

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

## МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции  
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,  
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА  
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі  
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,  
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері  
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған  
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»  
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

**МАТЕРИАЛДАРЫ**

**МАТЕРИАЛЫ**

**Международной научно-практической конференции  
«Эффективные технологии производства цветных, редких и  
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической  
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,  
члена-корреспондента Академии наук РК,  
лауреата Государственной премии Республики Казахстан  
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

**PROCEEDINGS**

**of International scientific and practical conference  
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,  
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy  
science and industry concerns and in memory of well-known scientist  
of metallurgy, Associate Member of the National Academy  
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the  
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

**Алматы 2018**

**УДК 669**  
**ББК 34.3**  
**Э94**

**Ответственный редактор:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

**Жауапты редактор:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

**Редакционный совет:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**Редакциялық алқа:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»:** Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

**«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»:** Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

**ISBN 978-601-323-132-7**

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

**УДК 669**  
**ББК 34.3**

**ISBN 978-601-323-132-7**

© АО «ИМиО», 2018

# ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИВНОГО ЦИАНИРОВАНИЯ ГРАВИОКОНЦЕНТРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВОК ТИПА «АВГУСТ»

<https://doi.org/10.31643/2018-7.53>

**\*Комлев М.Ю., Муллов В.М., Евдокимов А.В., Богородский Е.В.**  
ORCID: 0000-0001-9159-0891 0000-0002-8606-1554 0000-0003-0202-3989 0000-0002-4782-4918

АО «Иргиредмет», г. Иркутск, Россия  
\*komlev@irgiredmet.ru

**Аннотация.** В АО «Иргиредмет» разработан и промышленно освоен ряд гидрометаллургических установок «АВГУСТ» модульного типа для интенсивного цианирования гравииоконцентратов с реакторами конусного типа вместимостью  $3 \div 10$  т как альтернатива «Gekko Systems», «CONSEP PTY LIMITED», «Sepro Mineral Systems». Цианирование и отмывку загруженного материала осуществляют импульсной подачей растворов. Обезметалливание продуктивных растворов после интенсивного цианирования гравииоконцентратов проводят в проточном электролизере конструкции АО «Иргиредмет» с извлечением 98,9% золота. Основными преимуществами установки «АВГУСТ» являются: особый режим подачи растворов; особая конструкция конуса выщелачивания; простая конструкция модульной установки и полная автоматизация процесса. Установка может работать в составе ЗИФ, а также автономно.

Технологические схемы извлечения золота из руд отличаются большим разнообразием. Выбор той или иной схемы зависит от многих факторов, из которых главными являются характер золота в руде, прежде всего, его крупность, вещественный состав руд, характер минералов, с которыми ассоциировано золото, присутствие других ценных металлов, а также других компонентов, осложняющих технологию переработки [1].

Золото в рудах присутствует в виде золотин разных размеров и форм. Для его извлечения применяют как физические (гравитация, флотация), так и химические (цианирование и т.п.) методы. Довольно часто в рудах встречается крупное свободное золото (+0,071 мм), которое плохо извлекается не только флотационным обогащением, но и при гидрометаллургической переработке. Поэтому его предварительное выделение гравитационным обогащением в начале технологического процесса позволяет снизить потери золота с отвальными хвостами.

Однако продукты, получаемые после первичного гравитационного обогащения, обычно являются бедными по золоту. Для получения удобного для переработки в товарную продукцию (слитки металла Доре) концентрата с содержанием не менее 10% драгоценных металлов (так называемую «золотую головку») эти продукты доводят в гравитационных аппаратах различного типа (концентрационных столах, центробежных концентраторах, винтовых и магнитных сепараторах и других устройствах). В результате обогащения кроме «золотой головки» получают менее богатые продукты, которые требуют дальнейшей переработки. В «золотую головку» обычно извлекают не более 20÷50% золота из гравииоконцентрата. «Золотая головка» представляет собой визуально богатый золотосодержащий концентрат, обеспечение сохранности которого является сложной и трудноосуществимой задачей.

Альтернативой гравитационной доводке концентратов до «золотой головки» стала получившая развитие относительно недавно технология интенсивного цианирования (ИЦ) гравииоконцентратов с содержанием драгоценных металлов от 100÷200 до 1000÷2000 г/т. Она обладает целым рядом преимуществ, среди которых – высокая степень извлечения металлов – до 95÷98%, возможность извлечения упорного и тонкого

золота, высокая степень механизации и автоматизации, обеспечение сохранности металлов и т.д.

В мировой практике известны несколько вариантов реализации технологии интенсивного цианирования - «GEKKO SYSTEMS» в реакторах ILR барабанного типа, «CONSER PTY LIMITED» в реакторах «Acacia» конусного типа, «SEPRO MINERAL SYSTEMS» в конусной установке SLR [2, 3].

В АО «Иргиредмет» разработан и промышленно освоен ряд автономных гидрометаллургических установок «АВГУСТ» модульного типа для интенсивного цианирования гравиконоцентраторов с реакторами конусного типа вместимостью 3÷10 т, рассчитанных, в том числе, на возможность работы без привязки к другому гидрометаллургическому производству.

*Краткая характеристика продукта обогащения.* В качестве исходного материала для проведения исследований по интенсивному цианированию был использован гравиконоцентратор из руды одного из золоторудных месторождений России. Химический состав гравиконоцентратора и промпродукта представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав гравиконоцентратора и промпродукта

Компоненты	Массовая доля, %	Компоненты	Массовая доля, %
SiO <sub>2</sub>	37,8	S <sub>сульф.</sub>	11,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,0	S <sub>окисл.</sub>	< 0,20
TiO <sub>2</sub>	0,45	Sb <sub>общ.</sub>	0,007
CaO	2,05	As <sub>общ.</sub>	11,7
MnO	0,047	Cu	0,093
K <sub>2</sub> O	1,35	Pb	0,068
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,085	Zn	0,06
Fe <sub>общ.</sub>	18,3	CO <sub>2 кар.</sub>	1,41
Fe <sub>окисл.</sub>	3,88	C <sub>орг.</sub>	< 0,050
Fe <sub>сульф.</sub>	14,42	Au, г/т	360,0
S <sub>общ.</sub>	12,0	Ag, г/т	24,3

Химический состав гравиконоцентратора, приведённый в таблице 1, показывает, что он состоит из породообразующих минералов - 53,6 %, в основном полевых шпатов и кварца. Рудная часть составляет 42,3 %, представлена преимущественно железом, мышьяком и серой в сульфидной форме. Золото в гравиконоцентрате мелкое и тонкодисперсное (78 % класса крупности минус 3-25 мкм) свободное и ассоциированное с сульфидами (арсенопирит, пирит-марказит), на долю крупного самородного золота приходится 22 %.

*Результаты лабораторных и укрупненных испытаний интенсивного цианирования.* В АО «Иргиредмет» проведен комплекс лабораторных исследований по подбору оптимальных условий интенсивного цианирования.

Цианирование гравиконоцентратора в стандартных условиях (бутылочный агитатор) проводили при исходной концентраций NaCN и NaOH в выщелачивающем растворе - по 10 г/л, Ж:Т=5:1, добавки LeachWell (из расчета 1 г реагента на 1 г извлекаемого золота) и PbO – 1 кг/т. Установлено, что максимального уровня концентрация золота в растворе достигает за 12 ч – 69,4 мг/л.

Изучено влияние расхода NaCN (в диапазоне 4÷10 кг на 1 т концентрата) на кинетику растворения золота. Установлено, что оптимальный расход NaCN составил 6 кг/т, при этой загрузке максимальная концентрация золота в растворе достигается за 8 часов выщелачивания. Среднее балансовое содержание золота в концентрате составило

360,9 г/т. Средний уровень остаточного содержания золота в кеках составил 14,5 г/т, что соответствует извлечению 95,8 %. Потери золота с хвостами, по-видимому, связаны с его тонкой вкрапленностью в сульфидах.

Для оценки полноты извлечения золота из гравиионоконцентрата кеки интенсивного цианирования были подвергнуты шаровому и сверхтонкому измельчению и процианированы в режиме, принятом для выщелачивания золота из хвостов гравитации: Ж:Т=1,5:1, концентрация NaCN – 1,0 г/л, продолжительность цианирования – 24 ч, расход извести – 2 кг/т. Результаты по цианированию представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние крупности измельчения кеков интенсивного цианирования гравиионоконцентрата на доизвлечение золота

Крупность материала	Исходное содержание золота, г/т	Содержание Au в кеке, г/т	Извлечение Au от операции, %
95 % класса минус 74 мкм	14,5	12,7	12,4
95 % класса минус 20 мкм		2,37	83,6

Как следует из таблицы 2, доизмельчение в шаровой мельнице до крупности 95 % класса минус 74 мкм позволяет доизвлечь из кека интенсивного цианирования порядка 12,4 % золота. После сверхтонкого помола кека интенсивного цианирования до 95 % класса 20 мкм извлечение золота при цианировании составило 83,6 % (от операции). Это подтверждает вывод о тонкой вкрапленности золота.

Укрупнённые испытания технологии ИЦ проводили на модельной конусной установке интенсивного цианирования, работающей в импульсном перколяционном режиме в восходящем потоке. Установка позволяет вести выщелачивание и отмывку твёрдого при Ж:Т=0,6 и исключает вынос шламов. С учётом результатов лабораторных исследований в АО «Иргиредмет» был проведён полный цикл выщелачивания золота из гравиионоконцентрата при следующих условиях: масса пробы – 5 кг, Ж:Т=0,6:1 (объём раствора 3000 мл), загрузка NaCN – 6 кг/т, NaOH заменен на CaO с загрузкой 5 кг/т. Выщелачивание проводили в течение 10 ч, а затем пески отмывали чистой водой порциями в объёме одного импульса – 300 мл.

Данные по изменению концентраций компонентов в процессе выщелачивания представлены в таблице 3, изменению концентрации компонентов в процессе отмывки песков – в таблице 4.

Таблица 3 – Динамика выщелачивания золота из гравиионоконцентрата в конусной установке АО «Иргиредмет»

Компоненты	Концентрации компонентов при продолжительности выщелачивания, ч					
	2	4	6	8	9	10
NaCN, г/л	9,4	9,4	9,2	9,1	9,0	9,0
CaO, г/л	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Au, мг/л	394,2	475,1	547,7	552,5	566,8	566,8

Таблица 4 – Динамика отмывки золота и цианида в конусной установке

Компоненты	Концентрации компонентов в порциях промывного раствора									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NaCN, г/л	5,8	3,4	2,8	1,4	0,5	0,15	0,07	0,05	сл	сл
CaO, г/л	0,17	0,12	0,10	0,10	0,07	0,07	0,05	0,05	сл	сл
Au, мг/л	346,7	197,2	104,7	76,5	48,4	36,8	14,9	11,4	-	-

Как видно из таблиц 3 и 4, при концентрации цианида 9,0 г/л процесс растворения золота полностью заканчивается за 9 ч. 8 порций чистой воды (суммарный объём 2400

мл) оказалось достаточно для полной отмывки песков от цианида и извести. Расчётная степень отмывки золота составила 97,9 %. После отмывки получена твёрдая фаза хвостов с содержанием золота 20,8 г/т. Рассчитанное по балансу исходное содержание золота составило 360,8 г/т и его извлечение в раствор – 94,2 %.

*Интенсивное цианирование продуктов обогащения на промышленной установке «АВГУСТ КШ-3»*

Промышленные автономные гидрометаллургические установки «АВГУСТ КШ-3» прошли испытания и успешно эксплуатируются с получением стабильных показателей на золотоизвлекательных фабриках России.

Процесс интенсивного цианирования на установке «АВГУСТ КШ-3» (рис. 2) происходит в периодическом режиме и включает следующие операции: загрузка концентратов в конусный реактор; создание необходимой концентрации реагентов и параметров среды в циркулирующем растворе; цианирование концентрата в модуле выщелачивания с извлечением золота в продуктивные растворы; отбор продуктивных растворов и отмывка твердой фазы от растворенного золота, цианида, щелочи промывными растворами; отбор промывных растворов импульсным вытеснением оборотной водой ; разгрузка кека.

Цианирование и отмывку загруженного материала осуществляют импульсной подачей растворов в конусный аппарат. Промытую твёрдую фазу возвращают в цикл измельчения либо на спецскладирование. Часть промывных растворов используют в обороте, часть направляют на обезметалливание цементацией либо сорбцией на активный уголь или смолу.



Рисунок 2 – Модульная установка интенсивного цианирования Август КШ-3

В реальном производственном процессе гравиконоцентрат перерабатывают на модульных установках «АВГУСТ КШ-3» при режимных параметрах, представленных в таблице 8.

Обезметалливание продуктивных растворов после интенсивного цианирования гравиконоцентратов проводили в проточном многокамерном электролизере конструкции АО «Иргиредмет», который обеспечивал извлечение 98,9% золота в катодный осадок. Маточные растворы электролиза и кеки интенсивного цианирования после доизмельчения направляли совместно с флотационным концентратом на сорбционное выщелачивание.

Таблица 8 – Режимные параметры ведения процесса интенсивного выщелачивания золота из гравииконцентрата на модульной установке «АВГУСТ КШ-3»

Наименование показателей	Значение показателей
Режим работы	Периодический
Содержание золота в концентрате, г/т	360,0
Общая продолжительность цикла, ч	12,0
Отношение Ж:Т на стадии выщелачивания	0,6:1
Температура выщелачивающего раствора, °С	30-40
Концентрация реагентов, г/л:	
NaCN	10
NaOH	10
Извлечение золота в раствор от операции, %	96,7
Содержание золота в твердой фазе хвостов, г/т	11,8
Расход реагентов на 1 т концентрата (1 т руды), кг:	
NaCN	3,2
NaOH	15,0
Операция обезметалливания продуктивных растворов	Электролиз
Концентрация золота в продуктивном растворе, мг/л	290,0
Концентрация золота в обедненном растворе, мг/л	3,1
Извлечение золота из раствора от операции, %	98,9

Основными преимуществами разработанной в АО «Иргиредмет» установки «АВГУСТ КШ-3» являются:

- особый режим подачи растворов, который позволяет интенсифицировать процесс выщелачивания, получать чистый (светлый) слив конуса и исключает операцию предварительного обесшламливания концентрата;

- особая конструкция конуса выщелачивания позволяет аккумулировать частицы крупного золота, что исключает их вынос с хвостами выщелачивания и обеспечивает их полное растворение в последующих циклах выщелачивания;

- простая конструкция модульной установки и полная автоматизация процесса позволяет минимизировать количество обслуживающего персонала.

Модуль интенсивного цианирования «АВГУСТ КШ-3» может функционировать совместно с модулем обезметалливания, в состав которого могут быть включены ёмкости для растворов, электролизёр с источником тока и / или цементатор.

Установка может работать (рисунок 3) в составе ЗИФ при соединении технологических потоков ЗИФ и «АВГУСТ КШ-3», а также автономно, например, на переработке давальческих концентратов со спецскладированием отмытых кеков ИЦ и обезметалленных и обезвреженных растворов.

В июне 2018 г смонтирована и введена в эксплуатацию установка «АВГУСТ» КШ-3 на промплощадке ТОО «Североказахстанская металлургическая компания» в с. Булак Есильского района Северо-Казахстанской области.

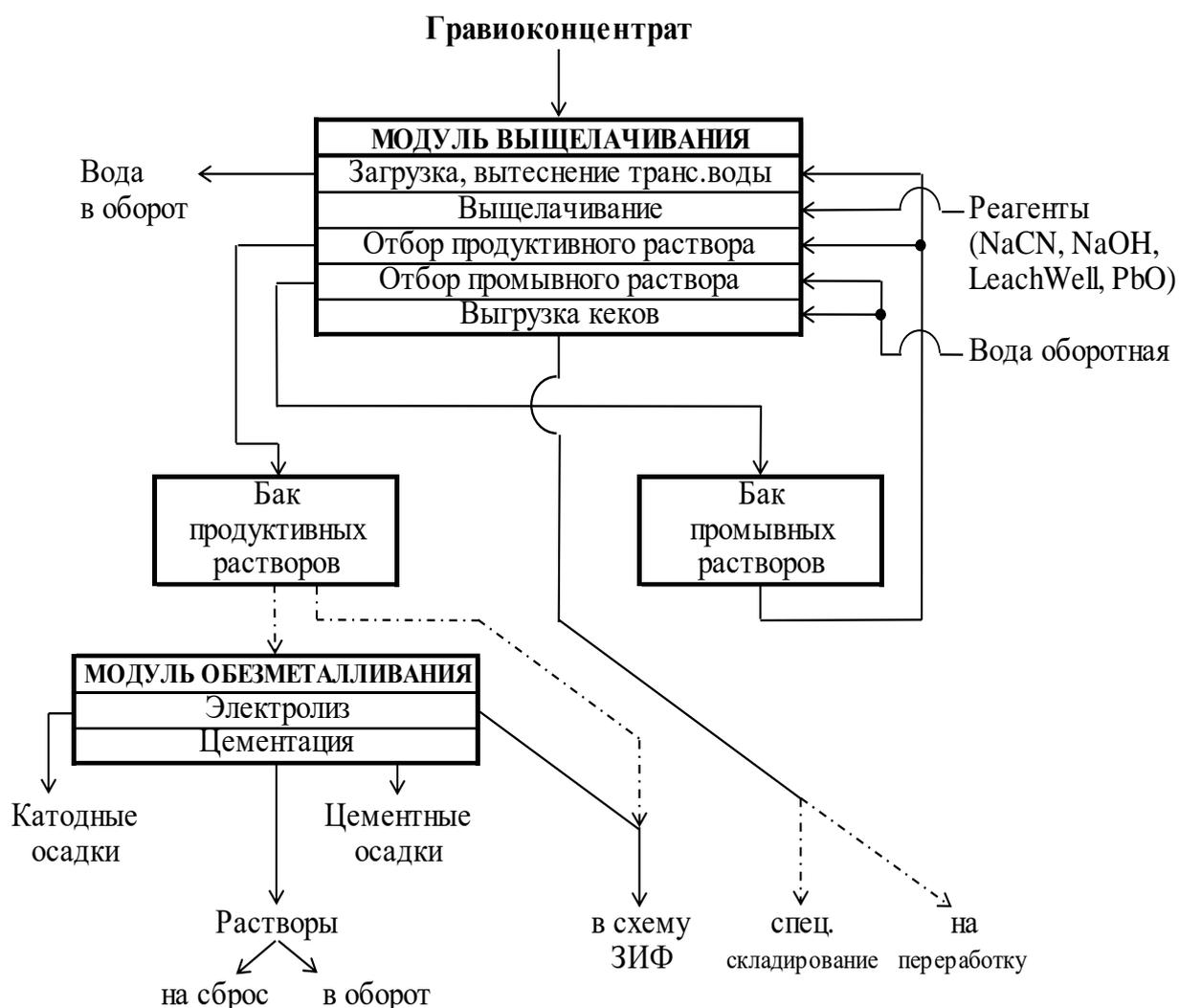


Рисунок 3 – Варианты включения установки «АВГУСТ» в схему ЗИФ

*Выводы.* Результаты лабораторных и полупромышленных испытаний и данные по переработке продуктов обогащения на реальных производствах с использованием модульной установки интенсивного цианирования «АВГУСТ КШ-3» показывают, что разработанный оригинальный гидродинамический режим цианирования надежен и обеспечивает возможность эффективной переработки гравиоконцентратов полидисперсного состава без их предварительного обесшламливания. Установки надежны в эксплуатации и просты в конструктивном исполнении.

Получаемые продуктивные и промывные растворы по кондициям благоприятны для выделения из них металла методами электролиза, цементации на цинковую пыль и обезметалливания в колоннах на активированный уголь. Кеки ИЦ могут быть направлены в общий узел рудоподготовки, после доизмельчения совместно с промпродуктами гравитации и / или другими продуктами обогащения направлены на цианирование и сорбционное выщелачивание либо их можно накапливать в спецхранилищах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Металлургия благородных металлов. Под общ. ред. Л.В. Чугаева М.: Metallurgia, 1987. - 432 с.

2 Оборудование компании Gekko Systems. Федеральный информационный фонд отечественных и иностранных каталогов на промышленную продукцию. 2010 г.

3 Барченков В.В. Основные технологические процессы переработки золотосодержащих руд. Санкт-Петербург: ИЦ Интермедиа, 2013.

## INTENSIVE CYANIDATION TECHNOLOGY OF GRAVITY CONCENTRATES USING PLANTS “AUGUST”

Komlev M.Yu., Mullov V.M., Yevdokimov A.V., Bogorodsky Ye.V.

ORCID: 0000-0001-9159-0891 0000-0002-8606-1554 0000-0003-0202-3989 0000-0002-4782-4918

“Irgiredmet” JSC, Irkutsk, Russia,

\*komlev@irgiredmet.ru

**Abstract.** *A series of hydrometallurgical plants of modular type “AUGUST” for intensive cyanidation of gravity concentrates with 3-10 t cone type reactors was developed and introduced at Irgiredmet JSC as an alternative to “Gekko Systems”, “CONSEP PTY LIMITED” and “Sepro Mineral Systems”. Cyanidation and washing of the charged material is carried out by an impulse feeding of the solutions. Metal recovery from the pregnant solutions after an intensive cyanidation of the gravity concentrates is carried out in a flow EW cell developed by Irgiredmet JSC. In this case, the recovery of gold is 98.9%. The major advantages of plant “AUGUST” are: special regime of the solution feeding, leaching cone is of original design, simple construction of the modular plant and a full automatization of the process. The plant can operate as a part of a gold-processing plant, and autonomously.*