

«Engineering and Consulting PFA Alexander Gadetskiy»

<https://makston-engineering.ru/>

**MASTER**

**Discipline PROCESS:** Leaching of gold with sodium cyanide. Thiosulfate, thiourea, active chlorine for gold leaching, gold ores resistant to sodium cyanide, modular installations for cyanide-free leaching of gold

Name: [Alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:Alexander.gadetskiy@inbox.lv)

Sign.

Date: 22.04.2014

ОБНОВЛЕНО 17.03.2022 Обновлено 04.06.2024



## Альтернатива цианиду натрия для обогащения золотосодержащих руд. Блочные установки для выщелачивания.



Dipl. engineer Alexander Gadetskiy, phone: +40 (748) 148 257; e-mail: [alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:alexander.gadetskiy@inbox.lv)

Certificate of registration on engineering activities and technical consultations № F4/172/17.02.2014

Certificate of registration on engineering and technical consultancy activities № J4/918/09.06.2023.

<https://makston-engineering.ru/>

## **Содержание.**

### Введение

1. Основные причины роста потребления щелочных цианидов для добычи золота.
2. Законодательные акты на запрет цианидов и статистика аварий.
3. Эффективность использования щелочных цианидов и других комплексообразователей для золотосодержащих руд различного генезиса.
4. Альтернативные заменители щелочных цианидов.
5. Промышленные технологии выщелачивания золота тиосульфатом аммония.

Приложение 1. Статистика аварий связанных с утечкой циансодержащих растворов при обогащении золота

Приложение 2. Республика Судан. Отвалы золоторудные для выщелачивания

Приложение 3. Республика Казахстан. Комаровское золоторудное месторождение.

Варваринское золотомедное месторождение

## Введение

В представленном концептуальном анализе предполагалось получение ответов на два основных вопроса:

- законодательные риски при использовании цианидов для кучного выщелачивания
- использование альтернативных цианиду натрия реагентов кучного выщелачивания золота из руд, в том числе и для типов золоторудных месторождений применительно к которым использование цианида натрия не эффективно

По мимо отчета Заказчику предоставлялась и публикация <https://makston-engineering.ru/blog-zametki/post/zabytye-recepty-chast-3>

В рамки отчета не входило предоставление технологий получения реагентов, **Таблица 4** альтернативных цианиду натрия, но по каждому из них мы располагаем пакетом «Исходных технологических данных»

Отчет дополнен рефератами консультаций:

Приложение 2. Республика Судан. Отвалы золоторудные для выщелачивания

Приложение 3. Республика Казахстан. Комаровское золоторудное месторождение.

Варваринское золотомедное месторождение

### 1. Основные причины роста потребления щелочных цианидов для добычи золота.

Эксплуатация рудных месторождений характеризуется снижением качества полезных ископаемых, и золотодобывающая промышленность не является исключением. В переработку включаются:

- низкосортные (за балансовые руды),
- вскрышные породы,
- отходы горно-обогатительных производств,
- руды маломощных месторождений от нескольких десятков килограмм до 1-2 тонн.

В результате этого роль кучного выщелачивания в процессе получения золота возрастает многократно и не в десятки, а в сотни раз. Цианид натрия выпускается на десятках заводов мира, число которых приближается к первой сотне, 80% от производимого количества используется для цианидного выщелачивания золота. Суммарный выпуск цианида натрия приближается к 1 млн. т/год. Синильная кислота требуемая для получения цианидов может быть получена, как прямыми синтезами <https://makston-engineering.ru/kontseptualnyy-proyekt-73> так и на основе утилизации синильной кислоты,

образующейся в производстве нитрилов, коксовании углей, сухой перегонки отходов сахарных и винных производств.

Первая промышленная установка цианирования рудного золота появилась на руднике Краун Майн провинция Окленд в Новой Зеландии в 1870 г. Использование цианида в Витватерсранде впервые произошло на руднике Робинсон в 1890 г. Две первые фабрики в США были пущены в 1891 г. в Меркуре штат Юта и Калумете штат Калифорния. В СССР кучное выщелачивание долго не было востребовано по причине добычи золота из россыпей. Первая установка была запущена в Казахстане на Васильковском ГОК в 1991 г., на Урале в отвалах ЗИФ ОАО "Южуралзолото" в 1993 году, в Хакасии на Майском месторождении в 1994г. В 2000 г. В России действовало 10 установок кучного выщелачивания общей производительностью по руде 2 млн. т/год и объемом добычи золота 4000 кг.

Преимущества современной технологии кучного выщелачивания золота (и серебра) с использованием цианидов относительно других растворителей благородных металлов, таких как – тиосульфаты, тиокарбамиды, бром-бромидные и хлор-хлоридные растворы, заключается в следующем:

- селективностью действия по отношению к золоту и серебру, что определяет очень низкий расход растворителя на тонну руды, которая пригодна для цианирования (десятки и первые сотни граммов растворителя на тонну руды)

- возможностью гидрометаллургической переработки руды при обычных (но не отрицательных) температурах окружающей среды

- не агрессивностью цианистых растворов, что позволяет использовать оборудование из обычных конструкционных материалов.

К недостаткам современной технологии кучного выщелачивания золота (и серебра) с использованием цианидов следует отнести:

- чрезвычайно высокую токсичность цианидов

- принципиальную невозможность регенерации цианидов и как следствие не возможность организации производства кучного выщелачивания без значительного количества сточных вод

- рост расхода цианида, который стал достигать 300 – 600 г на тонну руды, как в связи с ухудшением качества перерабатываемого сырья, так и в связи с применением цианидного выщелачивания для руд с высокими депрессивными и окислительными свойствами, что увеличивает количество токсичных стоков.

## **2. Законодательные акты на запрет цианидов и статистика аварий.**

В Европейском Союзе в ответ на катастрофическую утечку цианидов в 2000 г. на Румынском золоторудном месторождении в Байя Маре. Европейский Парламент и Совет Европы приняли Директиву 2006/21/ЕС (Directive 2006/21/ЕС) по управлению отходами добывающих отраслей промышленности. Статья 13 обязывает “понижать концентрацию слабокислотного диссоциирующего цианида в хвостохранилищах до минимально возможного уровня используя наиболее эффективные технологии”. В период 2000-2006 годов ряд стран начал принимать законодательные акты, которые полностью запрещали использовать цианиды для выщелачивания золота, **Таблица 1.**

Таблица 1.

Country	Year	Legislation
United States, Montana and Wisconsin	2001	Approved through a referendum on November 6, 1998. The law was codified in MCA 82-4-390. In the <i>Seven Up Pete Venture v. State</i> case, the Supreme Court of Montana found that the ban does not constitute a violation of the <a href="#">Contract Clause</a> of the <a href="#">US Constitution</a>
Turkey	2007	In 2007, the <a href="#">Turkish Council of State</a> decided not to allow cyanide mining due to the article 56 of the <a href="#">Turkish Constitution</a> that guarantees the right of people to live in a healthy environment.
Hungary	2009	On 7 December 2009, the overwhelming majority of the Hungarian Parliament voted to oppose the use of cyanide in gold mining.
Germany	2002	A decree was passed prohibiting cyanide-leach mining.
Czech Republic	2002/ 2000	The Czech Senate of August 2002 and the Czech Parliament, of September 2000 made decisions to forbid gold production through cyanide leaching in the Czech Republic domain (Mining Law of 1991, article 30, paragraph

На всех рудниках, введенных эксплуатацию после 1 мая 2008 г., запрещается сбрасывать отходы в хвостохранилища содержащие свыше 10 г/т цианида. Для рудников, построенных или получивших разрешение на строительство до этой даты разрешены сбросы в хвостохранилища с содержанием не более 50 г/т цианида вначале и далее с понижением этого предела до 25 г/т в 2013 г. и до 10 г/т к 2018 году.

В отношении сбросов из хвостохранилищ в поверхностные водотоки «Руководства по охране окружающей среды, здоровья и труда для горнодобывающей промышленности. Международной Финансовой Корпорации» предписывает, что общее содержание цианидов не должно превышать 1 мг/л.

Указанные требования не являются запретом на использование цианидов, но выполнение норм в пределах, указанных концентрация, чрезвычайно сложная задача для компаний, занимающихся добычей и обогащением золота.

Статистика аварий, связанных с утечкой цианосодержащих растворов при обогащении золота приведена в **Приложении 1**, возможно, что законодательная инициатива по запретам цианидов не ограничилась указанным списком и в настоящее время список расширился.

### 3. Эффективность использования щелочных цианидов и других комплексообразователей для золотосодержащих руд различного генезиса.

В **Таблице 2** приведены формации золоторудных месторождений и указана эффективность или неэффективность использования цианидов для извлечения золота.

В **Таблице 3** для понимания понятий «эффективно», «неэффективно» приведен процент извлечения золота из различных типов руд. В строках, выделенных желтым фоном показаны типы руд извлечение золота из которых с использованием цианида натрия практически невозможно.

Таблица 2.

Формация эндогенных золоторудных месторождений	Характеристика формации	Эффективность выщелачивания цианидом натрия
Золото-кварцевая; Золото-сульфидно-кварцевая	Месторождения представлены жилами, жильными зонами и штокверками в осадочных, вулканических, интрузивных реже метаморфических породах Золото свободное в кварце, частично в сульфидах.	Эффективно, но если золото в кварце тонкодисперсное метод неэффективен или мало эффективен
Золото-сульфидная	Месторождения представлены зонами вкрапленности золотосодержащих сульфидов в осадочных и эффузивных толщах. Нередко тяготеют к существенно углистым или графитистым сланцам В составе руд пирит, халькопирит, арсенопирит, пирротин, сфалерит, галенит. Золото тесно связано с сульфидами.	Неэффективно или мало эффективно
Золото-карбонат-сульфидная	Месторождения типа залежей, жил, гнездового или вкрапленного оруденения в карбонатных толщах и образующихся по ним метасоматитах	Эффективно
Золото-силикатная (скарновая)	Месторождения представлены скарнами с наложенной сульфидной и золотой минерализацией. Связаны с контактовыми ореолами гранитоидных массивов	Неэффективно или мало эффективно
Золото-халцедоново-кварцевая (золотосеребряная)	Месторождения представлены жилами, жильными зонами и штокверками. Характеризуется высокой серебристостью золота и обилием собственно серебряных минералов, для некоторых характерны теллуриды.	Эффективно, но при наличии теллуридов, неэффективно или мало эффективно

Таблица 3.

Исходный материал для выщелачивания	Извлечение золота, %	
	Цианирование	«Тио» выщелачивание*
Золотосодержащие (12,9 г/т) кварцевые руды	93-97	87-96
Золотосодержащие (2,3 г/т) кварцевые руды	80-85	75-78
Золотосодержащие (12,9 г/т) борнит-халькозин-кварцевые руды	50-60	87-91
Золотосодержащие (2,3 г/т) борнит-халькозин-кварцевые руды	17-22	65-74
Золотосодержащие (12,9 г/т) антимонит-кварцевые руды	0	75-79

Золотосодержащие (12,9 г/т) реальгар-аурингмент-кварцевые

22-43

65-70

\* - тиосульфаты (натрия, аммония), тиокарбамид (тиомочевина)

- минералы меди являются активными химическими депрессорами для цианирования, так же активными окислителями. Расход цианида натрия составляет от 2,3 до 3,4 кг на 1 кг меди в минерале

- минералы ртути аналогичны по своей депрессивности минералам меди, но не обладают окислительной способностью

- минералы железа, а именно пирротиновые руды, активные депрессоры для цианидов по причине образования роданидов и ферроцианидов

- минералы сурьмы 100% депрессоры для цианидов, извлечение золота в раствор в их присутствии невозможно

- золото в углисто-графитовых сланцах так же относится к трудно извлекаемому или «упорному» типу, что связано с адсорбцией цианидов углистым материалом и как следствие очень высоким расходом.

Повышенный расход цианидов увеличивает расход стоков, а соответственно потенциальную опасность объекта.

#### 4. Альтернативные заменители щелочных цианидов.

В Таблице 4 приведены реагенты, применяемые для извлечения золота из руд.

Таблица 4.

Реагенты	Экономика				Технология			Экология		
	САРЕХ	ОРЕХ	Рынок	Затраты на обработку стоков	Эффективность извлечения золота, см. Табл.3	Эффективность очистки стоков	Стабильность реагента	Эмиссии	Безопасность транспортировки	Токсичность реагента
Тиомочевина				*		*				
Тиосульфаты				*		*				
Тиоцианаты				*		*				
Цианид натрия				*		*				
Бисульфиды				*	**	*				
Галогениды				*	**	*				
Малонитрилы				*		*				
Оксинитрилы				*		*				
Хорошо				Удовлетворительно				Плохо		
* - по нормам применяемым Таблица 1										
**-для очень ограниченного состава руд										

Тиомочевина (тиокарбамид), Тиосульфаты (натрия или аммония). Разработка промышленных технологий на основе этих реагентов активно проводилась в СССР, Австралии, США, Китае и Франции причем тиомочевина считалась более перспективным агентом, чем тиосульфаты это объяснялось большей стойкостью к разложению в процессе выщелачивания, так как по эффективности и химизму процесса эти реагенты очень близки между собой. Ограничения по транспортировке, канцерогенность и более высокая токсичность тиокарбамида, чем тиосульфатов отодвинула его на второй план, как реагент для промышленности.

Тиоцианаты (роданиды) и бисульфиды натрия или аммония более эффективны чем тиосульфаты, а по некоторым типам руд эффективнее цианидов, но малые производственные мощности тиоцианатов не оставляют ресурсов для выщелачивания золота. Бисульфиды так же характеризуются малыми объемами выпуска, но в последнее время объемы стали расти и в первую очередь на основе утилизации сероводорода от процессов нефтепереработки, как альтернативы по использованию процесса Клауса, что позволяет значительно снижать затраты на сероочистку газов и получать востребованный продукт.

Галогениды (хлориды, бромиды, иодиды). Токсичность бромидов и иодидов очень высока, а применимость возможна к очень узкому составу руд этот фактор вряд ли позволит осуществить выход на промышленный уровень. Использование хлора и соляной кислоты имеет промышленное внедрение и используется для узкого спектра золотосодержащих руд, но с очень высокой рентабельностью.

Малонитрилы (дицианметан) и оксинитрилы (ацетонциангидрин). Реагенты по механизму выщелачивания мало отличаются от цианидов, это же относится и к токсичности, что связано с возможным выделением дициана при обработке руд. Единственный плюс в использовании этих реагентов по сравнению с цианидами, это отсутствие жестких ограничений по транспортировке в ЕС, но этого не было достаточным, что бы реагенты создали альтернативу цианидам.

## **5. Промышленные технологии выщелачивания золота тиосульфатом аммония.**

В качестве примера по использованию тиосульфата натрия приведены две схемы процесса, которые могут быть использованы, как в закрытых системах с мешалками, так и при кучном выщелачивании в золотодобывающих странах, где использование цианидов находится под интенсивной негативной рекламой по экологическим причинам или существующие нормы использования, делают привлечение цианидов экономически не эффективным, либо использование цианидов запрещено.

Тиосульфатное выщелачивание работает в диапазоне pH 8 – 10, что не требует использования специальных конструкционных материалов. Представленная на **Схемах 1** и **2** организация процесса использована для выделения золота из антимонит-кварцевых руд, но соответственно может быть применена и к другим типам руд выделенным желтым фоном в **Таблице 3**.

Схема 1.

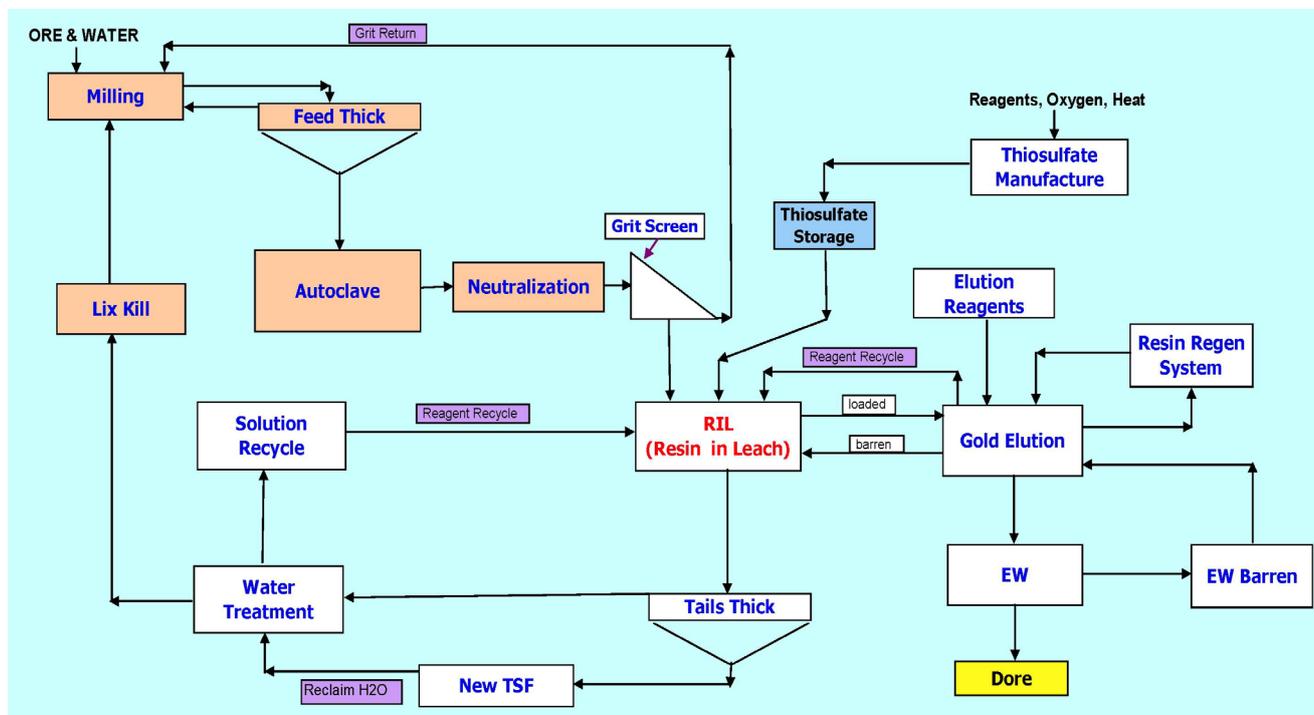
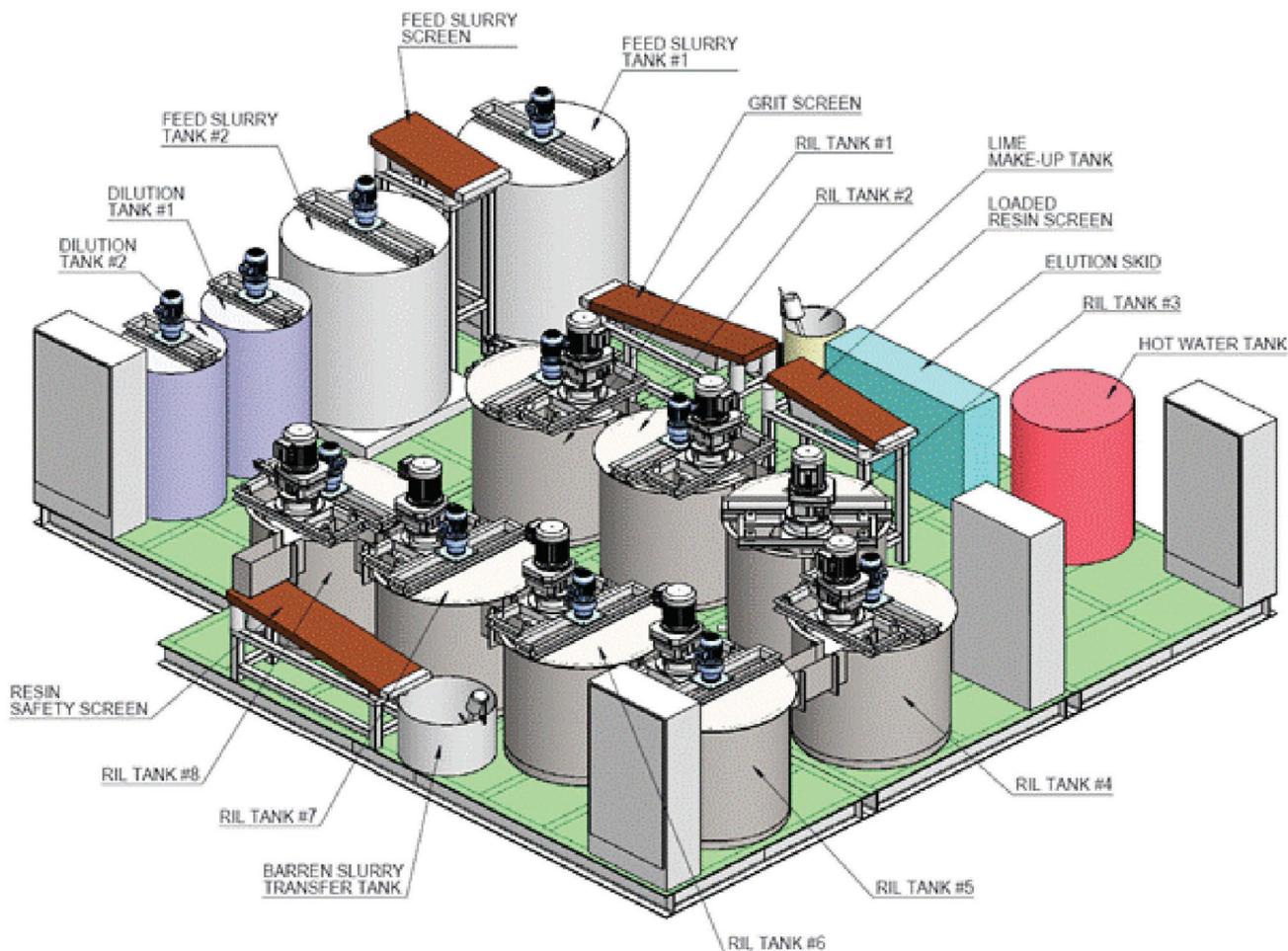


Схема 2.



После этапа подготовки, руда в виде суспензии с содержанием твердых частиц 30-40% при температуре 25-35°C подается в вертикальные резервуары, оборудованные мешалками. Выщелачивание осуществляется непрерывно в нескольких резервуарах **Схема 2**, в которые постоянно дозируется раствор тиосульфата (аммония, кальция или натрия) с концентрацией около 0,02 моль/литр.

При выщелачивании некоторых типов руд, в раствор дозируются: сульфат меди, аммония, реже сульфиты. Количество этих агентов, способствующих образованию растворимых комплексов золота с тиосульфатами очень незначительно.

Для образования комплекса  $Au(S_2O_3)_2^{3-}$  оптимальный температурный интервал 25-60°C, нижний предел регламентируется скоростью реакции, а верхний стабильностью тиосульфатов. Повышение температуры выше 60°C приводит к повышенному расходу тиосульфата в виду его разложения с выпадением в осадок элементарной серы, которая значительно снижает активность ионообменных смол, являющихся неотъемлемой составной частью процесса. Ионообменные смолы заполняют от 1 до 10% объема резервуара и таким образом, процесс выщелачивания и адсорбции ионов золота на смоле производятся одновременно. Ионообменные смолы (сильноосновные аниониты, например,

на основе полистиролов и четвертичных аминов) используемые при выщелачивании золота тиосульфатами:

- Dowex M-41 и Dowex MSA-1 (тип I), Дауэкс М-42 и Dowex MSA-2 (тип II), смолы гелевого типа 21К. Производство Dow Chemical.

- Arnberlite IRA-900C, Amberlite IRA-904 (Тип I) и Amberlite IRA-910 (тип II). Производство Rohm & Haas.

- Levatit M-600 и MP 500. Производство Bayer.

После завершения процесса адсорбции ионов золота на смолах, что определяется для каждого типа руд индивидуальными параметрами режима обогащения смолы флотируются при барботаже пульпы воздухом и собираются с поверхности резервуара на вибрационные сита.

Собранная смола направляется на элюирование золота, а иногда и меди растворами тетрагидрата натрия или сульфата натрия с добавкой тиосульфата аммония, натрия или кальция.

Эффективность извлечения золота и меди на этапе элюирования достигает 99%. Смола после элюирования золота должна пройти стадию очистки от политионатов, которые выщелачиваются с использованием гидроксидов натрия или кальция.

Последующее выделение золота в виде металла с использованием, например, электролиза не отличается от такового при использовании кучного выщелачивания с использованием щелочных цианидов.

Пульпа и бедный раствор тиосульфата, который остается в резервуарах с мешалками после удаления смол, отправляется на выделение твердых частиц, после чего с помощью извести или гидроксида натрия pH раствора увеличивают до 11 в целях снижения к минимуму концентрации политионатов и преобразования их (около 75% вес) в тиосульфат. В восстановленный раствор добавляется свежий тиосульфат, по балансу, и он возвращается в процесс выщелачивания. Твердые отходы, которые образуются после сгущения и фильтрации пульпы, направляются в хвостохранилище. Важно, что в случае работы с золотосодержащими мышьяковистыми рудами, весь мышьяк содержится в осадке в виде нерастворимого арсената железа, что максимально приемлемо с точки зрения экологии.

#### Приложение 1. Статистика аварий, связанных с утечкой цианосодержащих растворов при обогащении золота

Mine/Country	Year of occurrence	Impact
Japan	February, 2013	At least five tonnes of liquid waste containing sodium cyanide spewed out of a tank after it was hit by a snowplough at a plating factory run by Kurosaka Plating Co. in Hanamaki, northern Japan. The leak occurred when workers were trying to remove piles

		<p>of snow from the site damaged a valve on the tank in which the chemical was stored.</p> <p>The snow absorbed most of the liquid and the company was able to collect the contaminated snow. The leak has not reached a nearby river and the company has not received any reports of impact on people.</p>
AKRON, Ohio	2012	A precious metals company was the source of a cyanide spill that killed more than 30,000 fish in the Rocky River.
Djibo, Northern Burkina Faso.	July 29 <sup>th</sup> , 2011	A truck carrying 40 tonnes of the toxic chemical was headed when it overturned beside a reservoir. The two 20 tonne cyanide filled containers were being transported to Inata Gold Mine (around 40 km from Djibo in Northern Burkina Faso) by a subcontractor, when the truck carrying them swerved off a dam wall at the side of a reservoir, and overturned. Following a clean-up operation overseen by worried mining company bosses, the lethal chemicals were transferred to the Inata Gold Mine, where it was discovered that the containers had indeed been damaged, and that relatively small but extremely deadly amounts of cyanide had leached out into the watercourse.
HONIARA, Solomon Islands	May 27 <sup>th</sup> , 2011	A broken pipe at the Gold Ridge mine caused a cyanide spill
Turkey	2011	<p>A tailings dam embankment at the Eti Silver Co. Mine collapsed between the second and third stage of the three stage impoundment system.</p> <p>The mining company took quick action and repaired the embankments on the impoundment systems thus preventing what could have been a catastrophic spill of mine waste including an estimated 15 million cubic meters of cyanide.</p>
Tanzania	May, 2009	The toxic material led to deaths of about 20 people and to fish, crops and animals dying from the contaminated water.
San Andrés Minas, Honduras	March 19, 2009	A tractor suddenly dropped a large rock that hit a 50-60 centimeters thick tube transporting cyanide to clean the extracted metals. The puncture caused a stream of cyanide to spill out into the Lara River, resulting in the deaths of thousands of fish.
Ghana	June 18, 2006	A cyanide spillage at Bogoso Gold Limited (BGL) tailings dam polluted Ajo stream, killing fish and lobsters. A joint on the main tailings returning pipe was disengaged and cyanide-laden tailings poured into the external environment. It has been reported that 30 community members who drank the water or ate the fish and lobsters suffered dizziness, headaches, stomach aches, loss of appetite, itching tongue and skin itches.
Czech	January, 2006	Czech cyanide leak kills thousands of fish in Elbe
Kyrgyzstan	August 7, 2005	The protests began on July 18 with a demonstration near a loading facility belonging to the Kumtor gold mine, which was attended by hundreds of people from five villages in the Jetyoguz area on the southern shores of Lake Issykkul. They say they have never received compensation for health and ecological damage caused when a truck carrying sodium cyanide - used in the gold extraction process - crashed into the river Barskoon, which flows into the lake.
Filipine	Nov 07, 2005	LEGAZPI CITY -- Villagers living near the premises of Lafayette Mining Corp. in the Rapu-Rapu town of Albay province have claimed that cyanide found in mine tailings that spilled when the company's pump malfunctioned on Oct. 11 caused fish kills in their area since last week.
ROMANIA	November 28, 2005	Cyanide Pollution from local mine risks reaching Hungary. A cyanide spill from the Bursa mining exploitation was expected to contaminate the Hungarian section of Tisza River...
PHILIPPINES	October 11 and 31, 2005,	Lafayette Mining's Rapu Rapu polymetallic project in the Philippines had two spills of process treatment water allegedly causing cyanide contamination of nearby waters with the first causing a small fish kill.
LAOS	June 20, 2005	A cyanide spill occurred at the Phu Bia gold mine in Laos, operated by Australian company Pan Australian Resources. The cyanide

		killed fish in the nearby rivers and poisoned villagers within at least 3km of the mine site. Numerous sources in Laos, including government officials have reported that at least 60-100s of villagers fell ill as a result of poisoning after eating contaminated fish and drinking contaminated water. Despite confirmation by the government owned media that hundreds of villagers were poisoned from the cyanide spill, the company has claimed that no one suffered illness as a result of the incident.
GHANA	January 11, 2005	Wexford Ghana Limited at Akyempim in the Western Region, a subsidiary of Bogoso Gold Limited and owned by Golden Star Resources spilled cyanide into River Kubekro
GHANA	October 23, 2004	A cyanide spill occurred from a new tailings dam of Canadian company Bogoso Gold Limited into the river Aprepre, which serves as drinking water for surrounding communities, as well as other rivers including Egya Nsiah, Benya and Manse. Villagers downstream found hundreds of dead fish, crabs, shrimps and other life forms floating on the river. Some members of the community harvested and ate the fish before they received information about the spillage. (Source: <a href="http://www.ghanaweb.com">www.ghanaweb.com</a> )
WESTERN AUSTRALIA	October, 2004	A report commissioned by the WA Government into the tailings dams at the Kalgoorlie Gold mine confirmed that the mine has been leaking cyanide into the surrounding groundwater which was contaminated by cyanide and heavy metals. Surrounding community members have been complaining of impacts for over a decade but the company had previously denied the allegations.
AUSTRALIA	January 30, 2004	A report commissioned by the Western Australia Government into the tailings dams at the Kalgoorlie Gold mine confirmed that the mine had been leaking cyanide into the surrounding groundwater. Surrounding community members had been complaining of impacts for over a decade but the company had previously denied the allegations. (Media Release by Robin Chapple, MLC, WA Legislative Council)
PAPUA NEW GUINEA	August 7, 2004	Cyanide was discharged from the Misima mine, a subsidiary of Placer Dome, during decommissioning of the minesite, polluting oceans around the small island. The discharge resulted in poisoning of marine life, with reports of dead fish found floating in the oceans confirmed by the company as linked to the discharge. (The National, PNG, 11 of August)
CHINA	June 25, 2004	The State Council of China reported seven cases of leaks of lethal chemical products in the past week, which claimed a total of 21 lives across the country. The latest was a hydrogen cyanide gas leak from a gold mining plant in Beijing's suburban district of Huairou that killed three people and left another 15 hospitalized. (Source: People's Daily Online, 25th June 2004)
GHANA	March 21, 2004	Villagers near Prestea Sankofa Goldmine, a concession own by the Ghana National Petroleum Corporation (GNPC) in the Western Region spotted a cyanide spillage in their river and reported the matter to the mine.
NEW ZEALAND	March 24, 2004	About thirty-five people were evacuated from a Lower Hutt transit depot as emergency services mopped up a toxic chemical spill. Two 180-litre drums of cyanide solution were damaged inside the Mainfreight depot, possibly by a forklift.
ROMANIA	March 18, 2004	Romania's Siret River, a tributary of the Danube, was reported to be contaminated by cyanide. The chemicals involved in the spill leaked from a deactivated chemical processing plant, where storage conditions may not have been up to international standards. Estimates are that "10 tons of toxic substances leaked into the river", according to Ioan Jeleu, of Romania's Environment Ministry. A similar incident occurred in 2001 in the same place, poisoning fish. (Source: Reuters).
GHANA	May 29, 2003	A cyanide spillage occurred at Tarkwa gold mine in the Wassu West District, when the dangerous chemical spilled from one of three newly constructed pipelines.
NICARAGUA	January 14, 2003	A cyanide solution spill took place at the Canadian gold-

		mining company HEMCONIC and/or Greenstone in Bonanza, in the North Atlantic Autonomous Region, dumping cyanide into the Bamba-na river. Health workers from local Indigenous communities reported the deaths of twelve children who are suspected of having been poisoned by drinking water from the Bambana River. (Source: WRM's bulletin N° 74, September 2003).
WESTERN HONDURAS	January, 2003	A massive cyanide spill at the San Andrés mine, department of Copán, Western Honduras, contaminated the Lara River, which feeds into the river providing drinking water for the town of Santa Rosa de Copán. Even though local inhabitants reported witnessing company employees hauling away evidence, they managed to amass some 18,000 dead fish, a testament to the environmental destruction caused to the now lifeless river and to the ecosystems it nourishes. The chemicals killed off fish in the Lara River, which flows into the Higuito, the main supply of potable water for the Santa Rosa de Copan region, one of the cradles of the ancient Maya civilisation. Minosa was slapped with a 54,000-dollar fine for contaminating the environment after a cyanide spill was discovered.
USA	December 2nd, 2003	A cyanide spill was reported near the Briggs Mine in Balleratt.
TAIWAN	April 5, 2003	More than 100 people in Taichung County were hospitalised after being poisoned by liquefied cyanide from an overturned truck. Environmental officials feared the cyanide, which flowed into a nearby sewer, could create an ecological disaster when it streamed into the sea through Taichung Harbour.
AUSTRALIA	February, 2002	400 litres of liquid cyanide was spilled in the Northern Territory, Australia and killed over 500 birds, a dingo and some kangaroos.
GHANA	June 18th, 2002	The residents of Togbekrom, a farming community near Akyempim in the Wassa Mpohor East district of the Western Region, appealed to the Minister of Environment and Science to come to their aid immediately. Due to the closeness of the mine to the village, the cyanide being used by the company in its operations is giving them a lot of health problems. (Source: Emmanuel Akli, Akyempim Ghanaian Chronicle Accra, June 18th, 2002)
NEVADA, USA	June 9, 2002	Leaching process solution used at the Denton-Rawhide Mine, located in Mineral County, Nevada, overflowed containment structures from a ruptured pipe triggering the mine's Emergency Response Plan. Approximately 40,000 gallons of dilute cyanide process solution spilled into the environment. The spill was caused by a failure of a weld on a 16-inch diameter pipeline that was carrying process solution from a lined storage pond to a lined heap leach pad. The process solution is at a concentration of about 140 parts of cyanide per million parts of solution, resulting in a spill of approximately 47 pounds of cyanide.
NEVADA, USA	May16, 2002	Twenty-four thousand gallons of cyanide solution were spilled at a mining facility, Twin Creeks Mine, owned by Newmont Mining Company. A Nevada official said 10,000 gallons entered a creek. In recent years, the owner of the proposed Crandon mine spilled cyanide twice, including a 13,000 pound spill of cyanide in Arizona. In another accident, 300,000 cubic yards of mine wastes were spilled into an Arizona creek. (Source: Humboldt County News - 16 May 2002)
CHINA	November, 2001	Eleven tonnes of liquid sodium cyanide leaked into a tributary of the Luohe river in Henan province, China over the weekend after a traffic accident. The Luohe river is a shallow tributary of the Yellow River, the cradle of Chinese civilisation and a major waterway in northern China. Livestock Animals were poisoned and at least one person sickened by contamination.
Galactic Resources Ltd.'s Summitville Mine	Colorado, USA, 1992	Severe environmental problems along a 17-mile stretch of the Alamosa River

Pegasus Corporation's Zortman–Landusky Mine	Montana, USA, 1997	Severe contamination of groundwater; substantial wildlife deaths
Echo Bay's McCoy/Cove Gold Mine	Nevada, USA, 1989 and 1990	Eight cyanide leaks over a two-year period released almost 900 lbs of cyanide.
Harmony mine, South Africa	February, 1994	10 miners killed by cyanide-laced mud.
Omai gold mine, Guyana	August, 1995	All aquatic life forms in a creek that runs into the Essquibo river were killed.
Kumtor mine, Kyrgyzstan	May, 1998	Truck transporting cyanide to Kumtor mine plunged off a bridge, spilling 2 tons of sodium cyanide. Four people died.
Baia Mare, Romania	January, 2000	100,000 m <sup>3</sup> cyanide contaminated water with some tailings released. Thousand of tons of fish died in the Tiza and Danube Rivers. Rare Osprey, birds, river otters, fox, and other mammals died from eating cyanide contaminated fish.
Baia Borsa, Romania	10.03.2000	22,000 t of tailings contaminated by heavy metals released
Los Frailes, Spain	24.04.1998	4-5 million cubic meters of toxic tailings slurries released
Stava, Italy	19.07.1985	269 deaths, tailings flowed up to 8 km
Tolukuma mine, Papua New Guinea	March, 2000	Dome helicopter dropped a crate containing 1 tonne of sodium cyanide pellets into the water system in the rainforest.
Ghana Bogoso Goldfields 1994 Teberebie Goldfields 1996 Ashanti Goldfields 1998 Goldfields (S.A.) 2001 occurred in the same area after 2 weeks	1994–2001	Communities were re-located, waters polluted, there were reported cases of avian mortality, and crops were affected. There were serious
Placer Dome tailings disposal, The Philippines	1975–1991	Loss of aquatic life forms in Mogpog River and Calancan Bay.
Grasberg Mine, Indonesia	1996	The spill affected aquatic life forms in Ajkwa River and surrounding communities.

## Приложение 2

### A Cyanide – Free Green Process to Recover Gold

Добыча золота в Судане в 2018 году составила 96-100 тонн из них около 78-84 тонн добывается старателями и мелкими производствами.

Наиболее перспективной территорией является северо-восточная часть страны, которая включает штаты Red Sea, River Nile и восточную часть штата Northen расположенную к востоку от Нила.

К достаточно перспективным можно отнести территории штатов Northen Kordofan и Blu Nile расположенные соответственно в центральной части Судана и юго-восточной.

Месторождения золота на обеих территориях связаны с панафриканскими зелено-каменными поясами и представлены золоторудными формациями:

- прожилково-жильными зонами с вкрапленным оруденением в интенсивно измененных риолитов
- железными шляпами колчеданных Cu-Zn-Ag Au-содержащих месторождений
- кварцевыми жилами с золотым оруденением вблизи интрузий гранодиоритов

- золото-сульфидными вкрапленными рудами
- колчеданными золотосодержащими месторождениями

В стране работают добывающие и геологоразведочные компании, наиболее крупные из них:

- Ariab Mining Company
- Managem Group
- Orca Gold Incorporated
- Kush for Exploration and Production
- Huakan Hamadi Resource Company Limited
- Rida Mining Company
- Tahi International
- Sahari Company for Gold Mining

Геологические отчеты по блокам добычи или разведки в отношении состава руд не являются закрытой информацией.

Практически повсеместно проводится переработка старых отвалов и хвостов, в том числе и с использованием цианидного выщелачивания, не запрещенного к применению при наличии достаточных мер безопасности, которые могут быть достаточно затратными.

В таблице показано сравнение эффективности цианидного и тиосульфатного выщелачивания применительно к различным типам рудных формаций, в том числе и на месторождениях Судана (выделено фоном).

Формация эндогенных золоторудных месторождений	Характеристика формации	Эффективность выщелачивания цианидом натрия
Золото-кварцевая; Золото-сульфидно-кварцевая	Месторождения представлены жилами, жильными зонами и штокерками в осадочных, вулканических, интрузивных реже метаморфических породах Золото свободное в кварце, частично в сульфидах.	Эффективно, но если золото в кварце тонкодисперсное метод неэффективен или мало эффективен
Золото-сульфидная	Месторождения представлены зонами вкрапленности золотоносных сульфидов в осадочных и эффузивных толщах. Нередко тяготеют к существенно углистым или графитистым сланцам В составе руд пирит, халькопирит, арсенопирит, пирротин, сфалерит, галенит. Золото тесно связано с сульфидами.	Неэффективно или мало эффективно
Золото-карбонат-сульфидная	Месторождения типа залежей, жил, гнездового или вкрапленного оруденения в карбонатных толщах и образующихся по ним метасоматитах	Эффективно
Золото-силикатная (скарновая)	Месторождения представлены скарнами с наложенной сульфидной и золотой минерализацией. Связаны с контактовыми ореолами гранитоидных массивов	Неэффективно или мало эффективно

Золото-халцедоново-кварцевая (золото-серебряная)	Месторождения представлены жилами, жильными зонами и штокерками. Характеризуется высокой серебристостью золота и обилием собственно серебряных минералов, для некоторых характерны теллуриды.	Эффективно, но при наличии теллуридов, неэффективно или мало эффективно
--	---	---

Принципиальная схема и аппаратное оформление процесса тиосульфатного выщелачивания с кратким описанием реферативно представлено <https://makston-engineering.ru/kontseptualnyy-proyekt-10> Процесс дорабатывался на месторождении ROȘIA MONTANĂ GOLD в Румынии, где после крупной аварии с человеческими жертвами, использование цианида натрия было категорически запрещено.

Оборудование для тиосульфатного или тиокарбамидного выщелачивания достаточно простое и обычно выполняется, как модуль, а при сборке из отдельных единиц оборудования максимально компактно располагается на единой бетонной площадке. Основная сложность заключается в подборе технологической карты и ионообменных смол являющихся неотъемлемой частью процесса.



Помимо тиосульфатного выщелачивания существует ряд других технологий <http://rupec.ru/society/blogs/30213/> которые могут являться альтернативой для цианида натрия, например, галогенидное выщелачивание которое используется для узкого спектра золотосодержащих руд не поддающихся цианидам и тиосульфатам. Одним из представите-

лей галогенидного выщелачивания является процесс Cycladex

<https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2017/april/catalyzing-commercialization-cyanide-free-green-process-recover-gold>

ООО «Макстон-Инжиниринг» предлагает возможную последовательность, которая должна быть отражена в техническом задании.

1. Заказчик предоставляет наименование месторождений (месторождения) золотосодержащие руды которого предполагаются к тиосульфатному выщелачиванию.

2. Заказчик указывается происхождение хвостов и отвалов, которые предполагаются к переработке.

3. Если по п.1,2 Заказчик не предоставляет состав золотосодержащих руд, то ООО «Макстон-Инжиниринг» делает это самостоятельно и передает на согласование Заказчику.

4. Предполагается, что на границу установки тиосульфатного выщелачивания руда или материал отвалов и хвостов поставляется имея требуемый гранулометрический состав.

5. ООО «Макстон-Инжиниринг» разрабатывает технологическую карту по тиосульфатному выщелачиванию золотосодержащих руд согласованных в п.3. с указанием расхода материалов и химикатов.

6. ООО «Макстон-Инжиниринг» после согласования п.5 производит базовые расчеты основного оборудования и передает Заказчику для приобретения и комплектации или по поручению Заказчика выполняет эту работу самостоятельно.

Заказчик понимает и отдает себе отчет, что

- все расходные показатели будут приниматься на основе объектов аналогов
- тиосульфатное выщелачивание, для некоторых типов золотосодержащих руд, не может быть эффективнее цианидного растворения
- изменение состава руд или материала отвалов и хвостов, если они не были предусмотрены в п.1,2 по требует выпуска новой технологической карты
- все действия ООО «Макстон-Инжиниринг» по п.4 и последующим пунктам начинаются только после получения от Заказчика материалов по п.1.2 или согласования п.3.

**Приложение 3.**

**Комаровское золоторудное месторождение.**

**Варваринское золотомедное месторождение**

**A Cyanide – Free Green Process to Recover Gold**

**Зеленый процесс извлечения золота без цианидов**

**Комаровское золоторудное месторождение** находится на северо-востоке Казахстана в 10 километрах от города Житикары (ранее Джетыгара)

**Варваринское золотомедное месторождение** находится на северо-западе Казахстана в 130 километрах от города Костанай (ранее Кустанай) и в 35 км от районного центра Тарановка.

Перерабатывающая фабрика золотой и медной руды мощностью 4,2 млн. т/год в год находится на Варваринском месторождении. Объемы переработки в текущий период составляют: выщелачивание золотой руды 3.0 млн. т/год, флотация медной руды 1.0 млн. т/год.

Месторождения Комаровское и Варваринское связаны между собой железной дорогой по которой на Варваринскую фабрику поступает 2.0 млн. т/год руды с Комаровского месторождения.



**Комаровское месторождение** является низко сульфидным кварцевым золоторудным месторождением на контакте сланцев и порфиroidов городищенской свиты с интрузией гранитов. В зонах разломов отмечаются крутопадающие метасоматиты кварц-карбонат-полевошпат-серицитового состава с пиритовой минерализацией. Рудные минералы представлены пиритом 1.5-5.0% и халькопиритом 0.5-1.5%. В пробах присутствует свободное золото от 4 до 115 знаков в классе +0,02мм. Основная масса золота заключена в пирите в самородной форме, в виде тончайшей пойкиловой вкрапленности. Размер включений золота достигает максимально 0,01мм, форма золотин чаще изометрическая с зазубренными краями. Среднее содержание золота по месторождению в окисленных рудах составляет 2,55 г/т, в первичных - 2,79 г/т.

**Минеральный состав руд Комаровского месторождения.**

Сводный минеральный состав классов крупности +0.020 мм исходной руды. Месторождение Комаровское											
Минерал	Содержание, об. %										
	K-1865	K-1866	K-1714	K-1721	K-1722	K-1724	K-1867	K-1717	K-1718	K-1719	K-1725
Магнетит	2.44	5.47	1.33	1.15	2	0.72	0.37	1.5	0.42	2.63	2.59
Пирит	3.79	7.28	4.45	4.89	3.41	5.72	3.87	2.29	2.73	1.21	2.35
Халькопирит	1.02	1.72	1.85	1.49	0.91	1.69	1.43	0.6	0.71	0.36	0.86
Борнит	-	-	0.03	-	-	0.02	-	-	0.04	-	0.02
Гематит	-	-	0.01	0.03	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03	0.65	0.66
Оксиды и гидроксиды Fe	1.37	1.58	2.65	3.57	5.22	0.7	0.02	1.98	29.18	1.21	3.71
<b>Рудные минералы</b>	<b>8.3</b>	<b>16.04</b>	<b>10.32</b>	<b>11.13</b>	<b>11.56</b>	<b>8.87</b>	<b>5.73</b>	<b>6.4</b>	<b>33.1</b>	<b>6.06</b>	<b>10.19</b>
ПШ серицитизированные	35.65	36.24	41.32	38.21	42.51	38.42	36.71	52.81	39.08	34.49	30.71
Кварц	16.82	16.34	23.35	13.52	17.9	15.28	29.71	11.61	12.67	30.74	22.86
Кальцит	5.96	4.1	6.44	4.48	6.14	4.18	-	1.93	2.66	2.5	3.23
Хлорит-серицитовые агрегаты	29.39	25.54	13.39	23.6	16.67	26.85	26.99	20.32	7.68	21.24	29.08
Тальк	2.52	-	3.57	5.87	2.75	3.7	-	5.33	2.33	2.33	1.77
Серицит	1.02	1.74	1.6	3.17	2.44	1.66	0.68	1.58	2.49	2.64	2.16
Эпидот	-	-	-	0.02	0.03	1.03	-	0.02	0.01	-	0.01
<b>Нерудные минералы</b>	<b>91.37</b>	<b>83.96</b>	<b>89.68</b>	<b>88.87</b>	<b>88.44</b>	<b>91.13</b>	<b>94.27</b>	<b>93.6</b>	<b>66.9</b>	<b>93.94</b>	<b>89.81</b>
Свободное видимое золото, количество знаков	110	97	24	20	35	115	4	21	10	7	7

**Варваринское месторождение** золото-сульфидно-кварцевое приурочено к зоне метаморфизма в вулканогенно-осадочных породах на границе с диоритами, а также к зонам серпентинизации интрузивных пород среднего и основного состава. В границах месторождения имеются скарноиды с магнетитовой минерализацией, а также кварц-сульфидные золотосодержащие жилы и штокверки. Основными рудными компонентами являются золото и медь, попутным - серебро.

Основным минералом меди является халькопирит в меньшей степени борнит. Золото присутствует преимущественно в свободной форме, а также в ассоциациях с пиритом и другими сульфидами. На основании минералогического состава выделены четыре типа руд по степени окисления и содержанию меди:

Тип 1. Первичная золотосодержащая руда (содержание меди менее 0,2%).

Тип 2. Первичная медная руда (с присутствием золота).

Тип 3. Окисленная золотосодержащая руда (содержание меди менее 0,1%).

Тип 4. Окисленная медная руда (с присутствием золота).

Типы 1 и 3 перерабатываются с использованием цианидного выщелачивания. Тип 2 перерабатывается флотацией. Тип 4 в настоящее время складирован в отвалы и не перерабатывается.

**Минеральный состав руд (Тип 1,3???) Варваринского месторождения.**

Сводный минеральный состав классов крупности +0.020 мм исходной руды. Месторождение Варваринское.			
Минерал	Содержание, об. %		
	ГТК 2571	ГТК 2575	ГТК 2554
<b>Нерудные минералы, в т.ч.:</b>	<b>69.52</b>	<b>72.66</b>	<b>73.36</b>
Кварц	46.27	40.91	40.25
Хлорит	13.45	19.14	2.2
Полевые шпаты	8.64	10.38	26.73
Слюды	1.16	2.24	
<b>Рудные минералы, в т.ч.:</b>	<b>29.1</b>	<b>23.88</b>	<b>26.64</b>
Пирротин	18.42	0.77	2.62
Пирит	4.91	10.94	4.63
Халькопирит	1.3	1.49	13.99
Борнит	-	0.51	0.16
Оксиды и гидроксиды железа	4.47	10.17	4.68
Халькозин	-	ед.	0.56
Галенит	ед.	-	
Арсенопирит		?	
Сростки нерудных минералов с сульфидами	1.38	3.46	
Свободное золото, количество знаков	1	-	

### Выводы:

1. Цианидное выщелачивания для руд Комаринского месторождения может быть заменена на тиосульфатное либо тиокарбаматное выщелачивание.
2. Заключение о замене цианидного выщелачивание для руд 1 и 3 типов Варваринского месторождения на тиосульфатное, тиокарбаматное либо какое-то иное не относящиеся к цианидному, может быть предоставлено **только при наличии минерального состава руд 1 и 3 типов.**
3. По окисленной руде Тип 4 также могут быть даны рекомендации при наличии минерального состава.

### Дополнение:

Принципиальная схема и аппаратурное оформление процесса тиосульфатного выщелачивания с кратким описанием реферативно представлено <https://makston-engineering.ru/kontseptualnyy-proyekt-10> Процесс дорабатывался на месторождении ROŞIA MONTANĂ GOLD в Румынии, где после крупной аварии с человеческими жертвами, использование цианида натрия было категорически запрещено.

Оборудование для тиосульфатного или тиокарбамидного выщелачивания достаточно простое и обычно выполняется, как модуль, а при сборке из отдельных единиц оборудования максимально компактно располагается на единой бетонной площадке. Основная сложность заключается в подборе технологической карты и ионообменных смол являющихся неотъемлемой частью процесса.

## Romania gold ore processing plant



Помимо тиосульфатного выщелачивания существует ряд других технологий <http://rupec.ru/society/blogs/30213/> которые могут являться альтернативой для цианида натрия, например, галогенидное выщелачивание которое используется для узкого спектра золотосодержащих руд не поддающихся цианидам и тиосульфатам. Одним из представителей галогенидного выщелачивания является процесс Cycladex <https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2017/april/catalyzing-commercialization-cyanide-free-green-process-recover-gold>

**31.01.2021.**

**Вопросы от ARUMtech.**

До выполнения концептуального инжиниринга, необходимо изучить технологии тиосульфатного и тиокарбонатного выщелачивания. То есть требуется описание основных принципов данных технологий. Первично требуются ответы на следующие вопросы, можно кратко:

1. Как протекает реакция растворения золота тиосульфатом или тиокарбамидом?
2. Какая ионообменная смола используется в данных процессах?

- 3 Какова емкость ионообменной смолы по золоту?
4. Как протекает процесс десорбции золота из ионообменной смолы?
6. Как протекает процесс восстановления золота? На электролизе или другими способами?
7. По опыту специалистов, как отличается кинетика выщелачивания золота цианидом и тиосульфатом?
8. Какие катализаторы реакции растворения используются?
9. Какой уровень pH протекания процесса растворения и другие условия процесса (температура, давление и т.д.)?
10. Какова процедура приготовления реагентов (Тиосульфата и сопутствующих ему на процессы десорбции и регенерации смолы)?
11. К какой категории данные реагенты относятся?
12. Какие меры предосторожности используются для предотвращения воздействия данных реагентов на жизнь и здоровье персонала?
13. Какие вредные вещества выделяются и при каких условиях? (Например при падении pH в процессе цианидного выщелачивания образуется синильная кислота.)
14. Какие требования должны быть выполнены для системы вентиляции? (Возможно требуются спец. материалы изготовления воздуховодов и вентиляторов для исключения их частого износа из-за агрессивного воздействия среды)?
15. Как происходит процесс обезвреживания остатков концентрации данных реагентов в хвостах выщелачивания?

В ответ на поставленные вопросы направляем публикацию <https://zolotodb.ru/article/12345> если останутся не отвеченные вопросы, то мы продолжим консультации.