



УДК 622.342.1:622.77 (571.5)

Технологические исследования по переработке лежалых и текущих хвостов золотоизвлекательной фабрики «Высочайший» (Иркутская область, г. Бодайбо)

С. А. Прокопьев

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск
Иркутский научный центр СО РАН, Иркутск
Иркутский государственный университет, Иркутск*

Д. П. Гладкочуб

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск
Иркутский государственный университет, Иркутск*

М. Е. Шульгина

*Иркутский государственный университет, Иркутск
ООО ПК «Спирит», Иркутск*

Е. С. Прокопьев

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск
Иркутский государственный университет, Иркутск*

Аннотация. Появившиеся в последние десятилетия техногенные месторождения являются результатом интенсивного развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Увеличение объемов добычи золота, обусловленное растущим спросом на этот металл, с одной стороны, и резкое сокращение легкодоступных запасов золота в коренных рудах и, как следствие, снижение промышленных кондиций, с другой, послужили причиной активного вовлечения в переработку техногенных минеральных ресурсов. В настоящее время прослеживается устойчивая тенденция к включению гравитационного обогащения при переработке такого вида сырья. Проведенные исследования, вызванные актуальностью проблемы и поиском новых источников золота, которыми могут стать лежалые и текущие хвосты золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ) «Высочайший», предлагают перспективный и экологически чистый метод доизвлечения мелкого и тонкого золота. В данной работе рассмотрена технология обогащения золотосодержащих хвостов с применением уникального гравитационного оборудования – винтовых аппаратов для шламов, отмечены их конструктивные особенности и преимущества. Представлены обобщенные сведения, влияющие на процесс концентрации минеральных зерен, описаны важнейшие факторы по фазам (этапам) процесса сепарации, а также приведен минеральный состав, подтверждающий правильность выбора обогатительного оборудования в цикле первичной концентрации золота.

Ключевые слова: техногенные месторождения, золото, обогащение, винтовая сепарация, винтовые аппараты для шламов, минеральный состав, минеральные зерна, гравико-концентрат, ЗИФ «Высочайший», Иркутская область, г. Бодайбо.

Введение

Минерально-сырьевая база Иркутской области представлена рудными и россыпными месторождениями. Золотодобыча занимает ведущее направление, кроме того, по запасам рудного золота область находится на первом месте в России. На территории Бодайбинского района, который является центром золотодобывающей промышленности Иркутской области, расположены уникальные месторождения рудного золота – одним из них является Голец Высочайший. ГОК «Высочайший» включает в себя две золотоизвлекательные фабрики, общая мощность которых составляет около 4,5 млн т руды в год. Соответственно, в результате их промышленной деятельности образуются огромные объемы отходов, которые скапливаются на поверхности земли. Известно, что основные потери с хвостами при переработке рудного золота приходятся на тонкое, пластинчатое и пылевидное золото с размером частиц от миллиметра до нескольких микрон. Рост интереса по изучению извлечения такого золота во многом предопределен появлением эффективных технологий по переработке техногенного сырья, включающих гравитационные методы обогащения с применением винтовых аппаратов в качестве основного обогатительного оборудования.

Описание технологии винтовой сепарации и винтовых аппаратов

Винтовые аппараты представляют собой устройства, реализующие принцип разделения материала в наклонном безнапорном водном потоке малой глубины. Основным их рабочим органом является неподвижный наклонный желоб, имеющий форму спирали, закрученной вокруг вертикальной оси (рис. 1).

В конструкции винтовых аппаратов отсутствуют движущиеся и вращающиеся части, им не требуется подача электроэнергии. Они стабильно работают на оборотной воде. Процесс обогащения на винтовых аппаратах наблюдается визуально и поэтому легко поддается регулированию.

Пульпа подается в верхнюю часть желоба аппарата и под действием силы тяжести движется по нему вниз тонким слоем. При этом в результате сложного взаимодействия сил тяжести, трения, гидродинамического давления и центробежной тяжести минералы сосредоточиваются у внутреннего борта желоба, а легкие – у наружного. Продукты обогащения в нижней части желоба попадают в приемное устройство, снабженное отсекателем. Изменяя положения отсекателя по ширине потока, можно регулировать качество продуктов обогащения.

В зависимости от области применения винтовые аппараты имеют разные геометрические параметры и подразделяются на сепараторы и шлюзы [4]. Шлюзы имеют слабовогнутый профиль поперечного сечения желоба, применяются для обогащения тонкозернистых минералов (менее 0,5 мм) и отличаются ламинарным движением пульпы по желобу. Сепараторы имеют профиль сечения желоба более крутой, близкий к части эллипса, и применяются для обогащения материала крупностью до 2–3 мм.

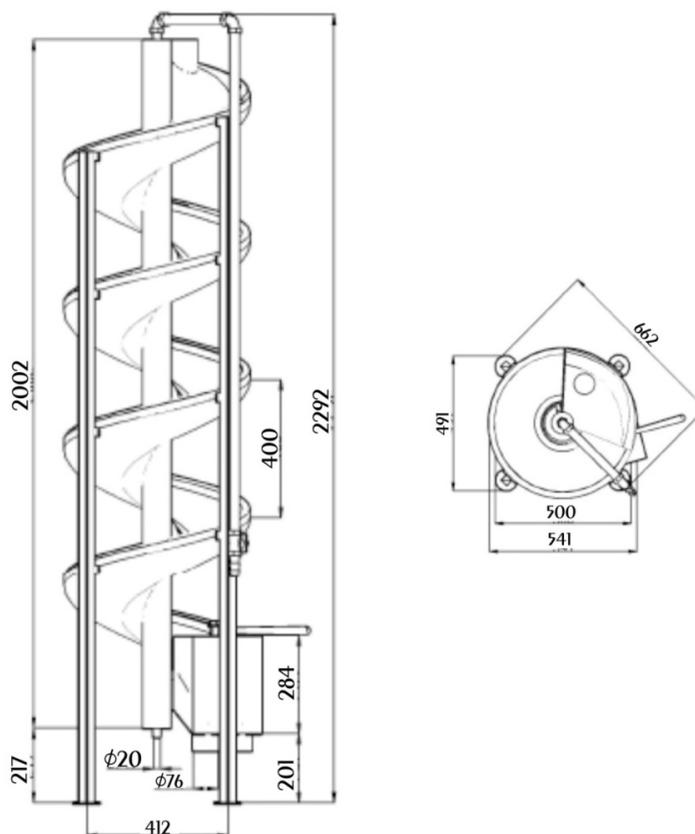


Рис. 1. Винтовой аппарат для шламов (ШВМ)

Преимущества винтовых аппаратов перед другим гравитационным оборудованием:

- не имеют движущихся частей и не требуют приводных устройств;
- процесс обогащения можно наблюдать визуально;
- легко регулируются, не требуют высокой квалификации персонала;
- разгрузка продуктов обогащения производится непрерывно;
- могут работать в широком диапазоне плотности пульпы;
- показывают высокую удельную производительность на 1 м² занимаемой площади и имеют низкие эксплуатационные затраты.

Механизмы разделения минеральных частиц на винтовых сепараторах

Процесс концентрации на винтовом сепараторе, по мнению большинства исследований, условно делится на три этапа:

- 1-й этап – транспортирование минеральных зерен в винтовом водном потоке;
- 2-й этап – расслоение минеральных зерен по желобу сепаратора;
- 3-й этап – разделение минеральных зерен в желобе сепаратора [7].

Протекание первого этапа достаточно полно изучено многими исследователями как на лабораторных, так и на промышленных аппаратах. Физическое, математическое моделирование, описание и анимация этого этапа концентрации различными авторами принципиальных различий не имеют. В большинстве случаев транспортирование описывается как движение вниз по винтовому желобу тяжелых, легких частиц и частиц промежуточной плотности в воде с различными скоростями. В зависимости от диаметра винтового желоба, а следовательно, его производительности, режим движения пульпы на винтовых аппаратах может иметь характер ламинарного (винтовые шлюзы), переходного (винтовые шлюзы и сепараторы), турбулентного (винтовые сепараторы и винтовые концентраторы). Основными факторами, влияющими на поведение пульпы на этапе транспортирования, являются гидродинамическое давление, сила тяжести и сила трения.

По мере того как пульпа течет по винтовому желобу сепаратора, происходит ее расслоение по вертикали. Расслоение (второй этап концентрации) обычно рассматривается как результат сочетания стесненного падения минеральных зерен и просачивания их в промежутках друг между другом. Также благодаря относительно высокой скорости сдвига потока в винтовом желобе значительную роль играет сила Багнольда (сила вертикального сдвига частиц). В результате этого этапа происходит следующее: по вертикали тяжелые частицы переходят в низкоскоростную зону потока пульпы (образующуюся в результате сил трения) у поверхности желоба, а легкие наслаиваются над ними в зоне потока с большей скоростью. Спиральный изгиб транспортирующей поверхности винтового сепаратора служит причиной возникновения градиента скорости текущего потока не только в вертикальном, но и в радиальном направлении, т. е. центробежного (рис. 2).

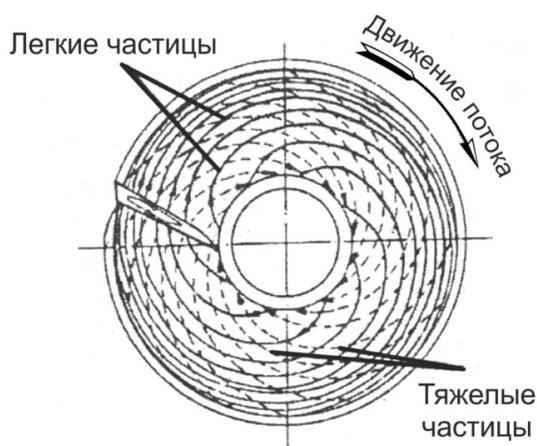


Рис. 2. Поперечная циркуляция пульпы на винтовом желобе

Различия в центробежных силах, действующих на различные компоненты потока, заставляют его циркулировать в поперечном направлении. Струя потока вблизи его поверхности движется к наружному борту винта с максимальной скоростью; далее она движется вниз у поверхности винта. Затем, придерживаясь спиральной поверхности, направляется к внутреннему борту. Эта поперечная циркуляция потока заставляет тяжелые минералы перемещаться внутри по направлению к сборнику концентрата, а легкие, быстро плывущие, но медленно оседающие минералы остаются на траектории внешнего борта сепаратора.

Особенностью многих винтовых сепараторов является добавка смывной воды во внутренний радиус желоба через небольшие промежутки его высоты. Добавка этой воды помогает отделять легкие частицы от поверхности слоеной постели минералов у внутреннего радиуса витка и направлять их к его наружному радиусу.

Многие исследователи занимались изучением конечного этапа концентрации на винтовом сепараторе – разделения.

Попробуем рассмотреть некоторые из известных концепций. Для объяснения сущности разделения расслоившихся частиц на винтовых аппаратах имеется несколько подходов. При объяснении механизма разделения частиц в радиальном направлении в желобе винтового аппарата М. Глишн [10] придает важное значение поперечной циркуляции; его поддерживает А. Таггарт [9]. Существенным фактором процесса разделения частиц на винтовом аппарате А. И. Поваров [5] считал также поперечную циркуляцию. Л. Г. Подкосов [6] склоняется к точке зрения К. В. Соломина [8], отмечая, что разделение минеральных частиц в желобе винтового аппарата осуществляется по установившимся скоростям их движения, что, в конечном счете, влечет за собой появление различных траекторий и скоростей движения как для тяжелых, так и для легких частиц.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что расслоение тяжелых фракций минералов на винтовых сепараторах происходит под действием различных механизмов: классификации (стесненное движение частиц), просачивания (межзерновые промежутки), вертикального сдвига Багнольда, а также поперечной циркуляции потока пульпы. Во многих аппаратах для гравитационного обогащения присутствуют первые два механизма, в некоторых – первые три, но наличие поперечной циркуляции потока пульпы делает винтовые аппараты уникальным оборудованием.

Исследования по переработке лежалых и текущих хвостов ЗИФ «Высочайший»

При переработке техногенного минерального сырья, содержащего благородные металлы, в настоящее время прослеживается устойчивая тенденция к включению гравитационного обогащения в технологию их переработки [1; 3; 4]. В отделе комплексного использования минерального сырья Института земной коры СО РАН совместно с Инжиниринговым центром по переработке техногенного сырья Иркутского государственного университе-

та, а также Иркутским научным центром СО РАН и ООО ПК «Спирит» проведены технологические испытания на лабораторных пробах лежалых и текущих хвостов ЗИФ «Высочайший» по схеме, включающей первичную концентрацию золота методом гравитационного обогащения с применением винтовых аппаратов.

Минеральный состав пробы текущих хвостов ЗИФ «Высочайший»

Правильно выбрать способ технологической переработки минерального сырья нельзя без детального изучения его вещественного состава. Одним из главных направлений при изучении вещественного состава и оценки технологических свойств является минералогический состав, т. е. содержание минералов, и выявление формы проявления важнейших элементов, входящих в состав исследуемого сырья [2].

В настоящей работе представлены данные минерального состава пробы текущих хвостов ЗИФ «Высочайший». Для проведения минералогического анализа была отобрана навеска массой 64,5 г. Полуколичественный минералогический анализ проведен с предварительным гравитационным фракционированием материала пробы в бромформе ($\rho = 2,9 \text{ г/см}^3$). При проведении гравитационного фракционирования материала пробы выделены две фракции – легкая и тяжелая (табл. 1).

Таблица 1

Результаты гравитационного фракционирования пробы
текущих хвостов ЗИФ «Высочайший» в бромформе

Фракция	Выход, %	Минералы фракции
Легкая ($< 2,9 \text{ г/см}^3$)	93,6	Кварц, мусковит, обломки породы, карбонаты
Тяжелая ($> 2,9 \text{ г/см}^3$)	6,4	Магнетит, ильменит, сульфиды, гидроокислы железа, эпидот, карбонаты, обломки породы
Итого	100,0	

Данные гравитационного фракционирования пробы хвостов свидетельствуют о том, что основная масса материала представлена минералами легкой фракции – кварцем, мусковитом, обломками породы, карбонатами. Суммарно ее содержание в пробе составило 93,6 %. На долю тяжелой фракции приходится всего 6,4 % материала пробы.

Необходимо отметить, что карбонатные минералы и обломки породы присутствуют как в легкой фракции, так и в тяжелой. Наличие карбоната в обеих фракциях обусловлено их переменчивой плотностью – от 2,6 до 3,9 г/см^3 в зависимости от минерального вида. Обломки породы карбонатного состава по этой же причине извлекаются в тяжелую фракцию.

Минеральный состав пробы определен с помощью методов оптико-минералогического анализа с применением бинокулярного стереоскопического микроскопа «Микромед МС-2 ZOOM» и поляризационного микроскопа «МИН-8» (табл. 2).

Из анализа приведенных данных видно, что исследуемая проба на 43,8 % состоит из обломков породы. Они представлены серыми и черно-серыми обломками сланцев кварцево-углисто-сланцевого состава, иногда в их составе присутствуют карбонаты. На долю породообразующих минералов (кварц, слюда) приходится 37,8 %. В количестве 9,4 % установлены карбонаты, в 4,1 % – турмалин, 2,6 % – магнетит. На долю сульфидных минералов (пирит, пирротин, халькопирит) суммарно приходится 1,3 % пробы. В единичных зернах отмечены апатит и пироксены. Вторичные минералы (гидроокислы железа) установлены в количестве 0,1 %. Содержание эпидота составило 0,2 %.

Таблица 2
Минеральный состав пробы текущих хвостов ЗИФ «Высочайший»

Минерал	Содержание, %
Кварц	34,1
Мусковит	3,7
Карбонаты	9,4
Обломки породы	43,8
Турмалин	4,1
Амфиболы	0,2
Пироксены	Ед. зн.
Магнетит	2,6
Ильменит	0,4
Сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит)	1,3
Гидроокислы железа	0,1
Эпидот	0,2
Апатит	Ед. зн.
Итого:	99,9

Технологическая схема концентрации золота и методика проведения эксперимента на винтовом сепараторе

Анализ имеющейся информации по характеристике вещественного состава и данных, приведенных выше, позволяют применить для первичной концентрации золота технологию винтовой сепарации.

Подготовка исходного материала текущих и лежалых хвостов ЗИФ «Высочайший» к процессу обогащения на винтовых аппаратах состояла в проведении следующих последовательных операций:

– длительное нахождение материала проб в хвостохранилище обуславливает проведение операции диспергирования минеральных частиц в водной среде перед обогащением. Механоактивация исходного материала способствует осуществлению совместно или параллельно операций размачивания, размывания, перемешивания, разрыхления и очистки минеральных зерен друг от друга;

– дешламация (методом отмучивания) с целью удаления шламистого класса крупности менее 0,02 мм, определяющего неизбежные потери при гравитации и флотации.

Концепция построения технологической схемы обогащения подчинена, в первую очередь, обеспечению наиболее высоких показателей извлечения золота по гравитационной технологии, являющейся экологически чистой и с более низкими эксплуатационными затратами (рис. 3) [1; 3; 4].

Крупность исследуемого материала проб (менее 0,125 мм) является благоприятной для его обогащения на винтовых аппаратах для шламов (ШВм), ламинарный режим которых позволяет эффективно извлекать минеральные зерна крупностью от 0,5 до 0,020 мм.

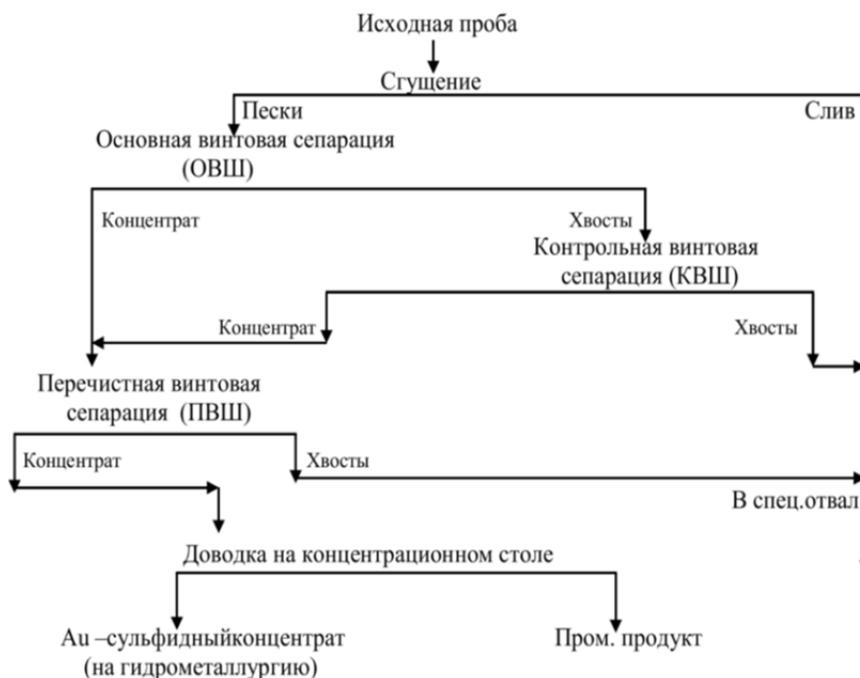


Рис. 3. Принципиальная схема обогащения лежалых и текущих хвостов ЗИФ «Высочайший»

В целом технологическая схема лабораторных испытаний сконструирована с учетом определения оптимального количества операций для максимального извлечения золота.

Гравитационная технология извлечения золота состояла из трехстадийной винтовой сепарации на винтовом аппарате для обогащения шламов (ШВм), с контрольной операцией хвостов и перечисткой концентрата с целью получения качественного черного гравиконоцентрата.

При выборе режима сепарации учитывалась практика и результаты исследований по сепарации на винтовых сепараторах мелко- и тонкозернистого материала [4]. Режим винтовой сепарации: производительность по твердому основной винтовой сепарации – 350 кг/ч при содержании твердого в питании – 40–45 %; в контрольной – 300 кг/ч при 40 % твердого; в перечистой – 250 кг/ч при 40 % твердого.

Доводка гравикоцентриратов обеих проб, полученных в результате технологических исследований, проводилась путем концентрации на столе.

Результаты

Полученные продукты обогащения после отстаивания, фильтрации методом декантации, сушки, взвешивания путем методического перемешивания подготавливались к аналитическим работам.

С целью минимизации ошибки анализа за счет квартования продуктов обогащения, поступающих на пробирный анализ, полученные концентраты истирались и подвергались анализу полностью (табл. 3).

Таблица 3

Показатели обогащения двух проб хвостов ЗИФ «Высочайший»

Наименование продуктов	Выход, %	Массовая доля, Au г/т	Извлечение, %	Выход, %	Массовая доля, Au г/т	Извлечение, %
	Лежалые хвосты			Текущие хвосты		
Гравитационное обогащение по технологии винтовой сепарации						
Гравикоцентрират	1,45	20,83	40,86	3,69	5,81	46,60
Промпродукт	5,08	2,01	14,10	-	-	-
Продукты в спец. отвал: в том числе:						
Слив	47,80	0,41	26,65	33,76	0,26	19,03
Хвосты винтовой сепарации	45,67	0,30	18,39	62,55	0,26	34,37
Исходная проба	100,00	0,74	100,00	100,00	0,46	100,00
Концентрационный стол						
Концентрат	0,03	485,96	31,43	0,34	50,68	37,21
Хвосты стола	1,42	11,02	9,43	3,35	1,29	9,39
Исходный гравикоцентрират	1,45	20,83	40,86	3,69	5,81	46,60

Результаты опытов гравитационного обогащения лежалых и текущих хвостов ЗИФ «Высочайший» показывают, что полученные концентраты с содержанием благородного металла 20,83 и 50,68 г/т могут быть отправлены на заводы цветной металлургии или переработаны на действующей обогатительной фабрике гидрометаллургическим методом (цианированием).

Заключение

Опираясь на вышеизложенные результаты тестовых испытаний, можно заключить следующее.

Результаты проведенных лабораторных технологических исследований лежалых и текущих хвостов ЗИФ «Высочайший» позволяют характеризовать их как потенциально возможные промышленные объекты.

Хвосты ЗИФ «Высочайший» могут быть переработаны по гравитационной технологии с применением винтовых аппаратов конструкции и производства ООО ПК «Спирит».

В качестве гравитационного аппарата в соответствии с крупностью обрабатываемого материала использованы винтовые аппараты для обогащения шламов (ШВМ).

Винтовые аппараты отличаются простотой устройства, стабильно работают на оборотной воде, кроме того, процесс обогащения наблюдается визуально и поэтому легко поддается регулированию. Необходимо отметить, что винтовые аппараты нового поколения эффективно извлекают в концентрат тяжелые минералы крупностью до 2 мм, что позволяет применять однотипное оборудование в цикле гравитационного обогащения. Данный фактор будет способствовать снижению эксплуатационных затрат, а именно уменьшению времени остановки оборудования на ремонт, отсутствию затрат на запчасти.

Вовлечение в отработку лежалых и текущих хвостов ЗИФ «Высочайший» позволит увеличить минерально-сырьевую базу золота и продлить сроки работы предприятия.

Список литературы

1. Аникин М. Ф. Винтовые аппараты для обогащения руд / М. Ф. Аникин, В. Д. Иванов, М. Л. Певзнер. – М. : Недра, 1970. – 184 с.
2. Дорошенко И. В. Технологические свойства минералов : справ. для технологов / И. В. Дорошенко, Т. В. Башлыкова. – М. : Теплоэнергетик, 2007. – 296 с.
3. Зеленов В. И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд / В. И. Зеленов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1989. – 302 с.
4. Иванов В. Д. Винтовые аппараты для обогащения руд и россыпей в России / В. Д. Иванов, С. А. Прокопьев. – М. : Дакси, 2000. – 239 с.
5. Поваров А. И. Испытание обогатимости отходов обогатительной фабрики им. С. М. Кирова на вертикальном спиральном сепараторе / А. И. Поваров. – СПб. : Фонды Механобра, 1952. – 52 с.
6. Подкосов Л. Г. О развитии теории гравитационного обогащения / Л. Г. Подкосов // Минерал. сырье. – 1970. – № 21. – С. 12–17.
7. Прокопьев Е. С. Существующие механизмы разделения минеральных частиц на винтовых сепараторах / Е. С. Прокопьев, С. А. Прокопьев, К. В. Федотов // Горн. информ.-аналит. бюл. : науч.-техн. журн. – 2014. – № 1. – 20 с.
8. Соломин К. В. Общие принципы процесса обогащения полезных ископаемых на винтовых сепараторах / К. В. Соломин. – М. : Госгортехиздат, 1960. – 395 с.
9. Таггарт А. Ф. Основы обогащения руд / А. Ф. Таггарт. – М. : Metallurgizdat, 1958. – 566 с.
10. Gleeson G. W. Why the Humphreys spiral works. Eng. And Mining J., 1945, N 3. – P. 15–17.

Technological Research on Processing of Mature and Fresh Tailings of GMF Vysochaishy (Irkutsk Region, Bodaibo)

S. A. Prokopiev

*Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk
Irkutsk Scientific Center of SB RAS, Irkutsk
Irkutsk State University, Irkutsk*

D. P. Gladkochub

*Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk
Irkutsk State University, Irkutsk*

M. E. Shulgina

*Irkutsk State University, Irkutsk
ООО PK Spirit, Irkutsk*

E. S. Prokopiev

*Institute of the Earth's Crust of SB RAS, Irkutsk
Irkutsk State University, Irkutsk*

Abstract. The rising number of technogenic mineral deposits in recent decades is a result of the intensive development of the mining and processing industry. Increasing extraction of gold caused by the growing demand on this precious metal coupled with a drastic reduction of the reserves of easily recoverable gold from ores on the one hand and, as a consequence, a lowering of the industrial standards, on the other hand, have been driving forces to investigate the enrichment of technogenic mineral resources. There is a stable tendency at present to include gravity concentration into processing of this type of the mineral resources. The importance of the problem and a search for new sources of gold have motivated an investigation into a potentially efficient and environmentally clean technology of additional recovery of small and fine gold from mature and fresh tailings of GMF “Vysochaishy”. This study examines a method of processing gold-bearing tailings using a unique gravity concentration equipment, known as spiral chute slime separators, highlights their design features and advantages. It underlines factors that influence the process of concentration of mineral grains, describes peculiarities of each phase (stage) of separation, as well as gives mineral composition confirming the correct choice of the enrichment equipment at the initial cycle of the gold concentration.

Keywords: technogenic deposits, gold, mineral processing, spiral separation, spiral chute slime separators, mineral composition, mineral grains, gravity concentrate, GMF “Vysochaishy”, Bodaibo Irkutsk oblast.

References

1. Anikin M.F., Ivanov V.D., Pevzner M.L. *Vintovye apparaty dlya obogashcheniya rud* [Spiral devices for ore processing]. Moscow, Nedra, 1970, 184 p.
2. Doroshenko I.V., Bashlykova, T.V. *Tekhnologicheskie svoistva mineralov: Spravochnik dlya tekhnologov* [Processing properties of minerals: Handbook for process engineers]. Moscow, Teploenergetik, 2007, 296 p.
3. Zelenov V.I. *Metodika issledovaniya zoloto- i serebrosoderzhashchikh rud* [Technique of gold- and silver-bearing ores researching]. Moscow, Nedra, 1989, 301 p.
4. Ivanov V.D., Prokopiev S.A. *Vintovye apparaty dlya obogashcheniya rud i rossypei v Rossii* [Spiral apparatuses for concentration of ores and placers in Russia]. Moscow, Daksi, 2000, 239 p.
5. Povarov A.I. *Ispytanie obogatimosti otkhodov obogatitelnoi fabriki im. S.M. Kirova na vertikal'nom spiral'nom separatore* [Experimental dressing of S.M. Kirov Processing Factory tailings using vertical spiral separator]. St. Petersburg, Fondy Mekhanobra, 1952, 52 p.
6. Podkosov L.G. Developing gravity enrichment theory [Mineral'noe syrie], 1970, vol. 21, pp. 12-17 (in Russian).
7. Prokopiev E.S., Prokopiev S.A., Fedotov K.V. Existing mechanisms of division of mineral particles in spiral separators [Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'], 2014, 20 p.
8. Solomin K.V. *Obshchie printsipy protsessa obogashcheniya poleznykh iskopaemykh na vintovykh separatorakh* [General principals of spiral separation of mineral resources in spiral separators]. Moscow, Gosortekhzdat, 1960, 395 p.
9. Taggart A.F. *Osnovy obogashcheniya rud* [Basics of ore dressing]. Moscow, Metallurgizdat, 1958, 566 p.
10. Gleeson G.W. Why the Humphreys spiral works [Engineering and Mining Journal], 1945, vol. 3, pp. 15-17.

Прокопьев Сергей Амперович
 начальник, отдел комплексного использо-
 вания минерального сырья
 Институт земной коры СО РАН
 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
 ведущий инженер
 Иркутский научный центр СО РАН
 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134
 директор, инжиниринговый центр
 по переработке техногенного сырья
 Иркутский государственный университет
 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
 тел.: (3952) 42-79-38, 52-15-56
 e-mail: s.a.prok@gmail.com

Гладкочуб Дмитрий Петрович
 член-корреспондент РАН, профессор
 РАН, доктор геолого-минералогических
 наук, директор
 Институт земной коры СО РАН
 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
 кафедра полезных ископаемых,
 геологический факультет
 Иркутский государственный университет
 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
 тел.: (3952) 42-70-00
 e-mail: dima@crust.irk.ru

Шульгина Мария Евгеньевна
 ведущий инженер, инжиниринговый центр
 по переработке техногенного сырья
 Иркутский государственный университет
 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1,
 заведующая, лаборатория обогащения
 твердых полезных ископаемых
 ООО ПК «Спирит»
 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
 тел.: (3952) 42-85-62
 e-mail: marya.schulgina@yandex.ru

Прокопьев Евгений Сергеевич
 инженер-обогадитель, отдел комплексно-
 го использования минерального сырья
 Институт земной коры СО РАН
 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
 ведущий инженер, инжиниринговый центр
 по переработке техногенного сырья
 Иркутский государственный университет
 тел.: (3952) 42-85-62
 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
 e-mail: prokopyeves@mail.ru

Prokopiev Sergei Amperovich
 Chief, Department of Comprehensive Use
 of Mineral Resources
 Institute of the Earth's Crust of SB RAS
 128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
 Leading Engineer
 Irkutsk Scientific Center of SB RAS
 134, Lermontov st., Irkutsk, 664033
 Director, Engineering Center for Enrichment
 of Technogenic Mineral Resources
 Irkutsk State University
 1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
 tel.: (3952) 42-79-38, 521-556
 e-mail: s.a.prok@gmail.com

Gladkochub Dmitrii Petrovich
 Corresponding Member of RAS, Professor of
 RAS, Doctor of Sciences (Geology and Min-
 eralogy), Head
 Institute of the Earth's Crust of SB RAS
 128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
 Department of Mineral Resources,
 Geological Faculty
 Irkutsk State University
 1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
 tel.: (3952) 42-70-00
 e-mail: dima@crust.irk.ru

Shulgina Mariya Evgenievna
 Leading Engineer, Engineering Center for
 Enrichment of Technogenic Mineral Resources
 Irkutsk State University
 1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
 Chief, Laboratory for Enrichment of Solid
 Mineral Resources
 LLC PK Spirit
 128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
 tel.: (3952) 42-85-62
 e-mail: marya.schulgina@yandex.ru

Prokopiev Evgenii Sergeevich
 Mineral Processing Engineer, Department of
 Comprehensive Use of Mineral Resources
 Institute of the Earth's Crust of SB RAS
 128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
 Leading Engineer, Engineering Center for
 Enrichment of Technogenic Mineral
 Resources
 Irkutsk State University
 1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
 tel.: (3952) 42-85-62
 e-mail: prokopyeves@mail.ru