

Кожек Мурат

Советник генерального директора

ООО «Удоканская Медь»

Докторант

ВНЕДРЕНИЕ ПРОЕКТА «КУЧНОЕ БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ НА АКТОГАЙСКОМ ГОК»

Аннотация: В настоящей статье рассматривается внедрение технологии биовыщелачивания на Актогайском ГОК для увеличения извлечения меди из окисленных медных руд. Бактериальное выщелачивание (Биовыщелачивание) - гидрометаллургический процесс извлечения химических элементов или их соединений из руд, концентратов, техногенного сырья с помощью микроорганизмов¹.

Ключевые слова: Горнорудная промышленность, гидрометаллургия, кучное биовыщелачивание, управление проектами.

Kozhek Murat

Advisor to the CEO

Udokan Copper LLC

Doctorant

IMPLEMENTATION OF THE HEAP BIOLEACHING PROJECT AT THE AKTOGAY MINE

Synopsis: This article discusses the implementation of bioleaching technology at the Aktogay mine to increase copper recovery from oxidized copper ores. Bacterial leaching (Bioleaching) is a hydrometallurgical process of extracting chemical elements or their compounds from ores, concentrates, technogenic raw materials with the help of microorganisms¹.

Key words: Mining industry, hydrometallurgy, heap bioleaching, project management.

История Биовыщелачивания². Биовыщелачивание сульфидов металлов в настоящее время является общепринятой технологией, но его история начинается гораздо раньше, чем можно себе представить. В Китае, согласно записям, бактерии использовались для извлечения меди более 2 000 лет назад, в третьем веке до нашей эры. Известно также, что в доримские времена извлекали серебро, а римляне - медь из месторождения минералов, расположенного в провинции Уэльва на юге Испании. Позднее на этом месте был построен знаменитый рудник Рио-Тинто. Река Рио-Тинто (Красная река) получила свое название из-за красного цвета воды, вызванного высокой концентрацией железа. Этот растворенный гидроксид железа возникает в результате естественного воздействия микроорганизмов на сульфидные минералы, которые встречаются в холмах, являющихся источником Рио-Тинто.



Рис.1 Река Рио-Тинто

Введение. Коммерсанты-эксплуататоры меднорудных месторождений, не зная того использовали микроорганизмы на протяжении веков, но только в середине прошлого века их вклад был признан. Это началось с открытия и выделения (из кислотного дренажа угольной шахты) в 1947 году серно- и железooksисляющей бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans* и продолжилось в следующем десятилетии, когда было установлено, что эта бактерия ответственна за ускоренное выщелачивание меди из отвалов пустой породы.

Большинство крупных технологических достижений в этой области произошло за последние 40 лет. К началу 1980-х годов основные гидрометаллургические технологии, такие как экстракция растворителем и электролиз (SX-EW) для извлечения меди, кислотное кучное выщелачивание медно-оксидных руд и т.д. были коммерчески хорошо отработаны. Однако, применение микроорганизмов для кучного, отвального и выщелачивания в естественной среде урановых и медных минералов до сих пор оставалось несколько второстепенным. Роль бактерий в окислительном выщелачивании была признана и изучена, но использование технических возможностей для усиления и контроля бактериальной активности в экстрактивных процессах не было распространено. За последние 40 лет можно выделить несколько основных вех в развитии процессов биовыщелачивания.

Первым из них стала разработка и коммерциализация процесса биовыщелачивания сульфидных концентратов в резервуаре с перемешиванием на золотом руднике Fairview в Южной Африке в 1986 году.

Тонкослойное выщелачивание, при котором измельченная и обработанная кислотой руда укладывается в штабель высотой 2-3 метра, а затем промывается, было впервые применено на медном руднике Ло-Агирре в Чили в 1980 году и считается первым примером кучного биовыщелачивания.

Еще одной важной вехой в развитии кучного биовыщелачивания стало внедрение принудительной аэрации для кучного биовыщелачивания вторичных медных сульфидных руд на медном руднике Гириламбон в Австралии в 1993 году. Кучное биовыщелачивание вторичных сульфидных медных руд практиковалось, в основном в Чили, с 1980 года, но предприятие Girilambone стало первым, где в конструкцию установки была

включена принудительная аэрация. Многие существующие предприятия вскоре последовали этому примеру.

В последние годы применение современных микробиологических методов позволило идентифицировать и понять десятки различных микроорганизмов биовыщелачивания, способных функционировать в широком диапазоне условий, и это остается предметом постоянного развития в данной области. По мере того как растет понимание роли и функций микроорганизмов биовыщелачивания, растет и потенциал использования преимуществ этого микробиологического разнообразия.

Table II
Commercial refractory gold tank bioleaching operations

Plant	Location	Current owner	Current capacity (t/d)	Years of operation
Fairview	Barberton, South Africa	Barberton Mines Limited	65–80	1986-present
São Bento	Brazil	Eldorado Gold Corporation	380	1991-present
Harbour Lights	Western Australia	-	40	1991-1994
Wiluna	Western Australia	Agincourt Resources Limited	158	1993-present
Ashanti	Obuasi, Ghana	AngloGold Ashanti Limited	960	1994-present
Youanmi Deeps	Western Australia	Goldcrest Resources	120	1994-1998
Tamboraque	San Mateo, Peru	Iamgold Corporation and Minera Lizandro Proano SA	60	1998-2003 (restarted 2006)
Beaconsfield	Tasmania, Australia	Beaconsfield Gold NL	70	2000-present
Laizhou	Shandong, PR China	Sino Gold Mining Limited	100	2001-present
Olympiada	Krasnoyarsk, Russia	Polyus Gold	1,000	2001-present
Suzdal	Kazakhstan	Celtic Resources Holdings Limited	196	2005-present
Fosterville	Victoria, Australia	Perseverance Corporation, Limited	211	2005-present
Bogoso	Ghana	Golden Star Resources	820	2006-present
Jinfeng	PR China	Sino Gold Mining Limited & Guizhou Lannigou Gold Mine Limited	790	2006-present
Kokpatas	Uzbekistan	Navoi Mining and Metallurgy	1,069	2008-present

Выше приведён список предприятий, использующих технологию чанового биовыщелачивания тугоплавкого золота. Одними из первых предприятий на территории СНГ, применивших бактериальное выщелачивание, это Олимпиадинское месторождение компании «Полнос», расположенное в Красноярском крае и месторождение Суздаль компании «NordGold», расположенное на востоке Казахстана неподалёку от г. Семей.

Суздальский завод, использующий технологию бактериально-химического окисления Outotec BIOX®, расположенный недалеко от города Семей в Казахстане, показал, что процесс биовыщелачивания может переносить экстремальные и переменчивые климатические условия. Температура на этом заводе может колебаться от 38°C летом до минус

45°C зимой. Несмотря на такие экстремальные климатические условия, завод расположен на открытой местности.

Известно еще одно промышленное применение биовыщелачивания тугоплавкого золота, расположенное на Олимпиадинском руднике в Енисейском районе Красноярского края в Сибири. Рудник принадлежит компании "Полюс", а фабрика по переработке сульфидов состоит из двух отдельных фабрик, включающих измельчение, флотацию и биовыщелачивание, с общей проектной мощностью 8 млн т/год руды. Установки биовыщелачивания перерабатывают около 1 000 тонн в день сложного концентрата, содержащего пирит, пирротин, арсенопирит и стибнит. Предприятие расположено в экстремальных условиях, где зимние температуры достигают около минус 40°C, поэтому завод (включая реакторы биовыщелачивания) находится в здании, изолирующем его от этих суровых условий. На предприятии используется разработанная местными специалистами технология биовыщелачивания, известная как BIONORD.

Table III

Industrial heap bioleaching operations for secondary copper ores and mixed oxide/sulfide ores (copper dump bioleach operations are not included)⁷³

Industrial heap bioleach plant and location/owner	Cathode copper production (t/a)	Years of operation
Lo Aguirre, Chile/Sociedad Minera Pudahuel Ltda.	15 000	1980-1996 (mine closure due to ore deposit depletion)
Mount Gordon (formerly Gunpowder), Australia/Western Metals Ltd.	33000	1991-Present
Mt. Leyshon, Australia/(formerly Normandy Poseidon)	750	1992-1995 (stockpile depleted)
Cerro Colorado, Chile/BHP Billiton	115 000	1993-present
Girilambone, Australia/Straits Resources Ltd & Nord Pacific Ltd.	14 000	1993-2003 (ore depleted)
Ivan-Zar, Chile/Compañía Minera Milpro	10 000-12 000	1994-Present
Punta del Cobre, Chile/Sociedad Punta del Cobre, S.A.	7 000-8 000	1994-Present
Quebrada Blanca, Chile/Teck Cominco Ltd.	75 000	1994-present
Andacollo Cobre, Chile/Aur Resources, del Pacifico & ENAMI	21 000	1996-present
Dos Amigos, Chile/CEMIN	10 000	1996-present
Skouriotissa Copper Mine (Phoenix pit), Cyprus/Hellenic Copper Mines	8 000	1996-present
Zaldivar, Chile/Barrick Gold Corp.	150 000	1998-present
Lomas Bayas, Chile/XSTRATA plc	60 000	1998-present
Cerro Verde, Peru/FreeportMcMoran & Buenaventura	54 200	1997-present
Lince II, Chile	27 000	1991-present (sulfide leaching since 1996)
Monywa, Myanmar/Ivanhoe Mines Ltd.	40 000	1998-present
Myanmar No.1 Mining Enterprise		
Nifty Copper, Australia/Straits Resources Ltd.	16 000	1998-present
Equatorial Tonopah, Nevada/Equatorial Tonopah, Inc.	25 000 (projected)	2000-2001 Failed
Morenci, Arizona/FreeportMcMoran	380 000	2001-present
Lisbon Valley, Utah/Constellation Copper Corporation	Projected at 27 000	2006-present
Jinchuan Copper, China/Zijin Mining Group Ltd.	10 000	2006-present
Spence, Chile/BHPBilliton	200 000	Commissioned 2007
Whim Creek and Mons Cupri, Australia/Straits Resources	17 000	2006-present

В таблице выше приведён список предприятий, использующих технологию кучного Биовыщелачивания для вторичных медных руд и

смешанных оксидных/сульфидных руд. Предприятия, использующие технологию отвального биовыщелачивания не включены.

Актогайский ГОК компании «KAZ Minerals», расположенный в восточном Казахстане, является одним из первых месторождений на территории СНГ, внедрившим технологию кучного Биовыщелачивания. Климат Актогая континентальный, летом температура доходит до +40 °С, зимой до -40 °С.

Далее будет подробнее рассказано о реализации проекта Биовыщелачивания на Актогайском ГОК.

Базовый инжиниринг. Реализация данного проекта была необходима в связи со снижением содержания меди в исходной руде с 0,32% от общей меди в 2017 году до 0,24% кислоторастворимой меди в 2019 году. Данное снижение меди в руде не было предусмотрено первоначальным проектом ГОК и было обнаружено в середине 2019 года, что повлияло на пересмотр производственного плана и его снижение с 25000 до 22000 тонн катодной меди. Технология биовыщелачивания позволяет окислять и переводить в раствор медь из переходных сульфидных руд, некондиционных сульфидных минералов. Успешное внедрение данной технологии позволит продлить жизнь Оксидного завода. Также внедрение технологии биовыщелачивания позволит повысить извлечение меди из площадки кучного выщелачивания №2 минимум на 10%, позволит укладывать некондиционные переходные руды и производить катодную медь высшего качества.

Базовый инжиниринг выполнен компанией Global Resource Engineering (GRE) после проведения исследований переходной руды и руды с низким содержанием меди АГОК на предмет выщелачивания с помощью бактерий.

Базовый инжиниринг включил в себя:

- Критерии проектирования

- Схемы PFD и P&ID
- Лист электрооборудования и нагрузок
- Чертежи трубопроводов для системы аэрации
- Перечень оборудования, включая КП и спецификации
- Концепция системы инокуляции
- Детали для лаборатории – Руководство, лист оборудования, доставка бактерий, программы для испытаний низкосортной руды (концепция, рекомендуемое оборудование, прочие рекомендации)

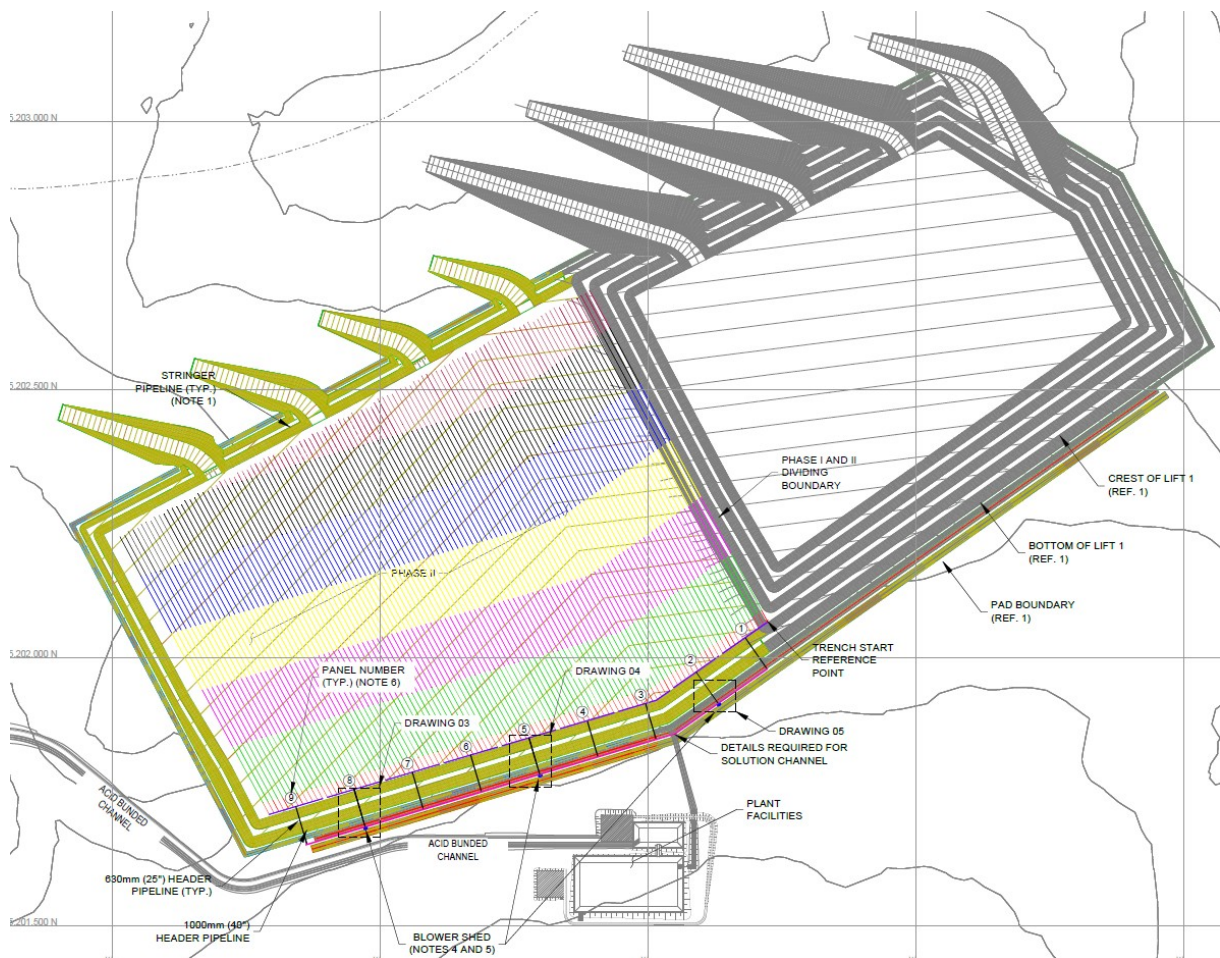


Рис.2 Общий вид системы аэрации ПКВ2

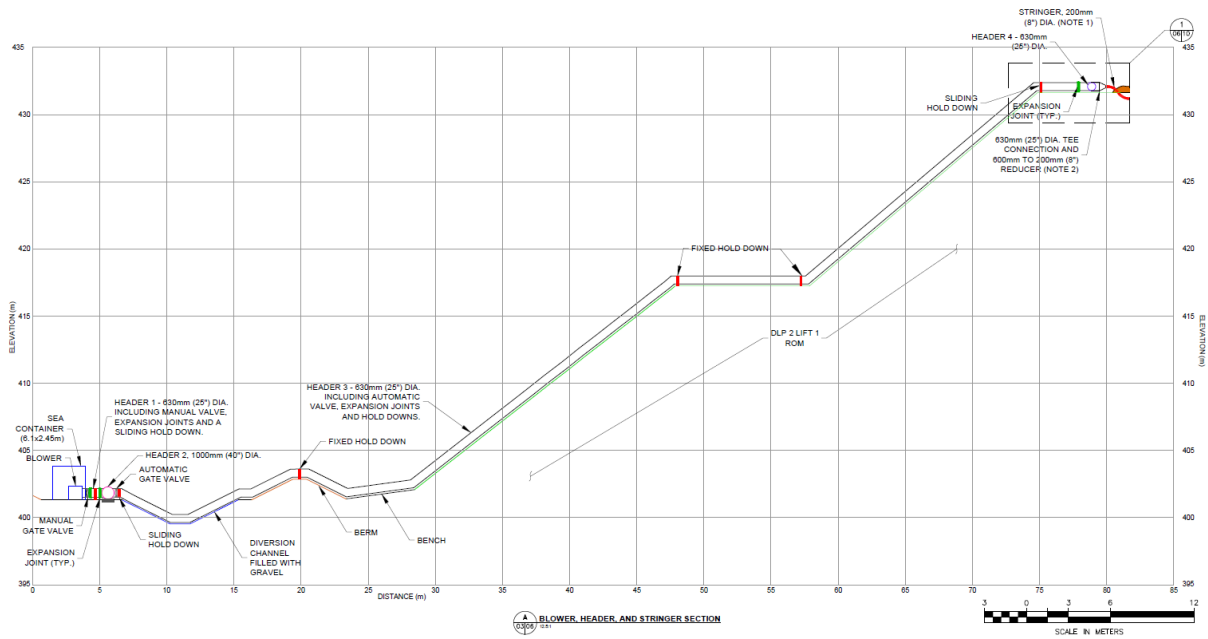


Рис.3 Общий вид системы аэрации ПКВ2. От воздуходогагетателя через систему воздухопроводов воздух подаётся в стрингерные трубы (трубы с множеством выпускных отверстий диаметром от 7,5 до 12 мм), уложенные внутри панели.

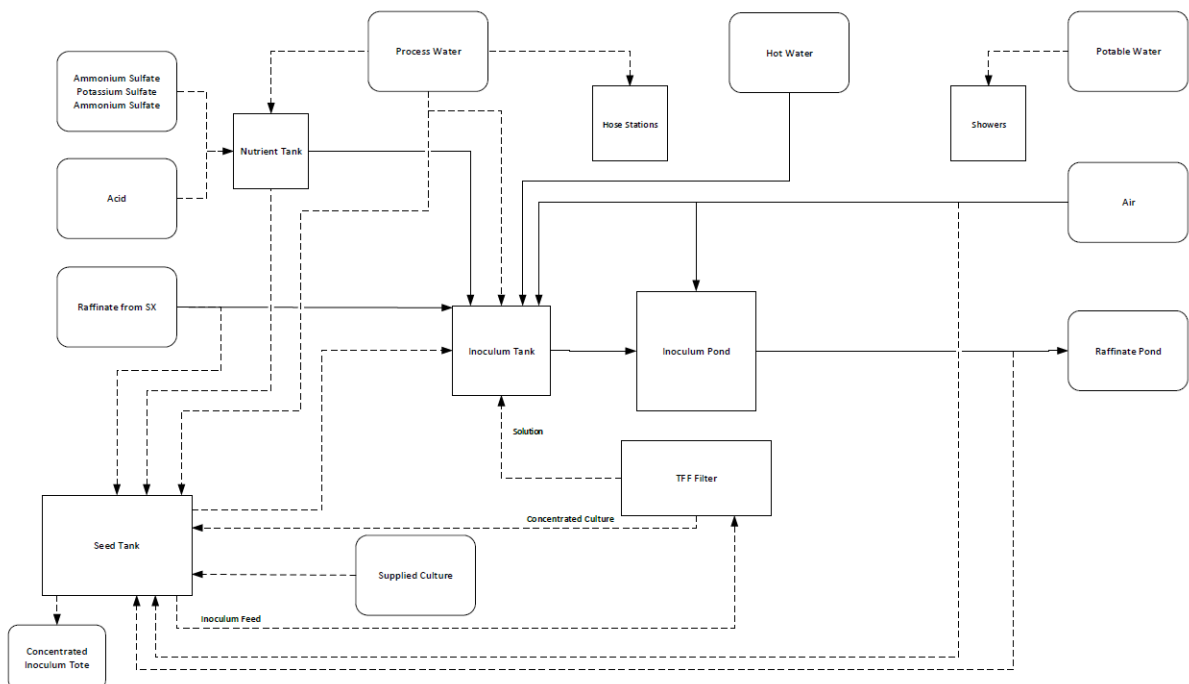


Рис.4 Разработанная Карта технологического процесса Системы Инокуляции.

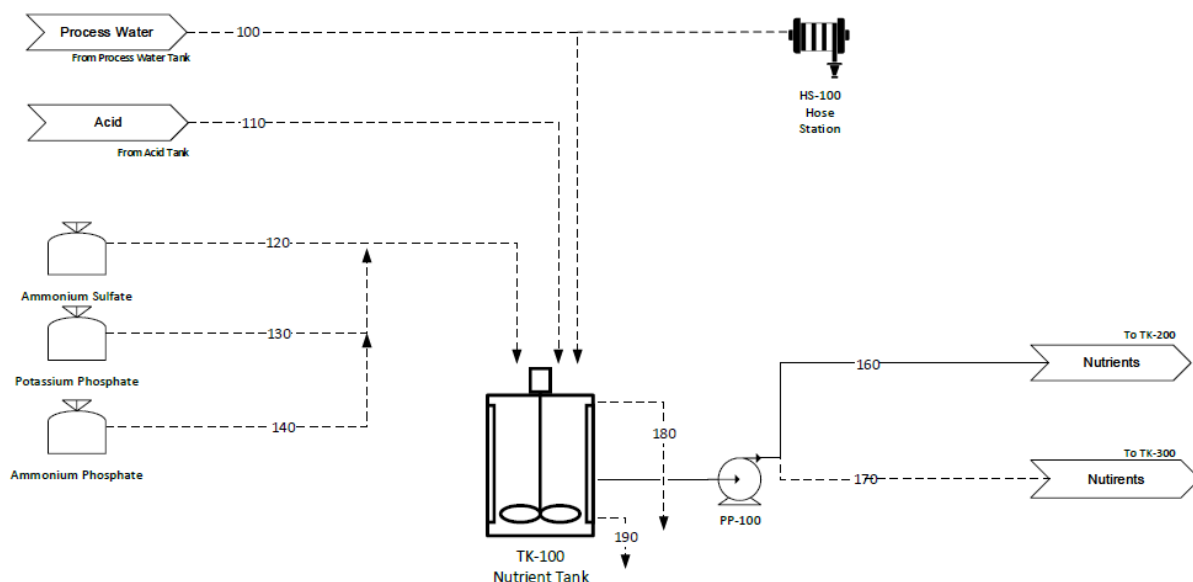


Рис.5 Технологическая схема участка реагентов (TK-100 – резервуар для питательных веществ)

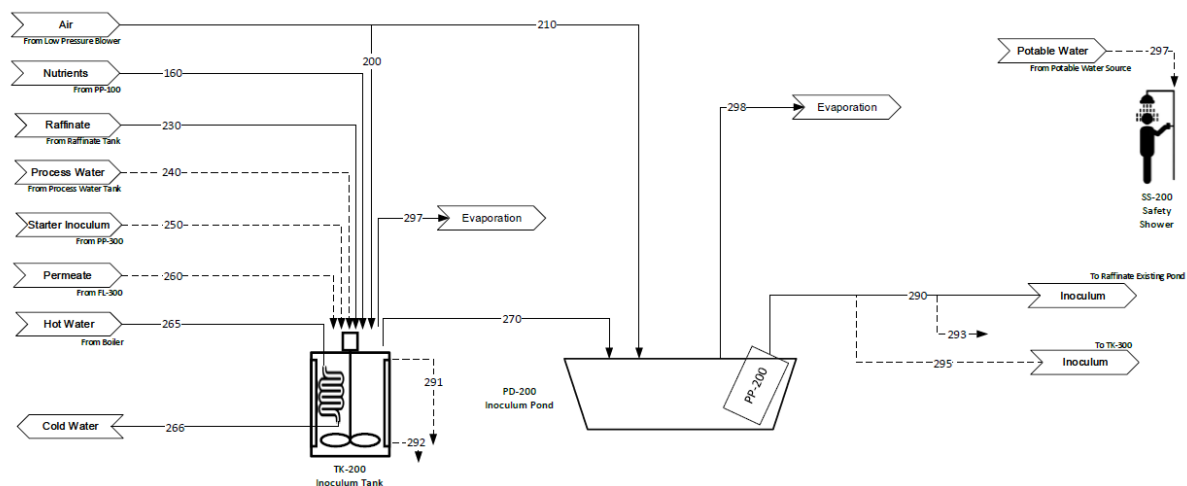


Рис.6 Технологическая схема участка выращивания культуры (TK-200 – резервуар инокулята, в котором происходит смешивание начального инокулята, питательных веществ и рафината для роста бактерий, PP-200 – пруд инокулята)

Из пруда инокулята PP-200 раствор насыщенный бактериями, перекачивается в существующий пруд рафината. А уже из пруда рафината по существующей схеме раствор рафината с бактериями идёт на орошение панели кучного выщелачивания ПКВ2.

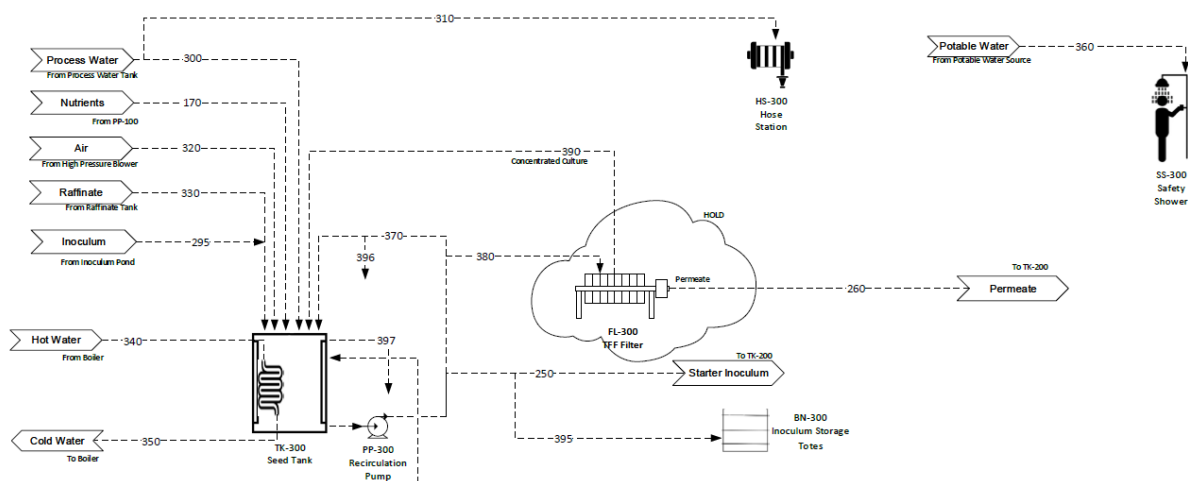


Рис.7 Технологическая схема участка начальной культуры (TK-300 – семенной резервуар, в котором происходит смешивание питательных веществ, рафината и инокулята из пруда инокулята для получения начального инокулята)

Заключение ЕРС контракта. ЕРС контракт заключен с казахстанской компанией Ostara Group со следующим объёмом работ:

- Выполнение адаптации проекта GRE в соответствии с требованиями стандартов, норм и правил РК, прохождение комплексной экспертизы проекта с получением положительного заключения экспертизы;
- Закуп всех необходимых материалов для осуществления СМР, за исключением позиций, поставляемых Заказчиком, таких как, трубопроводы для системы аэрации, комплектные трансформаторные подстанции;
- Выполнение СМР в полном объёме, включая ПНР и проведение испытаний совместно с представителями KAZ Minerals и GRE.



Рис.8 ПКВ-2. Укладка стрингерных труб системы принудительной аэрации



Рис.9 ПКВ-2. Коллектор подачи воздуха



Рис.10 Инокуляция. Расширение насосной станции рафината для размещения питательного и семенного баков с насосами, а также склада хранения питательных веществ.



Рис.11 Инокуляция. Расширение насосной станции рафината для размещения питательного (ТК-100) и семенного (ТК-300) баков с насосами, а также склада хранения питательных веществ.



Рис.12 Инокуляция. Строительство пруда инокулята с использованием теплоизоляционного материала Пеноплекс и геомембраны.



Рис.13 Инокуляция. Строительство ТК-200 – резервуара инокулята, в котором происходит смешивание начального инокулята, питательных веществ и рафината для роста бактерий.

Заключение. ПКВ1 - решено не внедрять проект Биовыщелачивания на панели кучного выщелачивания ПКВ1, так как она уже полностью отработана методом кучного выщелачивания. Для реализации проекта необходимо установить систему аэрации, что будет проблематично выполнить, так как отсыпано 5 ярусов с высотой каждого яруса в среднем 12 м.

ПКВ2 - строительно-монтажные работы выполнены в полном объёме. Проектирование по всем разделам завершено и получено положительное заключение комплексной экспертизы рабочего проекта. Система аэрации внедрена на ПКВ2 во время отсыпки ярусов рудой с содержанием кислоторастворимой меди на момент реализации проекта. После внедрения проекта, извлечение меди с DLP2 увеличилось в среднем на 15%. Руководитель проекта – Мурат Кожек. Приняли активное участие – операционная команда Оксидного завода, операционная команда Горного управления, Инженерная служба АГОК.

ПКВ3 (LG) – в будущем руководством KAZ Minerals возможно будет рассмотрен проект панели кучного выщелачивания №3, которая будет отсыпана рудой с низким содержанием меди. Так как лабораторные испытания показывают, что извлечение меди из измельчённой руды с помощью выщелачивания микроорганизмами даёт лучшие результаты, то рекомендовано перед отсыпкой ярусов ПКВ3 (LG) измельчать руду. Также по опыту реализации проекта Биовыщелачивания на ПКВ2 рекомендуется уделить особое внимание системам принудительной аэрации, так как для нормальной жизнедеятельности бактерий требуется обеспечение достаточным количеством кислорода.

Использованные источники:

1. <https://bigenc.ru/> - официальный сайт научно-образовательного портала «Большая российская энциклопедия». Статья «Бактериальное выщелачивание» - Адамов Э.В., 8 августа 2022 г.
2. «Взгляд компании Mintek на последние 25 лет в области биовыщелачивания минералов» - М. Герике*, Дж. В. Нил* и П. Дж. ван

Стаден - статья из журнала Южноафриканского института горного дела и металлургии, октябрь 2009 г.