



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY



А. А. Шершневу, В. Е. Кислякову

ОТСЫПКА ОТВАЛОВ  
СКАЛЬНЫХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД  
ПРИ СКЛАДИРОВАНИИ  
ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ

УДК 622.271.47'17

ББК 33.49

Ш507

**Рецензенты:**

*П. Б. Авдеев*, доктор технических наук, профессор Забайкальского государственного университета;

*А. А. Гузеев*, кандидат технических наук, главный специалист горного отдела ООО «УПР АО "Красноярскуголь"»

**Шершнев, А. А.**

Ш507

Отсыпка отвалов скальных вскрышных пород при складировании отходов обогащения: монография / А. А. Шершнев, В. Е. Кисляков. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019. – 132 с.

ISBN 978-5-7638-4031-5

Монография посвящена разработке нового подхода к технологии отсыпки отвалов скальных вскрышных пород с обоснованием их параметров при складировании отходов обогащения. Предложены перспективные способы складирования предварительно сгущенных до пастообразного состояния отходов обогащения в пространство, ограниченное отвалами вскрышных пород, позволяющие значительно сократить объемы строительства хвостохранилищ горно-обогатительных предприятий.

Предназначена для научных работников, аспирантов, магистрантов, а также может быть использована работниками горных предприятий, проектных и научно-исследовательских организаций.

**Электронный вариант издания см.:**  
<http://catalog.sfu-kras.ru>

**УДК 622.271.47'17**  
**ББК 33.49**

ISBN 978-5-7638-4031-5

© Сибирский федеральный университет, 2019

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Обзор техники и технологии производства, транспортирования и складирования отходов обогащения.....</b>	<b>7</b>
1.1. Возможные виды отходов обогащения.....	7
1.2. Способы транспортирования отходов обогащения.....	11
1.3. Способы складирования отходов обогащения.....	21
1.4. Анализ хвостохранилищ по содержанию техногенного минерального сырья .....	31
<b>2. Исследование свойств пастообразных отходов.....</b>	<b>34</b>
2.1. Объект исследования .....	34
2.2. Методика проведения исследований .....	35
2.3. Обработка результатов исследования растекания пастообразных отходов .....	37
2.4. Определение угла откоса пастообразных отходов при складировании .....	42
2.5. Исследование процесса уплотнения пастообразных отходов.....	44
2.6. Результаты исследования влияния плотности и угла откоса пастообразных отходов на их устойчивость к размыву дождевыми осадками.....	47
2.7. Анализ возможности действующих горно-обогатительных предприятий сгущать отходы до пастообразного состояния.....	50
<b>3. Параметры технологии отсыпки отвалов скальных вскрышных пород при складировании отходов обогащения .....</b>	<b>55</b>
3.1. Предлагаемые технологические схемы складирования пастообразных отходов .....	55
3.2. Коэффициент использования пространства пастообразными отходами .....	60
3.3. Коэффициент использования вскрышных пород .....	65
3.4. Технологические решения по увеличению коэффициента использования пространства пастообразными отходами.....	73
3.5. Оценка площадей, занимаемых пастообразными отходами .....	86
3.6. Технология отсыпки отвалов скальных вскрышных пород при складировании отходов обогащения на примере месторождения Боголюбовское.....	90
3.7. Расчет устойчивости ограждающего сооружения .....	93

<b>4. Оценка экономической эффективности технологии отсыпки отвалов скальных вскрышных пород при складировании отходов обогащения на примере месторождения Боголюбовское .....</b>	<b>101</b>
4.1. Расчет капитальных затрат, связанных с изменяемыми технологическими процессами.....	101
4.2. Организация труда, численность трудящихся хвостового хозяйства.....	104
4.3. Расчет эксплуатационных затрат.....	105
4.4. Эффективность инвестиционного проекта.....	108
<b>Заключение.....</b>	<b>117</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>119</b>
<b>Приложение .....</b>	<b>127</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Объем отходов обогащения, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений, может достигать сотни миллионов кубических метров. Это сопровождается изъятием из сфер сельскохозяйственного, лесного и других фондов значительных площадей ценных земель для размещения хвостохранилищ (см. рисунок).



Рис. Площади хвостохранилищ при производительности горно-обогатительных предприятий со сроком эксплуатации [1–7]: 1 – Cortez Gold Mine, 14 лет; 2 – Yana cocha Mine, 23 года; 3 – Tarkwa Mine, 23 года; 4 – Pueblo Viejo Gold Mine, 4 года; 5 – Paracatu Mine, 29 лет; 6 – Geita Gold Mine, 16 лет; 7 – ОАО «Васильковский ГОК», 37 лет; 8 – Morila Gold Mine, 16 лет; 9 – Kalgoorlie Mine, 27 лет; 10 – Cripple Creek&Victor Gold Mine, 21 год; 11 – Боголюбовское месторождение, 10 лет (по проекту)

При значительных объемах отходов обогащения многие месторождения становятся малопривлекательными для освоения из-за высоких затрат на проведение изысканий, проектирование, строительство, эксплуатацию и рекультивацию хвостохранилищ.

Помимо этого, хвостохранилище наносит существенный вред окружающей среде. В первую очередь это связано с загрязнением поверхностных и грунтовых вод, а также воздушной среды и почвы. Присутствует риск тяжелых последствий в случае разрушения дамбы хвостохранилища, о чем свидетельствует информация, опубликованная Комитетом международной комиссии по крупным хвостовым дамбам, о произошедших за последние 45 лет 221 инциденте [8], 135 из них были авариями, в результате которых было выброшено 41,9 млн м<sup>3</sup>

жидких отходов, распространившихся на значительные расстояния, что вызвало обширные разрушения и человеческие потери.

Решение проблемы сокращения объёмов жидких отходов и, соответственно, площадей, изымаемых под их хранение, обеспечит экологическую и технологическую безопасность ведения работ. Это предопределяет целесообразность обоснования технологии отсыпки отвалов скальных вскрышных пород при складировании пастообразных отходов.



# 1. ОБЗОР ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ

## 1.1. Возможные виды отходов обогащения

*Классические пульпообразные отходы* – это отходы обогащения с соотношением твердого к жидкому (Т:Ж) от 1:4 до 1:1, разделение по крупности при складировании не предусматривается.

*Отходы гидроциклонов* – это отходы, разделенные по крупности в водной среде в процессе классификации. Тяжелую фракцию (пески) обычно складировать возле дамбы хвостохранилища, тонкозернистую фракцию (слив) – в долину хвостохранилища.

*Пастообразные отходы* (далее – ПО) обогащения представляют собой не сегрегирующий при укладке материал с высоким содержанием твердого составляющего (до 75 %), с напряжением сдвига свыше 200 Па, выделяющий незначительное количество воды (менее 10 % от её общего объема) или вообще не выделяющий воду (при содержании твердого составляющего 75 %) [9]. Принципиальная возможность получения пасты и ее характеристики для каждого типа руд определяются исследованиями и во многом зависят от содержания в пульпе частиц размером до 20 мкм, которых должно быть не менее 20–30 % от общего количества [10]. Это определяет специфические свойства пасты, такие как низкая осаждаемость, неразделимость, устойчивость к расползанию и внешним воздействиям, вязкость.

*Сгущение отходов обогащения до пастообразного состояния* осуществляется специальными установками – пастовыми сгустителями с использованием флокулянтов, оптимизирующих процесс отделения жидкой фазы (воды). На мировом рынке распространены пастовые сгустители компаний «Wes Tech Inc.» (США), «Outotech» (Финляндия) и «FL Smidth» (Дания).

За последние годы конструкция сгустителей подверглась существенным изменениям, которые позволили резко повысить их производительность при сокращении габаритных размеров (рис. 1.1).

Представитель компании «Outotech» Brad Garauey отметил, что метод сам по себе не нов и традиционные сгустители способны производить пасту. К сожалению, процесс, как правило, заканчивается,

едва успев начаться: граблины увязают в уплотнившейся осадке и останавливаются. Таким образом, при разработке высокопроизводительного сгустителя большой глубины осаждения главная задача состояла в способности производить пасту контролируемо и бесперебойно.

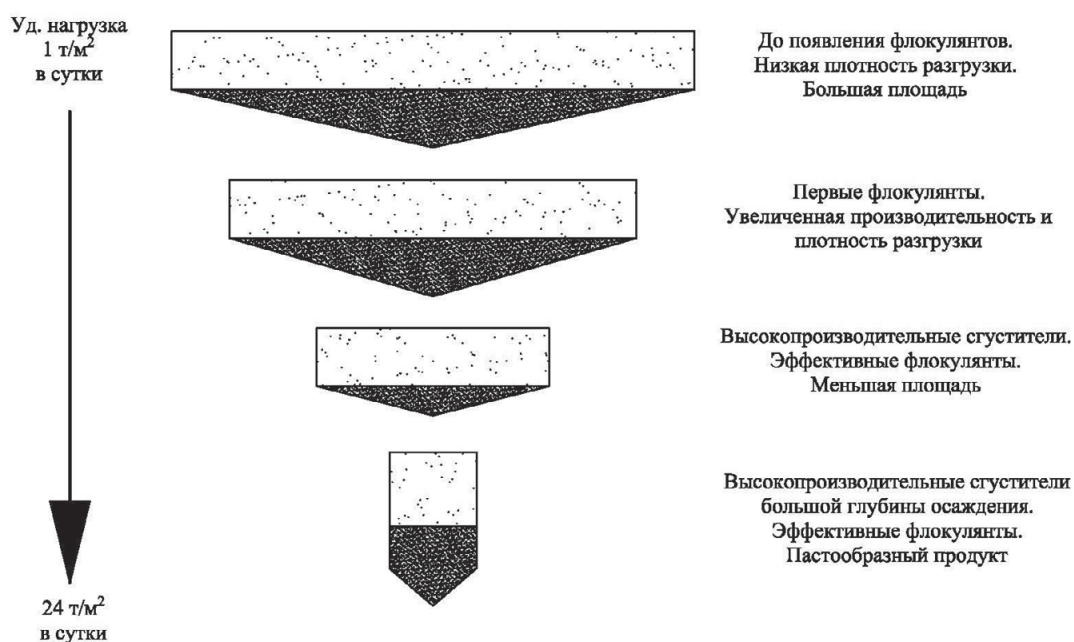


Рис. 1.1. Эволюция сгустителей [11]

Для интенсификации процесса сгущения применяют различные реагенты: электролиты (эффективные коагулянты) [12], гидрофобизаторы и синтетические высокомолекулярные флокулянты [13–16].

В качестве коагулянтов-электролитов наиболее широко применяют известь, соли железа, щелочи, кислоты и алюмокалиевые квасцы.

К реагентам-гидрофобизаторам относят ксантогенаты, амины, олеаты, алкилсульфаты и другие реагенты-собиратели.

Высокомолекулярные, водорастворимые полимерные флокулянты широко применяют в процессах сгущения и фильтрования, их действие в 2–4, а иногда и в 10 раз эффективнее действия коагулянтов. В процессе сгущения возможно применение полимерного флокулянта в сочетании с электролитом, из-за чего повышается чистота слива сгустителя.

Эффективность действия флокулянтов (табл. 1.1) обычно оценивают по их расходу и увеличению скорости осаждения твердой фазы.



Таблица 1.1

## Флокулянты отечественного производства

Флокулянт	Молекулярная масса, г/моль	Содержание основного вещества, %	Стоимость (100 % полимера), руб/т
Полиакриламид: гель	$(1-6) \cdot 10^6$	6-8	23 000-25 000
гранулы	$1 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	45-60	42 000
порошок	$3 \cdot 10^5$	$\geq 98$	7 700
Метас	$3 \cdot 10^5$	35-60	24 000-26 000
Гипан	$3 \cdot 10^5$	10	135 000

В промышленности применяют большое число синтетических флокулянтов, но основным из них является полиакриламид [17, 18] из-за эффективного действия в широком диапазоне pH среды [19]. Полиакриламид не ядовит, хорошо растворяется в воде (в течение 20–30 мин).

Расход негидролизованного и гидролизованного полиакриламида составляет, соответственно, 10–60 и 5–25 г на тонну сгущаемого продукта.

За последнее десятилетие в мире только в медно-молибденовой отрасли введены в эксплуатацию более десяти крупных горно-обогатительных комбинатов, существенно расширены действующие предприятия и проектируется ряд новых. Предпочтение отдают решению с организацией внутри фабричного водооборота со сгущением хвостов (табл. 1.2).

Таблица 1.2

## Хвостовые сгустители на действующих и проектируемых зарубежных фабриках [20]

Фабрика, страна	Производительность		Количество, шт.	Ø сгустителя, м	Площадь сгустителя, м <sup>2</sup>	Изготовитель	Расход флокулянта, г/т	Удельная нагрузка, т/м <sup>2</sup> · ч
	млн т/год	тыс. т/сут						
Действующие фабрики								
Ray, США	11	30,1	1	122	11 684	Н. д.	Н. д.	0,11
Tortolas, Чили	12,5	34,3	2	91,5; 45,7	8212	Н. д.	Н. д.	0,17
Robinson, США	13,6	37,3	2	70	7693	Н. д.	Н. д.	0,2
Copperton, США	41	112	3	122	35 052	Н. д.	Н. д.	0,39
La Candelaria, Чили	10	27,4	1	122	11 684	Н. д.	Н. д.	0,1

Фабрика, страна	Производительность		Количество, шт.	Ø сгустителя, м	Площадь сгустителя, м <sup>2</sup>	Изготовитель	Расход флокулянта, г/т	Удельная нагрузка, т/м <sup>2</sup> ·ч
	млн т/год	тыс. т/сут						
Collahuasi, Чили	25	69	1	125	12 266	Dorr	Н. д.	0,23
Emest Genry, Австралия	9	24,6	1	55	2375	Dorr	Н. д.	0,43
Los Palambres, Чили	42	114	2	128	25 722	Dorr	Н. д.	0,17
Laguna Seca, Чили	40	110	3	125	36 798	Dorr	Н. д.	0,12
Grasberg № 1–4, Индонезия	84	230	2	75; 122	16 100	Н. д.	37	0,6
Cadia, Австралия	17	48	1	120	11 300	Dorr	30	0,2
Cerro Verde, Перу	39,4	108	2	75	8831	Dorr	40	0,51
Telfer, Австралия	17	48	1	62	3017	Outotec	Н. д.	0,66
Проектируемые фабрики								
TelFer (Cu; Au), Австралия	17	48	1	62	3017	Outotec	Н. д.	0,66
Galore Creek (Cu), Канада	22	65	1	64	3215	Outotec	7 (А-130 Сайтек)	0,88
Boddigton (Au), Австралия	35	103	1	74	4300	Outotec	Н. д.	0,98
Voisey Bay (Ni), Канада	2,6	7,2	1	22,9	411	Outotec	Н. д.	0,71
Spinifex (Mo), Австралия	20	60	1	64	3215	Outotec	15	0,78
El Galeno (Cu; Mo), Перу	32,4	90	2	55	4750	Н. д.	32	0,84
El Moro (Cu), Чили	32,4	90	7	50; 40	10 904	Н. д.	25 и 30	0,36

Примечание. Н. д. – Нет данных.

Идея пастового сгущения все чаще находит свое воплощение на действующих фабриках, а также в проектах новых фабрик (табл. 1.3).

Ещё более радикальным способом обезвоживания отходов обогащения является система получения «сухих» отходов. Согласно этой технологии отходы обогащения подвергаются глубокому обезвоживанию с применением на заключительной стадии фильтрации ленточных или даже пресс-фильтров до влажности 10–15 %.

Таблица 1.3

Применение пастового сгущения на действующих и проектируемых обогатительных фабриках [21]

Фабрика	Обогащаемый полезный компонент	Место нахождения
Действующие фабрики		
Kidd Creek	Cu; Zn; Ag	Канада
Grund Mine	Pb; Zn	Германия
Lucky Friday	Pb; Zn	США
Barrick Gold, Bulyanhulu	Au	Танзания
Peak Mine	Cu; Pb; Zn; Au	Австралия
Mount Keith	Ni	Западная Австралия
Myra Falls	Cu; Zn	Канада
Strathcona	Cu; Zn	Канада
Sunrise	Au	Австралия
Pajingo Gold Mine	Au	Квинсленд, Австралия
Ravensthorpe	Ni	Австралия
Проектируемые фабрики		
Scouries	Cu; Au	Греция
Kylylahti	Cu; Ni	Финляндия
Miduk	–	Иран
Sar Cheshmech	Cu	Иран
Andina	Cu	Чили
Colon	Cu	Чили

К недостаткам системы получения «сухих» отходов относят:

- высокие эксплуатационные расходы;
- «сухие» отходы – потенциальный источник пыления.

## 1.2. Способы транспортирования отходов обогащения

*Для удаления пульпообразных отходов в горнодобывающей промышленности* в большинстве случаев применяется гидравлический транспорт, а хвостовое хозяйство обогатительных фабрик имеет следующие основные сооружения [22]:

- пульпонасосную станцию (в некоторых случаях их несколько: для подачи исходной пульпы до сгустителя и сгущенных хвостов после);
- магистральный пульпопровод (рабочий и резервный);

- хвостохранилище (наливные либо намывные);
- насосную станцию оборотной воды;
- водоводы оборотной воды.

Оборудование пульпонасосных станций некоторых обогатительных фабрик представлено в табл. 1.4.

Таблица 1.4

## Оборудование пульпонасосных станций обогатительных фабрик

Объект	Количество пульпонасосных станций	Используемое оборудование	Максимальная дальность подачи хвостов, км
Месторождение «50 лет Октября» (Казахстан)	2	Грунтовые насосы 2×Warman 350SY-L, 2×Warman 8/6 FFY	4
ООО «АЛДАНЗОЛОТО» ГРК	1	2×Warman 14/12	8,3
ЗАО «ПОЛЮС», «Благодатное»	-	—	3
ОАО «Корпорация "КА-ЗАХМЫС"» (Казахстан). Железказганская ОФ	2	5×ГрТ 8000-71, 6×ГрТ 8000-71	9
ОАО «Ковдорский ГОК»	1	2×Варман 20/18	8
ОАО «Карельский окатыш»	1	12×ГрТ 8000-71, Warman 650ULP, Warman 28/24	15
Нурказганский ГОК (Казахстан)	1	2×Варман 12/10	2
ОАО «Оленегорский ГОК»	1	6×ГрТ 8000-71, 6×Warman 20/18	10
ОАО «Кольская ГМК»	1	Метсо ХР 500	7
ОАО «Корпорация "КА-ЗАХМЫС"» (Казахстан), Сатпаевская ОФ	1	ГраТ 1700	5
ОАО «Тырныаузский ВМК»	1	20 Гр-8Т, Д4000-125	12
ОАО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан)	1	28 Гр-8Т, Д4000-125	15
ОАО «Севералмаз»	1	НМ200С5FFP2 фирмы «Metso», 1Д500-63а	2,3
ПО «Эрдэнэт» (Монголия)	1	ГрТ 8000-71, ЦНС 3000-180	15
ОАО «Апатит». АНОФ-2 (г. Кировск Мурманской области)	3	11×ГрТ8000/71 (9 в резерве)	6,4

Объект	Количество пульпонасосных станций	Используемое оборудование	Максимальная дальность подачи хвостов, км
ОАО «Апатит». АНОФ-3 (г. Кировск, Мурманская область)	1	3×ГрТ8000/71 (2 в резерве)	3
ТОО «Корпорация "КА-ЗАХМЫС"» ПО «Балхашцветмет» (Казахстан)	2	3×ГрТ1600-50 (2 рабочих); 2×20Гр8Т; 2×ГрТ4000-71	9,5
ОАО «АРХАНГЕЛЬСК-ГЕОЛДОБЫЧА». ГОК на базе месторождения алмазов им. В. П. Гриба (Архангельская обл.)	2	6×14/12 АН «Warman»	8,1
ОАО «ГМК "Дальполиметалл"». Центральная ОФ (Приморский край)	2	4×Гр600/65 (1 рабочий); 5×Гр600/65 (1 рабочий, 1 рабочая спарка)	15
АО «ЗГОК», АО «Казцинк». ОФ (Казахстан)	1	5×ГрАТ1800/67	8,5
Заполярный филиал ОАО «ГМК "Норильский никель"». Талнахская ОФ	1	17×Ingersoll-Rand, 17×Geho TZPM-1600	20
	2	5×Ingersoll-Rand, 5×Geho TZPM-1600	10
ЗАО «Ормет» (Новоорский район Оренбургской области)	2	5×6/4 ЕАНЕ «WARMAN»	6,3
ОАО «Севералмаз». ОФ	1	2×HM200C5FFP2 «Metso»	2,1

В большинстве случаев **транспортирование отходов гидроциклонов** осуществляется гидравлическим транспортом, но бывают и исключения. Так, на железорудном ГОКе Serra Azul Mine (Бразилия) отходы гидроциклона после высушивания транспортируют автосамосвалами до полигона складирования (рис. 1.2).

**Транспортирование пастообразных отходов** осуществляется гидравлическим транспортом.

Например, на Гайской обогатительной фабрике применяется пастовое сгущение отходов обогащения медно-цинковой руды. Транспортировка их осуществляется при помощи центробежных грунтовых насосов ГрТ 8000/71, расстояние транспортирования составляет 2 км [24].