры, вплоть до замерзания. После чего происходят расширение породы и ее разрушение [22]. Регулируя параметры давления, температуры и скорости изменения давления, можно добиться разной степени разупрочнения. Метод обеспечивает многофакторность воздействия на материал: заморозку, испарение влаги и изменение объема. Сложность промышленного применения данного метода вызвана высокой энергозатратностью и отсутствием вакуумной камеры достаточных размеров.

Выводы. Универсального метода подготовки пород не существует. В каждом случае применение метода зависит от конкретных условий. Основными характеристиками месторождения, влияющими на его выбор, являются горно-геологические и климатические условия. Принятый метод подготовки, во избежание усложнения технологической схемы, должен опираться на существующую инфраструктуру. Перспективные для исследований и внедрения методы связаны с воздействием на материал упругих колебаний ультразвукового спектра в различных средах. Воздействие электроразрядами и вакуумом показывает эффективность только в экспериментальных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якубчук А. С. Российской золотодобыче 30 лет // Вестник золотопромышленника. URL: <https://gold.lprime.ru/reviews/20130315/406870.html> (дата обращения: 27.09.23).
2. Потемкин С. В. Оттайка мерзлых пород. М.: Недра, 1991. 158 с.
3. Лешков В. Г. Теория и практика разработки россыпей многочерпаковыми драгами. М.: Недра, 1980. 345 с.
4. Trimble R. J., Hayley Don W. Permafrost considerations for effective mine site development in the Yukon territory // Mining Environment Research Group Reports. 2004. No. 1. P. 33.
5. Панина Т. Ю., Костромин М. В. Геокриологические проблемы и их решения при разработке россыпных месторождений // Ученые записки ЗабГУ. 2017. Т. 12. № 4. С. 59–72. DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-59-72
6. Перльштейн Г. З., Капранов В. Е., Кузнецов В. С., Курильчик А. Ф., Трушков Ю. Я. Из опыта игловой гидрооттайки на открытой разработке россыпей // Колыма. 1971. № 6. С. 4–6. URL: <https://zolotodb.ru/article/11636> (дата обращения: 27.09.23).
7. Морозов В. Н., Егорова Е. Л., Морозова Н. В. О применении метода конформных преобразований для расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технология. 2010. № 3. С. 396–405.
8. Лешков В. Г. Разработка россыпных месторождений. М.: Горная книга, 2007. 907 с.
9. Субботин Ю. В., Овешников Ю. М., Корешков С. В., Позлутко С. Г. Повышение эффективности дражной разработки россыпи «Средняя Борзя» путем применения нового способа оттайки горных пород // ГИАБ (препринт). 2021. № 1. С. 67–71.
10. Кисляков В. Е., Никитин А. В. Систематика способов разупрочнения глинистых песков при разработке россыпных месторождений // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2009. № 1. С. 13–16.
11. Hans J. V. Use of salt in clay core aids winter dam building // Engineering New-Record. 1953. No. 6. P. 2099–2102.
12. Shuman Horst. Mabnahmen in Tegebauvorfeld und an den Baggerborschungen zur Verbesserung der Winterarbeit Braunkohlenbergban // Neue Bergbautechnik. 1973. No. 11. P. 801–807.
13. Rashkin A. V., Subbotin Yu. V., Avdeev P. V. Thermophysical and ecologo-economical effectiveness of hydraulic-blast and hydro-burst methods of frozen soil thawing // Geocryological problems of construction in Eastern Russia and Northem China. 1998. P. 38–41.
14. Костромин М. В., Юргенсон Г. А., Позлутко С. Г. Проблемы дражной разработки континентальных россыпей. Новосибирск: Наука, 2007. 180 с.
15. Карепанов А. В. Обоснование технологических параметров предварительной подготовки глинистых песков при бульдозерной разработке россыпных месторождений: автореф ... дис. канд. техн. наук. Красноярск, 2006. 21 с.
16. Никитин А. В. Обоснование технологии подготовки глинистых песков россыпных месторождений управляемым водонасыщением: автореф ... дис. канд. техн. наук. Красноярск, 2009. 24 с.
17. Khrunina N. P., Korneeva S. I. Improving mining methods of high-clay deposits of precious metals // Eurasian Mining. 2014. No. 1. P. 15–17.
18. Rukovich A. V., Rochev V. F. Disintegration of frozen clay rocks under the influence of chemical fields and the aquatic environment // Scientific Journal Advances in Current natural Sciences. 2017. No. 5. P. 123–127.
19. Галайко А. В. Обоснование эффективной технологии освоения высокоглинистых золотоносных месторождений центральной Сибири: автореф ... дис. канд. техн. наук. Красноярск, 2006. 23 с.
20. Кочнев В. Г., Грушинская О. В. Дезинтеграция труднопромывистых песков с высокопластичной глиной // Золотодобыча. 2021. № 267. URL: <https://zolotodb.ru/article/12508> (дата обращения: 27.09.23).
21. Усов Г. А., Фролов С. Г., Тарасов Б. Н. Разработка технологии извлечения россыпного микронного золота с использованием диспергирования глинистой составляющей вмещающих пород // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 75–82.
22. Способ вакуумной дезинтеграции золотоносных глинистых пород: пат. 2693586 Рос. Федерация. № 2018138230; заявл. 10.29.2018.; опубл. 07.03.2019. Бюл. № 19. 7 с.

Поступила в редакцию 30 июля 2023 года

Сведения об авторах:

Деннер Виктор Иванович – аспирант кафедры открытых горных работ Сибирского федерального университета. E-mail: dennerdirect@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4616-6893>

Косолапов Александр Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры открытых горных работ Сибирского федерального университета. E-mail: akosolapov@sfu-kras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8251-9679>

Analyzing methods of sand preparation at placer deposit development

Viktor I. Denner¹, Aleksandr I. Kosolapov¹

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Abstract

Introduction. In the course of placer deposit development, the main problems are associated with a fall of metal content in sands and rich deposits depletion. High content of clay and fine metal make them difficult to extract, requiring increased costs for sand disintegration and preparation for excavation.

Methods of research. The article analyzes methods of placer rock preparation for excavation and sands preliminary treatment before washing. The main factors affecting the methods' effectiveness are considered; all the methods are divided into two groups.

Research results. The study of the actual experience of using preparation technologies made it possible to establish the characteristics of sands that affect the process of their beneficiation, namely, the permafrost spread and water permeability. It was found that preliminary disintegration of sands is necessary when the amount of clay fractions exceeds 50%. In the course of sand preliminary disintegration, chemical exposure involving reagents and vibration from the propagation of ultrasonic frequency spectrum elastic vibrations in the sand is effective in order to overcome the capillary forces of bound water.

Conclusions. When choosing the most effective method for preparing sand for excavation and preliminary disintegration, it is important to take into account specific mining, geological, climatic and technical conditions, as well as the existing infrastructure.

Keywords: placer deposit; sands; rock preparation methods; defrosting; clay rocks; ice content; water permeability.

REFERENCES

1. Iakubchuk A. S. Russian gold mining turns 30. *Vestnik zolotopromyshlennika = Gold Producers' Bulletin*. (In Russ.) Available from: <https://gold.1prime.ru/reviews/20130315/406870.html> [Accessed 27 September 2023]
2. Potemkin S. V. *Frozen rock defrosting*. Moscow: Nedra Publishing; 1991. (In Russ.)
3. Leshkov V. G. *Theory and practice of placer mining with bucket dredges*. Moscow: Nedra Publishing; 1980. (In Russ.)
4. Trimble R. J., Hayley Don W. Permafrost considerations for effective mine site development in the Yukon territory. *Mining Environment Research Group Reports*. 2004; 1: 33.
5. Panina T. Iu., Kostromin M. V. Geocryological problems and their solution in the development of placer deposits. *Uchenye zapiski ZabGU = Bulletin of the Transbaikalian State University*. 2017; 12(4): 59–72. (In Russ.) Available from: doi: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-59-72
6. Perlshtein G. Z., Kapranov V. E., Kuznetsov V. S., Kurilchik A. F., Trushkov Iu. Ia. The experience of pin hydrodefrostation at open mining of placers. *Kolyma*. 1971; 6: 4–6. (In Russ.) Available from: <https://zolotodb.ru/article/11636> [Accessed 27 September 2023]
7. Morozov V. N., Egorova E. L., Morozova N. V. On application of method of orthomorphic transformations for calculation of parameters of technology of preparation of artificial sushentsi. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii = Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2010; 3: 396–405. (In Russ.)
8. Leshkov V. G. *Placer deposits mining*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2007. (In Russ.)
9. Subbotin Iu. V., Oveshnikov Iu. M., Koreshkov S. V., Pozlutko S. G. Improving the efficiency of dredging the Sredniaia Borzia placers by using a new method of rock defrosting. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal) (preprint)*. 2021; 1: 67–71. (In Russ.)
10. Kisliakov V. E., Nikitin A. V. Systematics of clay sand softening methods during placer development. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova = Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009; 1: 13–16. (In Russ.)
11. Hans J. B. *Use of salt in clay core aids winter dam building*. Engineering New-Record. 1953; 6: 2099–2102.
12. Shuman Horst. Mabnahmen in Tegebauvorfeld und an den Baggerborschungen zur Verbesserung der Winterarbeit Braunkohlenbergban. *Neue Bergbautechnik*. 1973; 11: 801–807.

13. Rashkin A. V., Subbotin Yu. V., Avdeev P. V. Thermophysical and ecologo-economical effectiveness of hydraulic-blast and hydro-burst methods of frozen soil thawing. *Geocryological problems of construction in Eastern Russia and Northern China*. Yakutsk: SB RAS PUBLISHERS, 1998. P. 38–41. (In Russ.)

14. Kostromin M. V., Iurgenson G. A., Pozlutko S. G. *The problems of continental placers dredging*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 2007. (In Russ.)

15. Karepanov A. V. *Substantiating the technological parameters of clay sand preliminary preparation when mining placers with bulldozers: PhD in Eng. abstract of diss.* Krasnoyarsk; 2006. (In Russ.)

16. Nikitin A. V. *Substantiating the technology of clay sand preparation using controlled water saturation: PhD in Eng. abstract of diff.* Krasnoyarsk; 2009. (In Russ.)

17. Khrunina N. P., Korneeva S. I. Improving mining methods of high-clay deposits of precious metals. *Eurasian mining*. 2014; 1: 15–17.

18. Rukovich A. V., Rochev V. F. Disintegration of frozen clay rocks under the influence of chemical fields and the aquatic environment. *Scientific journal Advances in current natural sciences*. 2017; 5: 123–127.

19. Galaiko A. V. *Substantiating the effective technology of developing gold fields with the high clay content sands in the Central Siberia: PhD in Eng. abstract of diss.* Krasnoyarsk; 2006. (In Russ.)

20. Kochnev V. G., Grushinskaia O. V. Disintegration of hard-to-wash sands with high-plasticity clay. *Zolotodobycha = Gold Mining*. 2021; 267. (In Russ.) Available from: <https://zolotodb.ru/article/12508> [Accessed 27 September 2023].

21. Usov G. A., Frolov S. G., Tarasov B. N. Developing the technology of extracting placer micron sized gold with the use of enclosing rock clay bond dispersion. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 5: 75–82. (In Russ.)

22. Novopashin S. A., Iarygin V. N., Iarygin I. V., Prikhodko V. G., Maltsev V. A. Method of vacuum disintegration of gold-bearing clay rocks: Patent RF no. 2018138230; 2019. (In Russ.)

Received 30 July 2023

Information about the authors:

Viktor I. Denner – PhD student, Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University. E-mail: dennerdirect@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4616-6893>

Aleksandr I. Kosolapov – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Open Pit Mining, Siberian Federal University. E-mail: akosolapov@sfu-kras.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8251-9679>

Для цитирования: Деннер В. И., Косолапов А. И. Анализ методов подготовки песков при разработке россыпных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 6. С. 18–26. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-6-18-26

For citation: Denner V. I., Kosolapov A. I. Analyzing methods of sand preparation at placer deposit development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2023; 6: 18–26 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-6-18-26