

Мерзлотные и эколого-технологические условия золоторудного месторождения «Таборное» (Южная Якутия)



В статье освещен комплекс природных условий крупного месторождения коренного золота «Таборное», находящегося в Олекминском районе юго-западной Якутии. Прослежена история и структура золотодобывающей отрасли республики, технология разработки месторождения, в т.ч. применение новых подходов. Особый акцент сделан на выявлении и решении криоэкологических проблем последствий воздействия на природные среды при отработке месторождения в условиях широкого развития мощных многолетнемерзлых толщ горных пород. Установлен комплекс условий экологически безопасного применения технологии кучного выщелачивания золота.

## Железняк Михаил Николаевич

Директор ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова» СО РАН, д.г.-м.н. <u>fe1956@mail.ru</u>

## Шац Марк Михайлович

Ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова» СО РАН, к.г.н.

mmshatz@mail.ru



# Информационный ресурс для инженеров-изыскателей

Золотодобывающая отрасль Республики Саха (Якутии) – одна из основных для социально-экономического развития региона. В 2019 году ей исполнилось 95 лет.

Недра Якутии уникальны по разнообразию, количеству и качеству полезных ископаемых. По данным «Якутнедра», здесь выявлено 1823 месторождений 58 видов минерального сырья [1]. Наиболее важные — месторождения алмазов (82% запасов России), сурьмы (82%), урана (61%). Также на долю республики приходится 47% разведанных запасов угля, 35% природного газа и нефти Восточной Сибири и Дальнего Востока. При этом более 16 тысяч потенциальных месторождений остаются слабоизученными.

История добычи золота в Якутии берет свое начало в 1924 году, когда золотые крупинки были обнаружены в песке небольшого ручья Незаметный — притока р. Алдан. Затем добыча золота производилась многочисленными предприятиями и артелями государственного треста «Якутзолото». Через несколько лет на ручье возник город Алдан, ставший центром золотой промышленности Якутии.

В недрах Якутии золото залегает в россыпных и рудных месторождениях. Кроме того, оно является попутным компонентом урановых месторождений. За последнее время произошел резкий, на 35% (примерно на 19–25 т.), рост объемов добычи драгоценного металла. На сегодняшний день Якутия занимает в РФ 2–3 места по запасам золота, при этом ее прогнозный потенциал по рудному золоту в осваиваемых геолого-промышленных типах месторождений вдвое превышает разведанные запасы и может быть существенно расширен за счет новых типов месторождений [1]. Одному из таких объектов — золоторудному месторождению «Таборное» и посвящена настоящая публикация. Ведущий геолого-промышленный тип месторождений золота в Якутии — по-прежнему разнообразные россыпи аллювиального типа, отрабатываемые преимущественно открытым, подземным и дражным, реже гидравлическим способами.

В последние годы в связи с резким ростом мировых цен на золото, рентабельность его добычи из россыпей также значительно выросла, что позволило многочисленным старательским артелям эффективно использовать значительный объем разведанных запасов. В качестве резерва для развития добычи золота в Республика Саха (Якутии) рассматриваются рудные месторождения, составляющие около 70% от общего объема разведанных запасов, но обеспечивающие в настоящее время меньше половины ежегодной добычи.

К числу территорий-лидеров в  $PC(\mathfrak{R})$  с 2010 года относится Олекминский район, который увеличил добычу золота за пять лет более чем на 40% [1]. Крупнейшим недропользователем в районе является ООО «Нерюнгри-Металлик» (входит в «Nordgold»), которое осуществляет добычу золота на месторождении Таборное.

Nordgold – международная золотодобывающая компания, основанная в 2007 году, а в 2017 году добывшая 968 тыс. унций золота. Компания владеет десятью действующими рудниками (пятью в России, тремя в Буркина-Фасо, по одному в Гвинее и Казахстане). Nordgold также располагает несколькими перспективными проектами на стадии технико-экономического обоснования и с локализованными ресурсами, а также широким портфелем геологоразведочных проектов и лицензий в Буркина-Фасо, России, Французской Гвиане и Канаде. Численность персонала Nordgold составляет более 8 000 человек.

Основная цель настоящей публикации – показать криоэкологические условия золоторудного месторождения «Таборное», одного из крупнейших в Олекминском районе, на современном этапе его активного освоения.



# Природные условия района освоения

Месторождение коренного золота «Таборное» находится в Олекминском районе РС(Я), на востоке Олекмо-Чарского нагорья, в субширотной Южно-Угуйской золотоносной зоне, проходящей вдоль южного борта Угуйского грабена. Южно-Угуйский рудный район расположен на стыке Угуйского грабена, выполненного нижнепротерозойскими терригенно-осадочным породами, и фундамента, сложенного архейскими гранито-гнейсами [8–10]. С запада район ограничен субмеридиональной зоной Токкинского долгоживущего разлома, с востока — Чоруодинской зоной разломов, в юго-западной части — Угуйским грабеном, выполненным нижнепротерозойскими красноцветными терригенно-осадочными породами. Южная граница района проводится по Южно-Угуйскому поддвигу, северная совпадает с границами Богодиктинского необлока.

Рельеф плато среднегорный, расчленённый, с плоскими водоразделами и врезанными речными долинами, склонами крутизной до 25–30°, с абсолютными отметками водораздельных поверхностей до 1400 м и относительными повышениями 300–400 м. Нижние части склонов, а также выровненные водораздельные поверхности на высотах до 1200 м большей частью задернованы, покрыты густыми зарослями кедрового стланика. Выше склоны покрыты делювиальными осыпями плитчатых глыб и обломков песчаников. Коренные выходы обнажаются редко, преимущественно в бортах глубоко врезанных мелких водотоков.

В правом склоне руч. Таборный, в его нижнем и среднем течении, выход наклонного рудного тела на дневную поверхность перекрыт делювиальными отложениями мощностью 3—4 м. В днище долины ручья развиты валунно-галечные ледниковые и песчано-галечные аллювиальные отложения, мощность которых достигает 7 м [9,17].

Ручей Таборный является правым притоком ручья Тёмный. Русла обоих ручьёв сухие, наполняются водой только во время снеготаяния и затяжных дождей. Речная сеть относится к бассейну рр. Токко и Чоруода. Долины ручьёв дренирующие, обычно широкие, хорошо разработанные, с корытообразными поперечными сечениями. Русла ручьёв в их среднем и нижнем течении достигают ширины 20–30 м. Большую часть года ручьи безводны.

Климат резко континентальный, холодный. Среднегодовая температура воздуха около - 8.0°С, в январе достигает -45°С, в июле – 35°С. Среднегодовое количество осадков составляет 350–400 мм, их большая часть выпадает в теплый период года.

По данным гидрогеологических и криолитологических исследований, многолетнемёрзлые породы в районе работ характеризуются практически повсеместным развитием до глубины 300–400 м. Мощность деятельного слоя на склонах и водоразделах 1–3 м, на маристых участках 0,2–0,4 м [2,6,14].

Среднегодовые температуры пород на участке месторождения варьируют в широком диапазоне: от -5.0...-5.5 °C на водораздельных поверхностях на высоте 1300-1400 м до 1.0; 2.0 °C в долинах местных водотоков на высоте 1100-1200 м. При этом различия температур пород в пределах борта одной долины при сравнительно небольшом перепаде высот порядка 200-300 м может достигать 6-7 °C.

В днищах речных долин установлено широкое развитие талых пород с температурой от 0 до  $1.5\,^{\circ}$ С, приуроченных к участкам развития грубообломочных аллювиальных и ледниковых отложений, шириной более  $500–800\,\rm M$ . При этом в днищах долин на участках первой надпойменной террасы с развитым моховым напочвенным покровом развиты



ММП. Участки талых пород в долинах, судя по их морфологии, могут представлять сквозные талики.



Рис. 1. Отвал извлеченной руды. Фото с электронного ресурса [7]

Сочетание всех рассмотренных выше факторов природной среды обусловливает сложный характер геокриологической обстановки района исследований. Среднегодовая температура пород на подошве слоя годовых теплооборотов на территории Южно-Угуйской золотоносной площади изменяется от положительных значений до весьма низких отрицательных (—4...—6 °C и ниже) [6]. Общей закономерностью является понижение температуры пород от днищ долин к водораздельным участкам при наличии тех или иных локальных отклонений от этой тенденции. Характер распределения среднегодовой температуры пород в специфических природных условиях исследованной территории до настоящего времени был практически не изучен.

Такие значительные отличия температур пород на рассматриваемой территории можно отнести к влиянию напочвенных покровов и, в первую очередь, характеру снегонакопления. Так, высота снежного покрова до 0.4—0.5 м на оголенной поверхности пород является критической для возможности формирования ММП [2]. При наличии напочвенного растительного покрова как дополнительного слоя теплоизоляции, отепляющее воздействие снега при прочих равных условиях заметно уменьшается. В результате на всем участке месторождения, за исключением днищ долин водотоков, развиты сплошные по площади ММП, без всяких признаков наличия водораздельных и склоновых таликов. Непосредственные данные о мощности ММП в пределах территории



# Информационный ресурс для инженеров-изыскателей

отсутствуют – ни одна горная выработка не вскрыла мерзлую толщу горных пород на всю их мощность.

В свете основной цели статьи, значительное внимание уделено авторами криогенным процессам и явлениям – наиболее значительным криоэкологическим последствиям отработки месторождения [2,17].

Пучение отмечается главным образом на пологих днищах местных депрессией и у подножий склонов в пределах развития торфяников. Здесь формируются бугры высотой 0.2—0.3, реже до 1.5 м, сложенные сильно льдистыми оторфованными суглинками. При массовом развитии бугров формируются участки с кочковатым микрорельефом. При их освоении интенсивность пучения может резко возрасти, поэтому при проектировании подобная возможность должна быть учтена.

Морозобойное трещинообразование наблюдается на выположенных склонах и выпуклых поверхностях водоразделов. Ширина морозобойных трещин обычно составляет 5–10 см, а глубина проникновения до 2.5 м и более (весь слой сезонного оттаивания). В плане морозобойные трещины формируют полигоны до 15 м в поперечнике.

Термокарст и термоэрозия наиболее широко развиты на участках, сложенных мерзлыми сильнольдистыми отложениями, слагающими поймы, а также низкие надпойменные террасы. В отдельных случаях следы термокарста фиксируются также в днищах временных водотоков и на водораздельных марях. Преобладают формирующиеся в результате вытаивания сегрегационных льдов местные понижения и провалы, часто занятые травяными болотами. Их размеры в поперечнике – от нескольких до сотни метров и более, глубина составляет 0.5–1 м.

Наряду с охарактеризованным выше молодым термокарстом в районе зафиксированы и его древние генерации в виде озерных котловин, которые иногда соединяются протоками и образуют систему озер-четок. В результате хозяйственного освоения, связанного с уничтожением растительного покрова, повышается температура и растет глубина сезонного протаивания грунтов. Это приводит к резкой активизации термокарста, проявляющейся в возрастании как скорости процесса, так и в увеличении размеров образуемых форм.





Рис. 2. Площадки кучного выщелачивания. Фото с электронного ресурса [7]

Наледеобразование в районе ограничено. Отдельные небольшие наледи площадью в первые сотни квадратных метров отмечаются в днищах речных долин и у подножий склонов южных и западных экспозиций. При этом лед имеет толщину не более 0.5 м и, как правило, к началу июля он стаивает.

Наряду с собственно криогенными, в районе месторождения широко развит разнообразный комплекс экзогенных геологических процессов. Среди них преобладают два основных генетических типа: эрозионно-денудационные и аккумулятивные. Процессы эрозионно-денудационного типа развиты на водораздельных пространствах и склонах. При этом возможно образование форм под влиянием либо одного процесса, либо их сочетания. В результате для района месторождения характерны следующие формы, обусловленные воздействием поверхностных и подземных вод: ложбины стока, оползни, проявления боковой и овражной эрозии, промоины. Наиболее широко они развиты на пологих (3–5°) склонах, сложенных суглинками, в местах нарушения целостности почвенного покрова. Наиболее проблемно для территории описанное выше широкое развитие карста.

Процессы аккумулятивного типа на рассматриваемой территории имеют субаквальный генезис, т.е. происходят на суше. Охватывают они главным образом понижения различного происхождения – синеклизы, прогибы, впадины.

В летний период на склонах и у их подножий встречаются выходы надмерзлотных вод в виде источников [2,4,9,10].



## История и технология разработки месторождения

Месторождение Таборное было открыто в 1976 г., затем оно разведывалось, причем наиболее активно с 1995 г. ГГП «Южякутгеология», а в дальнейшем АК «Золото Нерюнгри» [1]. В 90-е годы была проведена предварительная оценка объекта, после чего он был переведен в разряд месторождений с общими запасами в 27 тонн золота. В 2006 г. лицензию на разработку месторождения получило ООО «Нерюнгри-Металлик» и в том же году приступило к его промышленному освоению. Месторождение в то время отрабатывалось открытым способом без проведения буровзрывных работ, переработка руд осуществлялась методом кучного выщелачивания. Запасы месторождения Таборное по категориям  $C_1+C_2$  при бортовом содержании 0,7 г/т составляют 27 т золота. Среднее содержание в руде колеблется от 1,0 до 1,3 г/т, а извлечение золота – от 63% до 73%. Оставшиеся запасы и прогнозные ресурсы – около 10 т.



Рис. 3. Площадки кучного выщелачивания. Фото с электронного ресурса [7]

С 2002 года начата опытно-промышленная отработка, которая в то время осуществлялась в маленьком карьере, механическим способом «на рыхление» горной массы, еще без применения буровзрывных работ. В настоящее время масштабы отработки гораздо значительнее — на руднике добывается и перерабатывается до 3,5 млн тонн золотосодержащей руды (рис.1) и выпускается до 2–2,5 тонн аффинированного золота в год. А всего за период с 2002 по 2019 год здесь уже произвели более 30 тонн золота. При освоении месторождения созданы и запущены опытно-промышленные установки по кучному выщелачиванию (КВ) (рис.2–4). Ранее проведёнными разведочными работами





определена рентабельность разработки месторождения «Таборное» и оно рекомендовано для проведения дальнейших разведочных работ. В процессе их проведения отрабатываются основные параметры технологии этого способа добычи. Ранее проведенными работами выявлено два рудных тела [17]:

- Первое имеет в плане линзовидно-пластообразную форму, субширотное простирание, меняющееся к востоку на северо-восточное, протяжённость его свыше 1200 м, а максимальная видимая мощность 100—110 м;
- Второе расположено в юго-восточной части месторождения и представляет собой линзу северо-восточного простирания, лежащую с уклоном на юго-восток под углом 35–40°.

Выбор способа переработки руды обусловлен разработанным институтом «Иргиредмет» в 1998 году технологическим регламентом переработки руды месторождения «Таборное» методом КВ. Площадка КВ расположена в долине руч. Темный, ее абсолютные отметки составляют 1075–1090 м (рис.3).

Подготовка руд и пород к выемке производится с помощью буровзрывных работ. Бурение взрывных скважин производится станками AtlasCopco DM-45HP. В карьере на выкучивании горной массы работают бульдозеры марки Komatsu D-375A, Komatsu D-475A, Cat D-10. Погрузка горной массы осуществляется погрузчиком Komatsu WA-600 и экскаваторами Komatsu PC-3000, PC-1250, PC-750. Автосамосвалами БелАЗ-7540, БелАЗ-7555, Komatsu HD-785 руда вывозится на дробильно-сортировочный комплекс, вскрыша — на внешние отвалы и отсыпку дорог [17].

Добытую руду в карьере помещают на дробильно-сортировочный комплекс, где она измельчается и отправляется для укладки в штабель. Для получения золота необходимо пройти через процесс кучного выщелачивания, когда руда измельчается до технологически оптимальной фракции, выкладывается в виде кучи на геомембрану, которая служит как дренажная система от потери раствора и для защиты окружающей среды.

Технологический процесс переработки руды включает в себя дробление, укладку в рудный штабель, орошение выщелачивающими растворами, осаждение золота и серебра на активированный уголь. Затем золото и серебро с помощью десорбирующего раствора (процесс десорбции) снимают с угля и осаждают на катоды электролизера. В плавильном отделении из золотосодержащего катодного осадка и получают финальный продукт — слитки золота лигатурного — «сплав Дорэ» [17].

Для подготовки основания рудного штабеля убран растительный слой, выровнена площадка с уклоном около 3°. На нее послойно с укаткой укладывается слой глины толщиной 0,5 м. Далее на глиняный слой склеиванием или сваркой укладывается полиэтиленовая пленка толщиной 0,8 мм. Поверх нее отсыпается защитный слой из песчаного материала толщиной 30 см. На защитный слой укладываются дренажные трубы, укрывающиеся гравийным слоем толщиной 15–20 см. В случае использования гидроизоляционного основания в качестве площадки многоразового использования дренажный гравийный слой отсыпается толщиной 50 см, а поверх него укладывается руда. Оросительная система монтируется после отсыпки рудного штабеля. По ней осуществляется распределение технологических цианистых растворов по поверхности и откосам кучи. Процесс кучного выщелачивания цианистыми растворами протекает в течение не менее 80 суток. В течение определенного по технологии времени и содержания куча орошается раствором цианида натрия с целью растворения золота в жидкую фазу. После этого раствор поступает в специальные сорбционные колонны, в которых золото



осаждается, а регенерированный раствор вновь отправляется на кучу.

Сорбцию золота из продуктивных растворов КВ проводят в четырех колоннах. Хвостами кучного выщелачивания являются отработанный рудный штабель и обеззолоченные технологические растворы, содержащие токсичные вещества [17]. Обезвреживание, как рудного штабеля, так и обеззолоченных растворов, производится методом хлорирования, что позволяет полностью окислить токсичные цианиды и тиоцианаты, а также вывести из жидкой фазы металлы цианидных комплексов (медь, цинк) в виде гидрооксидных соединений.

#### Использование новых технологий

При отработке месторождения все шире используются новые высокоэффективные горнодобывающие технологии [5,8,11,12,15].

Основоположником цианистого процесса извлечения благородных металлов считают русского химика П.Р. Багратиона, который впервые его изучил и опубликовал в 1843 г. [15]. Последующее осаждение золота и серебра из растворов восстановлением цианистых комплексов цинком было запатентовано в 1888 г. Мак-Артуром и братьями Форрест (США). Гидрометаллургическое производство, основанное на этих переделах, возникло на рубеже XIX и XX столетий, а теперь оно дает преобладающую долю всего золота. Это обусловлено истощением россыпных месторождений крупного золота, преимущественным получением его из руд и недостатками амальгамации.



Рис. 4. Площадки кучного выщелачивания. Фото с электронного ресурса [7]

Первое коммерческое применение этого процесса было осуществлено в конце 60-х годов



компанией «Карлин Голд Майнинг» в северной Неваде. В настоящее время примерно половина мировой добычи золота приходится именно на технологию кучного выщелачивания. Как высокорентабельный и экологически безопасный процесс, оно прочно вошло в практику золотодобычи США, Канады, Австралии, ЮАР, КНР, Мексики, Чили, Португалии и многих других стран. Внедрение этой технологии идет очень быстро и весьма эффективно.

География использования кучного выщелачивания благородных металлов из различного минерального сырья (от сравнительно богатых руд с содержанием золота свыше 3 г/т до лежалых хвостов обогащения и отходов химических производств) простирается от Канады с относительно суровой зимой до Центральной Америки с очень жарким климатом и высоким уровнем выпадения атмосферных осадков. Сроки окупаемости инвестиций в создание промышленных мощностей по добыче золота методом кучного выщелачивания чрезвычайно коротки, для многих горнорудных компаний, использующих кучное выщелачивание, срок окупаемости не превышает одного года. В настоящее время для крупнотоннажных бедных месторождений содержание извлекаемого кучным выщелачиванием золота в рудах может быть 0,65–0,82 г/т, а при больших объемах производства (в несколько млн тонн) – 0,35–0,65 г/т [15].



Рис. 5. Карьер рудника. Фото с электронного ресурса [7]

Процесс переработки руды КВ включает следующие технологические операции: рудоподготовку, которая в зависимости от содержания золота, фильтрационных свойств, гранулометрического и минералогического состава сырья может включать дробление,





грохочение, шихтовку глинистых руд со скальными, окомкование мелких и тонкодисперсных фракций; выбор и подготовку площадки под кучное выщелачивание (снятие плодородного слоя и планировка площадки); подготовку гидроизоляционного основания (отсыпка глины, ее уплотнение, укладка полиэтиленовой пленки, отсыпка дренажного слоя, укладка коллекторов сбора продуктивных растворов); укладку руды в штабель (кучу); орошение рудного штабеля цианидными растворами; собственно выщелачивание золота; дренаж растворов через кучу; накопление золотосодержащих растворов в емкости и их отстаивание; извлечение золота из растворов; плавку осадков (цинковых, катодных); обезвреживание отработанных рудных штабелей (хвостов выщелачивания); рекультивацию отвалов и нарушенных земель.

Многолетняя практика зарубежных предприятий КВ подтверждает их высокую техникоэкономическую эффективность. По сравнению с традиционными фабричными технологиями КВ характеризуется низкими капитальными вложениями и эксплуатационными затратами, меньшим энерго- и водопотреблением, высокой производительностью труда.

Наиболее простым и менее затратным с экономической точки зрения является метод формирования отвала с использованием автосамосвалов и фронтальных погрузчиков, когда нижний слой отсыпается с помощью автосамосвалов с последующим наращиванием штабеля погрузчиком [4].

Минимальное уплотнение руды, обусловленное лишь собственным весом, обеспечивают методы с использованием отвалообразователей или экскаваторов-драглайнов. Эти методы применимы для всех категорий минерального сырья. Бульдозерный способ формирования отвала, когда руда завозится на площадку автосамосвалами, а штабель формируется бульдозером, применим для прочной руды. Для окомкованной руды применим метод с использованием конвейеров и стакеров.

Описанный выше метод КВ относится к категории добывающих, однако при освоении «Таборного» новые технологии используются на гораздо более ранних стадиях разведки. Так, исследования ученых Томского государственного университета (ТГУ) с применением новых методов позволили определить границы крупного проявления золота, обнаруженного в 2017 году на границе месторождений «Таборное» и «Гросс» в Якутии, сообщили ТАСС в пресс-службе вуза [16]. Кстати, золотодобывающие компании в Якутии по итогам 2018 года увеличили объем добычи на 1,2 тонны по сравнению с показателями 2017 года именно благодаря введению в эксплуатацию золотодобычи на упомянутых месторождениях. В 2017 году, по данным ТГУ, на фланге этих объектов обнаружили новое крупное проявление золота, но его границы еще не ясны, а запасы – не посчитаны. Работает данный метод разведки достаточно просто. Объектом изучения геологов ТГУ являются зоны «несогласия» – места, где резко меняется состав горных пород. Здесь многие миллионы лет назад при формировании крупных изверженных провинций (КИП) с толщами пород, образовавшимися благодаря извержениям вулканов и других магматических процессов, происходил интенсивный нагрев земной коры и циркуляция химических растворов, содержащих золото. Они поднимались к поверхности Земли и накапливались на границах гранитов и песчаников, где формировались мощные залежи золота.





Рис. 6. Вид внутри рудника. Фото с электронного ресурса [7]

Также ученые установили связь между возрастом КИП и формированием месторождения. Так, залежи алмазов появились там, где КИП насчитывает около 300 млн лет. Подобную закономерность применительно к месторождениям золота изучают ученые ТГУ, а Алданский щит для них является экспериментальной площадкой. По мнению декана геолого-географического факультета ТГУ Платона Тишина, здесь собирается информация, позволяющая в дальнейшем значительно сократить сроки и территорию поиска новых золотоносных месторождений.

По итогам исследований ученые ТГУ смогут точно определить границы и возможные запасы золота на западе Алданского щита, а в дальнейшем уточнять потенциал сибирских месторождений и находить новые районы, перспективные для добычи ценных минералов, цветных и благородных металлов.

Еще одним примером использования современных технологий на объекте является запуск автоматической системы диспетчеризации «Wenco» [11], представляющий собой комплексную систему мониторинга, состоящую из специального оборудования, в т.ч. компьютеров, на мониторах которых будет виден весь план участка, карьера. Каждый экскаватор, автосамосвал, буровой станок, погрузчик будет оснащен бортовыми комплексами получения, сбора и передачи информации. Именно автоматизированная система диспетчеризации «Wenco» станет ключевым поставщиком оперативной и статистической информации о ведении горных работ и позволит контролировать производственные процессы.

Согласно расчетам, внедрение системы «Wenco» позволит увеличить время использования оборудования на 5%, сократить расход топлива на 1%.



# Криоэкологические проблемы последствий воздействия на природные среды при отработке месторождения

В настоящее время исследования по уменьшению негативного воздействия промышленного производства на окружающую среду приобретают всё большее значение [1,3,12]. В большистве случаев загрязнение био- и геосфер происходят за счет химических веществ, содержащихся в отходах предприятий различных отраслей промышленности. В горнодобывающей и горно-перерабатывающей отраслях промышленности, в частности, при обогащении минерального сырья, охрана окружающей среды представляет собой комплексную систему мероприятий для предотвращения или уменьшения прямого и косвенного воздействия производства на природную среду. Причем техногенное воздействие кучного выщелачивания на объекты окружающей среды проявляется не только в период строительства и эксплуатации предприятий. Учитывая специфику данного метода, при игнорировании реабилитации нарушенной и загрязненной территории негативные факторы техногенного воздействия могут на длительное время после завершения процесса извлечения золота ухудшить состояние окружающей среды в районе предприятия.

Опыт эксплуатации предприятий КВ свидетельствует, что их экологическая безопасность достигается лишь при реализации природоохранных и компенсирующих мероприятий, базирующихся на исследованиях о поведении различных форм цианидов в объектах окружающей среды и разложении этих токсикантов различными средствами [4]. Целесообразность подобных мероприятий для конкретной установки КВ определяется условиями оптимизации параметров техногенных ландшафтных комплексов и их гармоничного сочетания с природными геосистемами. Из значительного числа критериев, регулирующих нормальные экологические взаимоотношения промышленного объекта и природной среды, основным является разработка и внедрение новых схем и способов реабилитации территорий.

Итак, потенциально, технология КВ является экологически опасной, так как она основана на растворении содержащегося в руде золота раствором цианида натрия — высокотоксичного вещества [5]. Процесс растворения идет непосредственно в штабелях руды, отсыпанных на дневной поверхности и орошаемых цианистым раствором. В среднем одно предприятие КВ расходует в год более 100 тонн твердого цианида натрия. Полностью исключить его попадание в окружающую среду не представляется возможным. Причем при достаточно широком применении технологии КВ во всем мире, технология универсальной эффективной защиты окружающей среды для всех природноклиматических условий пока не разработана. Особенно характерна эта ситуация в районах с влажным климатом.

Основной опыт реализации технологии КВ в мире накоплен для районов с жарким, часто аридным климатом (Мексика, Бразилия, Аризона, Австралия, Гана), хотя имеются и отдельные примеры успешного с технологической точки зрения применения КВ в районах с умеренным и даже холодным климатом. Именно к таким территориям и относится район месторождения «Таборное».

К числу особенностей природоохранной стратегии следует отнести следующие основные [11]:

1. Особенности технологии КВ золота не позволяют сократить количество формирующихся токсичных отходов по отношению к количеству перерабатываемой руды;



- 2. Отчуждение земель при использовании KB золота уменьшается на 30–40% по сравнению с традиционной схемой «добыча обогащение руды на фабрике;
- 3. Воздействие технологии КВ золота на окружающую среду выражается в загрязнении атмосферного воздуха цианистым водородом и определяется такими технологическими параметрами, как рН и температура выщелачивающих растворов, высота и площадь выщелачиваемого рудного штабеля.

При любых природных условиях, экологически безопасное применение технологии КВ золота возможно при следующих обязательных условиях [9]:

- 1. Проведение постоянного контроля и определение составляющих материального баланса цианидов для выявления основных источников загрязнения окружающей среды: а) потеря цианидов за счет выделения HCN в атмосферный воздух; б) потеря цианидов за счет инфильтрации через основание:
- 2. При накоплении дополнительного объема влаги в системе КВ вследствие превышения количества осадков над испарением, применение технология КВ золота должно осуществляться при условии увеличения объема растворосборников не менее чем на 20% по отношению к объему цианистых растворов, единовременно находящихся в системе КВ, либо сброса части обеззолоченных растворов в гидросферу;
- 3. В связи с преобладанием летних температур выше 5 °С для предотвращения образования и накопления отходов первого класса токсичности и неконтролируемого поступления цианидов в окружающую среду, детоксификацию отработанных рудных штабелей следует осуществлять немедленно после завершения процесса выщелачивания;
- 4. Детоксификация отработанных растворов должна предусматривать их очистку как от цианидов, так и от ионов тяжелых металлов;
- 5. Анализ влияния предприятия KB золота на окружающую среду, выполненный по комплексному показателю экологической безопасности, позволяет выявить наиболее незащищенные объекты окружающей среды и определить значения технологических параметров процесса выщелачивания, при которых степень воздействия на окружающую среду минимальна;
- 6. Анализ фактически осуществляемой природоохранной деятельности предприятием должен включать оценку степени выполнения и эффективности природоохранных мероприятий по охране атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, в сфере обращения с отходами.

Сопоставление результатов работ действующих предприятий на месторождениях «Майское» и «Чазы-Голд» (Хакассия), взятых в качестве аналогов, с «Таборным» позволяет сделать вывод о том, что степень воздействия на последнем в настоящее время может быть оценена как умеренная с последующим ростом [17]. В частности, воздействие на атмосферный воздух ограничено расстоянием 500 метров от границ промышленных площадок. Это положение обусловлено следующими причинами [9]:

- все источники выбросов загрязняющих веществ при эксплуатации производства являются низкими (приземными);
- все площадки между собой разделены лесным массивом, а по данным Новосибирского института охраны атмосферного воздуха, лесозащитная полоса шириной 100 метров снижает концентрации в приземном слое до 70% пыли и до 50% вредных газообразных веществ.

Используемая технология ограничивает возможность аварийных выбросов в атмосферу. Залповыми выбросами являются в основном взрывные работы.



# Информационный ресурс для инженеров-изыскателей

Отработка месторождения связана с комплексным воздействием на все природные среды. В первую очередь страдают поверхностные геосистемы и особенно наглядно это происходит при создании и эксплуатации карьера (рис.5,6). Основные выбросы в атмосферу связаны со следующим горнотранспортным, технологическим оборудованием и установками: карьер; склад исходной руды; площадка дробильно-сортировочного комплекса; площадка кучного выщелачивания; ремонтно-профилактическая площадка; вахтовый поселок при печном отоплении.

Дополнительно в районе в атмосферу при эксплуатации участка раздельной россыпной золотодобычи выбрасываются вредные вещества. Состав ингредиентов выбросов такой же, как при эксплуатации карьера.

В то же время, необходимо учитывать возможность аварийных ситуаций, при которых степень негативных последствий наверняка возрастет и может достигнуть высокого уровня, нарушающего устойчивость геосистем района [17].

В целом, категория «Таборного» по степени последствий разработки – умеренно опасный, при возникновении аварийных ситуаций – опасный, а при сочетании неблагоприятных условий – особо опасный.

#### Заключение

Месторождения золота расположены достаточно широко, имеются на территории более ста стран на всех континентах и встречаются в самых разнообразных геологических обстановках.

Золотодобывающая отрасль Республики Саха Якутия (РС (Я) – одна из основных для социально-экономического развития региона и берет свое начало в 1924 году. В недрах Якутии золото залегает в россыпных и рудных месторождениях, кроме того, оно – попутный компонент урановых месторождений. За последнее время произошел резкий – на 35%, рост объемов добычи драгоценного металла. РС (Я) занимает в РФ 2–3 места по запасам и прогнозным ресурсам золота, а ее потенциал по рудному золоту в осваиваемых геолого-промышленных типах месторождений вдвое превышает разведанные запасы и может быть существенно расширен за счет новых типов месторождений.

Район расположения месторождения «Таборное» характеризуется сложными и разнообразными природными условиями, последствия его разработки связаны с комплексным воздействием на них.

Потенциально технология КВ является экологически опасной, так как она основана на растворении содержащегося в руде золота раствором цианида натрия — высокотоксичного вещества. Процесс растворения идет непосредственно в штабелях руды, отсыпанных на дневной поверхности и орошаемых цианистым раствором. В среднем одно предприятие КВ расходует в год более 100 тонн твердого цианида натрия. Полностью исключить его попадание в окружающую среду не представляется возможным, но при достаточно широком применении технологии КВ во всем мире, технология универсальной эффективной защиты окружающей среды для всех природно-климатических условий пока не разработана.

С учетом особенностей КВ для конкретного сырьевого объекта в районе сооружения добывающих и перерабатывающих мощностей необходимо осуществлять мониторинг окружающей среды по двум основным направлениям: охрана воздушного бассейна и охрана поверхностных и грунтовых вод. Перед строительством промплощадки плодородный почвенно-растительный слой необходимо заскладировать в спецотвалы.



После отработки рудного штабеля и его обезвреживания производится сглаживание углов естественного откоса, покрытие плодородным слоем почвы, а на него отсыпается ранее заскладированный в спецотвалы почвенно-растительный покров.

Опыт эксплуатации «Таборного» на базе метода КВ свидетельствует, что экологическая безопасность достигается лишь при реализации природоохранных и компенсирующих мероприятий, базирующихся на исследованиях о поведении различных форм цианидов в объектах окружающей среды и разложении этих токсикантов различными средствами. Целесообразность подобных мероприятий для конкретной установки КВ определяется условиями оптимизации параметров техногенно-ландшафтных комплексов и их гармоничного сочетания с природными геосистемами. Из значительного числа критериев, регулирующих нормальные экологические взаимоотношения промышленного объекта и природной среды, основным является разработка и внедрение новых схем и способов реабилитации территорий.

Техногенное воздействие кучного выщелачивания на объекты окружающей среды проявляется не только в период строительства и эксплуатации предприятий. Учитывая специфику метода КВ, при игнорировании реабилитации нарушенной и загрязненной территории негативные факторы техногенного воздействия могут на длительное время после завершения процесса извлечения золота ухудшить состояние окружающей среды в районе предприятия.

В настоящее время в России стремительными темпами идет развитие технологии кучного выщелачивания золота, в том числе из небольших месторождений, бедных и забалансовых руд. Освоение технологии кучного выщелачивания является выгодным вложением капитала в золотодобывающую промышленность.

Цианиды в силу высокой растворимости несут опасность загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и элементами-токсикантами, содержащимися в первичных рудах месторождений. К их числу относятся ртуть, мышьяк, висмут, кадмий и другие [1,3,12]. При использовании метода кучного выщелачивания необходимо использовать специальные технологии, позволяющие соблюсти разумный баланс между эффективностью добычи и возможной сохранностью природной среды. В целом внедрение КВ – один из наиболее действенных методов подъема золотодобычи в России в короткие сроки и с минимальными капитальными затратами.

## Список литературы

- 1. Антонинова Н.Ю. Способ повышения экологической безопасности при реабилитации территорий установок кучного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2010. Источник
- киберЛенинка: https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-povysheniya-ekologicheskoy-bezopasnosti-pri-reabilitatsii-territoriy-ustanovok-kuchnogo-vyschelachivaniya.
- 2. Булдович С.Н., Оспенников Е.Н., Хилимонюк В.З. Феномен геокриологических условий восточной части Олекмо-Чарского нагорья // Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 3, с. 3–17. 3.Волков А.В. Золотое сердце Сибири. Электронный ресурс. URL:
- 4. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Изд-во МГУ, 1989. 414 с.
- 5. Гончар Н. В. Исследование и оценка экологической безопасности кучного выщелачивания золота в условиях Урала. Диссертация на соискание ученой степени





доктора технических наук по специальности 25.00.22, Екатеринбург.2003, с.175.

- 6. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 2005, 227 с.
- 7. Как добывают золото в Якутии. Электронный ресурс. URL: <a href="https://zavodfoto.livejournal.com/5500200.html">https://zavodfoto.livejournal.com/5500200.html</a>. Источник: <a href="https://zavodfoto.livejournal.com/">https://zavodfoto.livejournal.com/</a>. Дата обращения: 23.09.2017.
- 8. Макаров В.Н., Шац М.М. Масштабные изменения среды Якутии связанные с промышленной деятельностью//Наука и образование, 2001. №1. С.109-114.
- 9. Мерзлотные ландшафты Якутии. Новосибирск: ГУГК, 1989. 170 с.
- 10. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. М-б 1:2500000 КГиК СССР, М, 1991, 2л.
- 11. Никифорова И.Н. Комплексная система мониторинга и мероприятия по защите окружающей среды при кучном выщелачивании в условиях влияния горнодобывающего комплекса: На примере геоэкосистемы Мурунтау. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.36. 2002, Екатеринбург. 148 с. 12. Неудачин А.П. Геоэкологические проблемы цианидного выщелачивания золота. Проблемы и приоритеты // Геоэкология. 2003, №5. С. 44-49.
- 13. Nordgold доверит Wenco слежение за Таборным и Гроссом Электронный ресурс. URL: <a href="https://gold.1prime.ru/news/20190717/323677.html">https://gold.1prime.ru/news/20190717/323677.html</a>. Источник: <a href="https://gold.1prime.ru/">https://gold.1prime.ru/</a>. Дата обращения: 17 Июля 2019
- 14. Оловин Б.А. Влияния азональных факторов на температуру вечномёрзлых грунтов. В кн: Мёрзлые грунты при инженерных воздействиях. Новосибирск: Наука, 1984, с.28-45.
- 15. Татаринов А.П., Гудков С.С., Дементьев В.Е. Основные аспекты технологии кучного выщелачивания из золотосодержащего сырья // Золотодобыча, ОАО «Иргиредмет», 2001, №34, Сентябрь.С.35-41.
- 16. Ученые определят границы крупного месторождения золота в Якутии. Электронный ресурс. URL: <a href="http://www.1sn.ru/232090.html">http://www.1sn.ru/232090.html</a>. Источник: <a href="http://www.1sn.ru/">http://www.1sn.ru/</a>. Дата обращения: 14.05.2018.
- 17. Шац М.М., Галкин А.Ф. База данных №0220611149 «Опасные и потенциально опасные геотехнические объекты Южной Якутии». Электронная база данных. Государственный регистр баз данных РФ. Свидетельство №10443 от 26.06.2006, 108.8 Мв, 7.5 печ. л.