



Технологические схемы подготовки и глубокого обогащения техногенных отходов, содержащих тонкие шламы. Экологическая составляющая

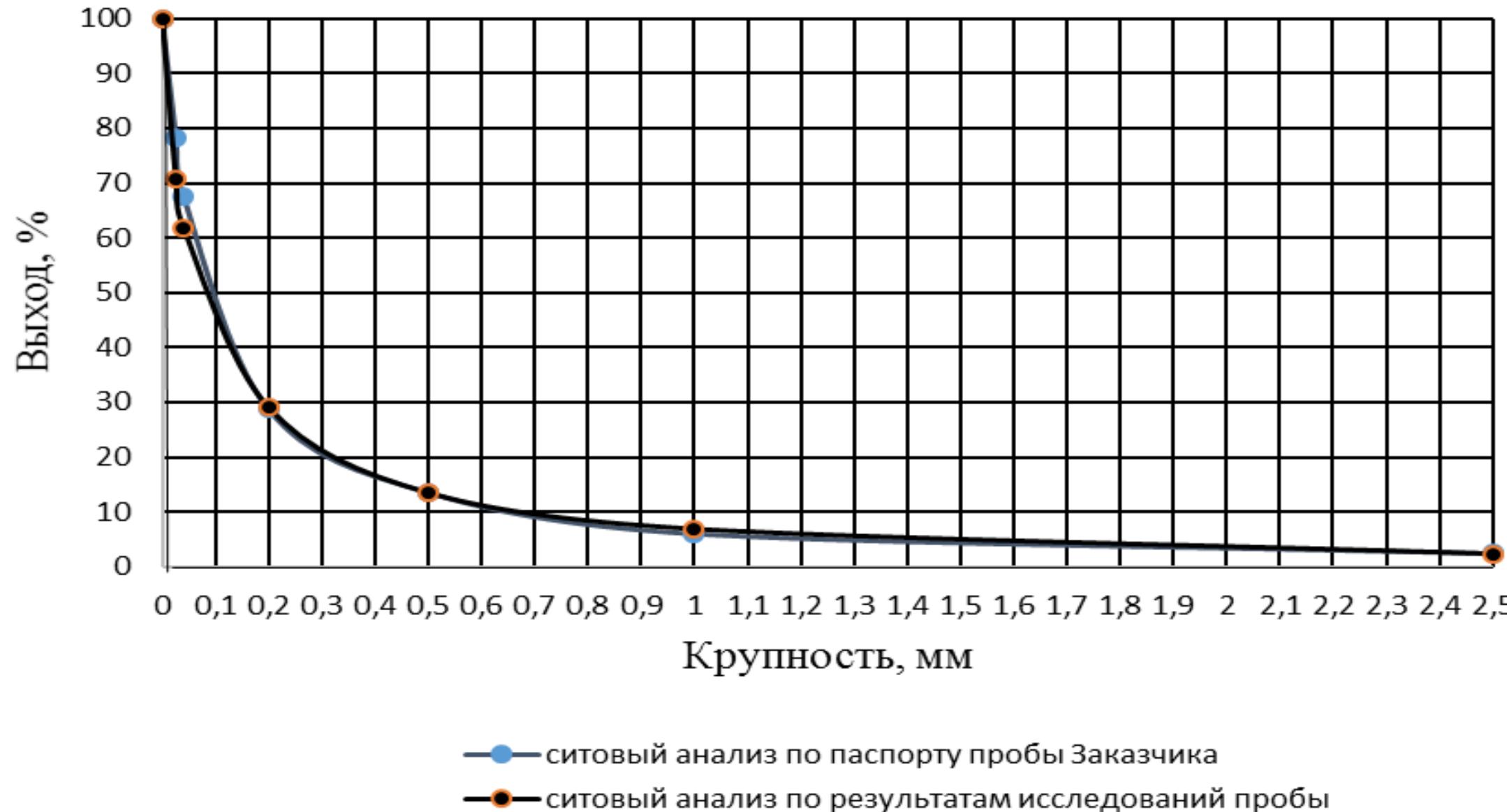
Газалеева Г.И., д.т.н. - ОАО «Уралмеханобр»

Екатеринбург 2019

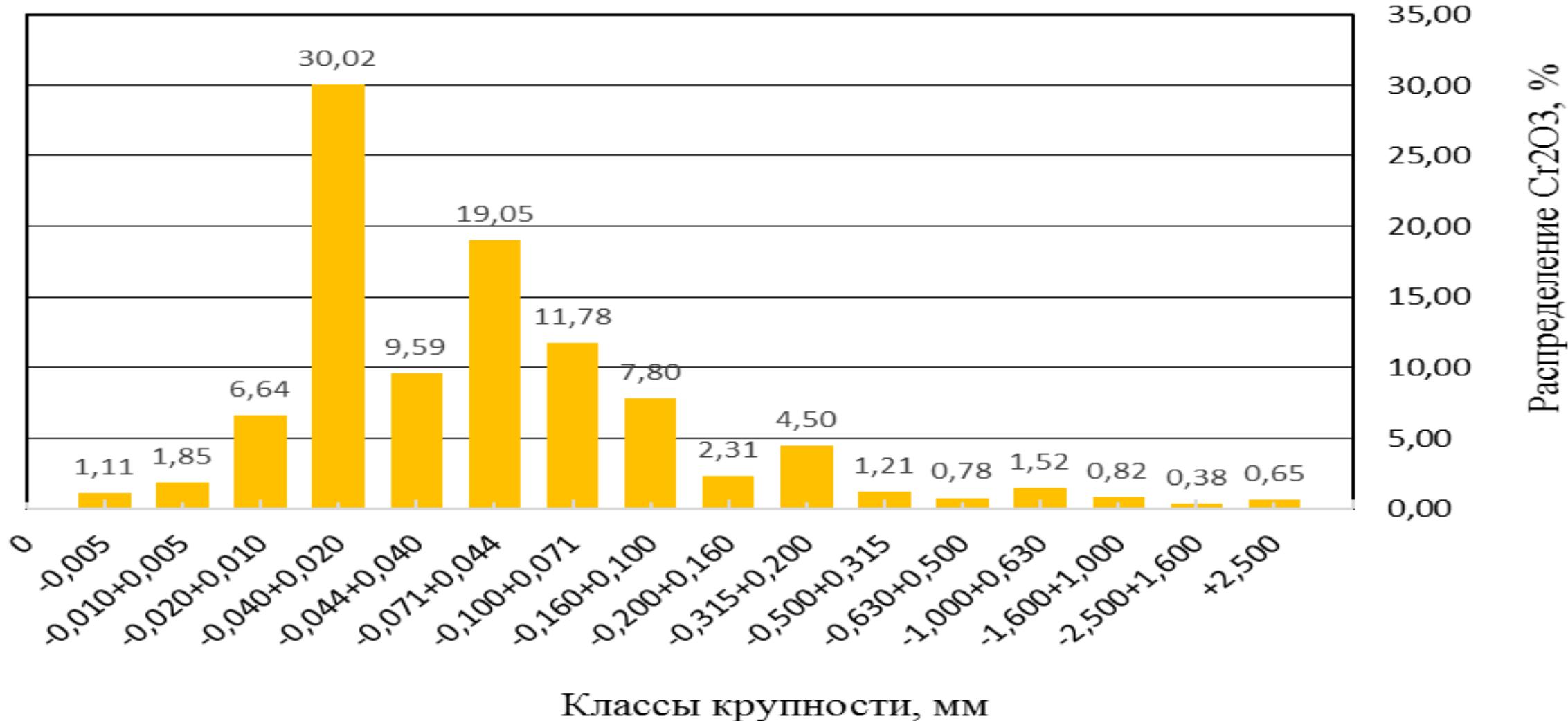
Проблемы переработки техногенного сырья

- Современные технологии и оборудование дают возможность частично или полностью извлекать полезные металлы и (или) минералы из техногенного сырья. Особенности техногенного сырья следующие: - экологическая опасность различной степени; - залегание на поверхности; - наличие видоизмененных минералов и соединений; - малый размер частиц. Именно малый размер частиц является главной проблемой при обогащении тонких шламов хвостов обогатительных фабрик. Шламовые частицы часто агрегируют друг с другом, не позволяя селективно выделять полезные минералы. Для решения этих проблем в ОАО «Уралмеханобр» найдено несколько довольно эффективных решений

Можно выделить следующие критерии экологической безопасности технологий переработки шламовых хвостов обогатительных фабрик: - максимальная переработка хвостов с получением готовой товарной продукции и минимизацией отходов; - не изменение или снижение класса опасности получаемых отходов при переработке; - комплексность использования хвостов; - вариантность разрабатываемых технологий с выбором оптимальной не только по экономическим преимуществам, но и с точки зрения экологической безопасности; - использование полного оборота воды.



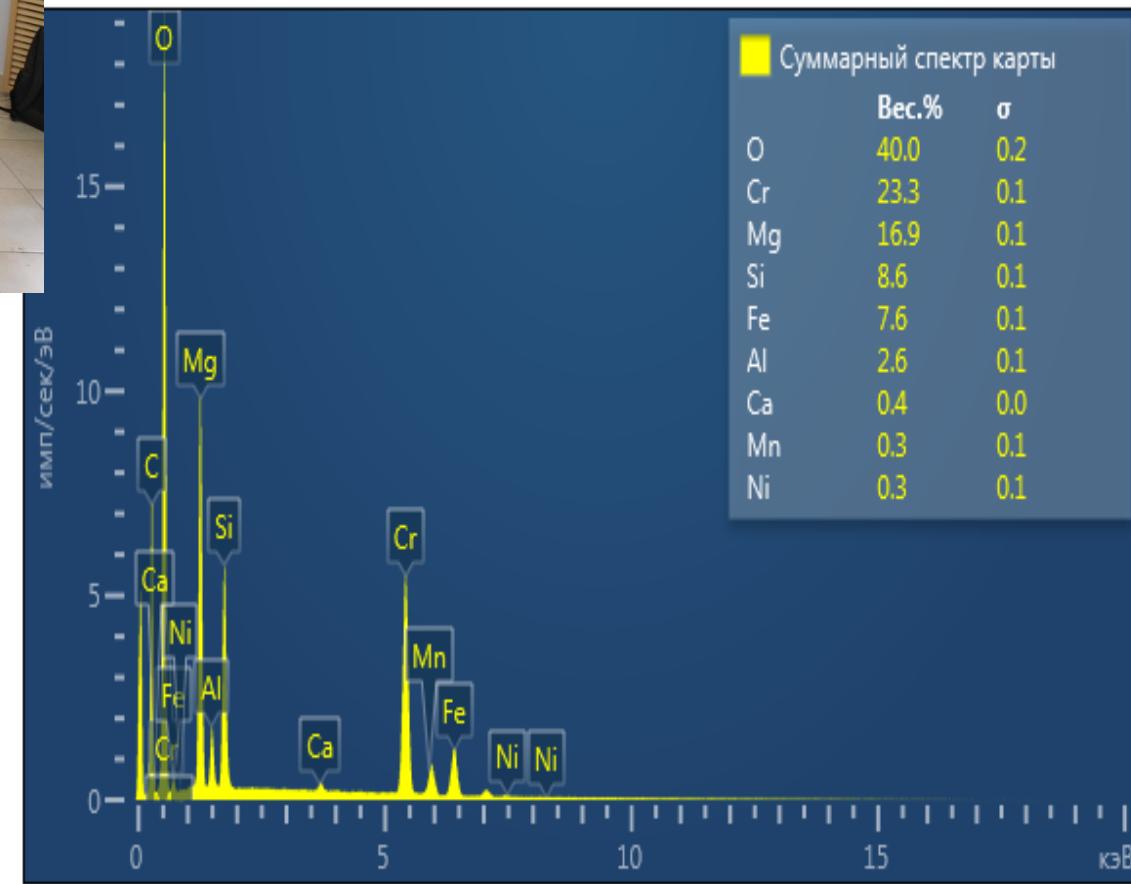
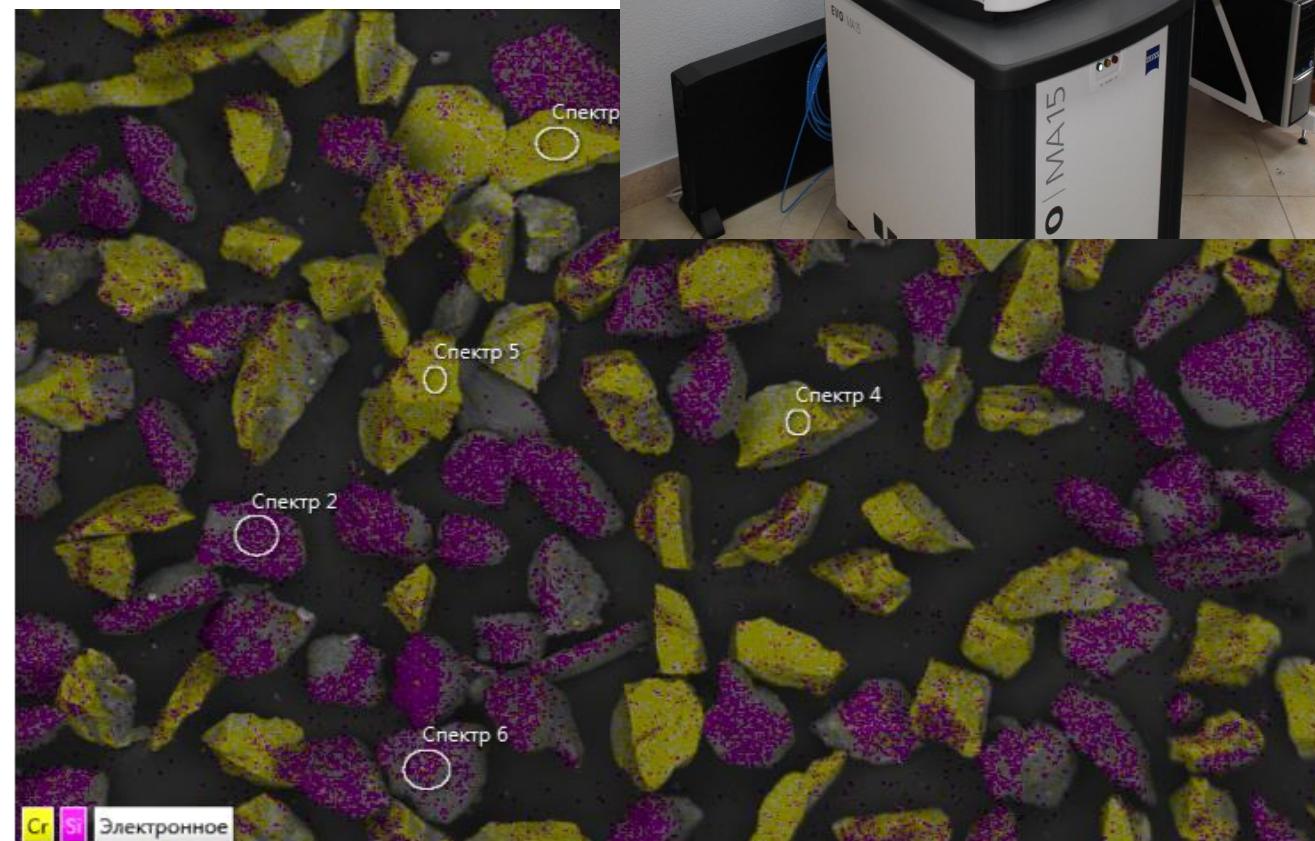
Распределение хрома по классам крупности





Минерал	Массовая доля, %	Минерал	Массовая доля, %
Хромшпинель	43	Серпентин	51
Магнетит и ферриты	5	Карбонаты	1
Гематит	>1	Периклаз	>1
Ильменит	>1	Кварц	>1
Оливин	>1	Гранаты	>1

Электронный микроскоп EVA-МА 15- Карл Цейс



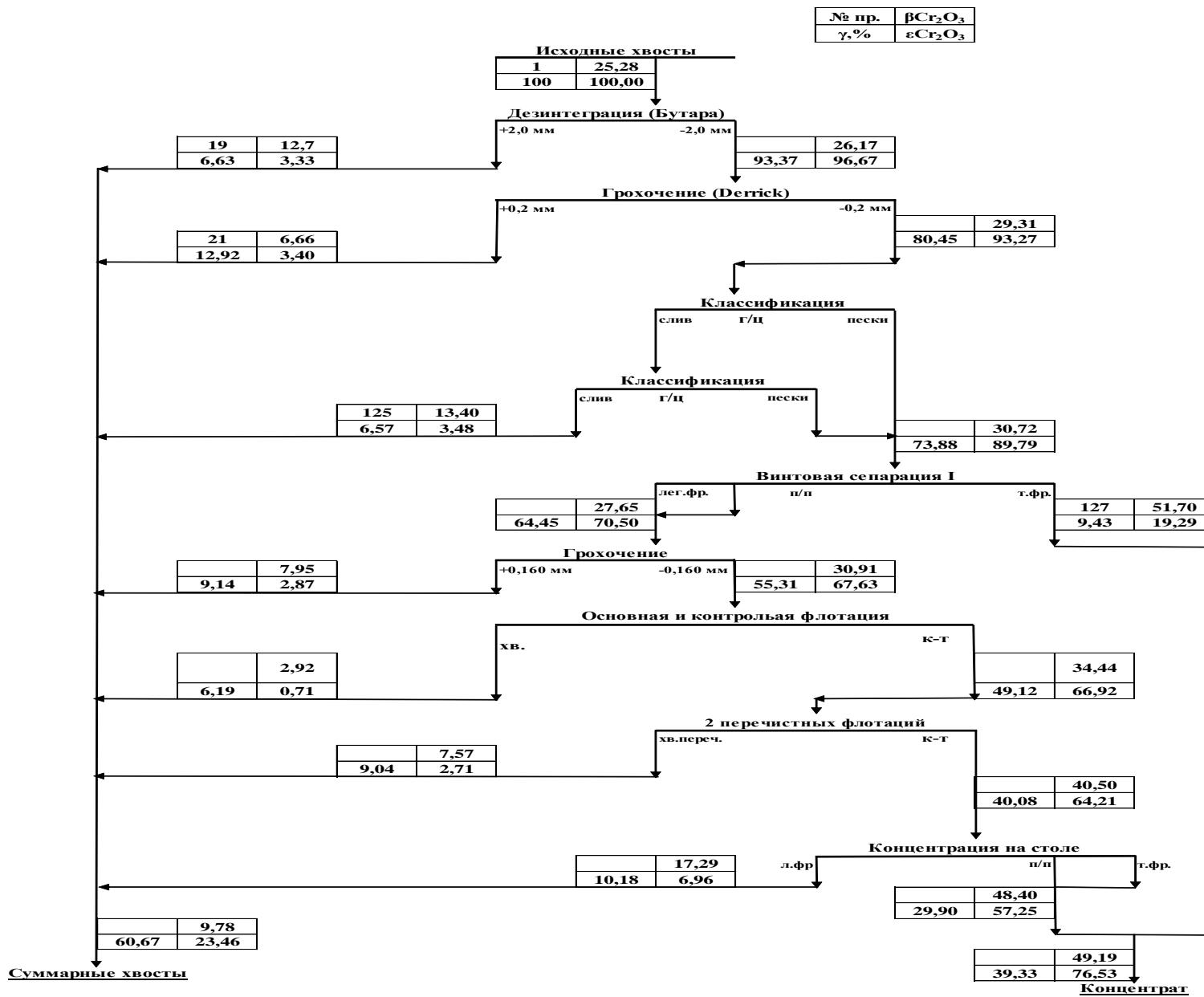
Степень раскрытия

- Рудные минералы представлены на 43 % хромшпинелидами, на 5 % магнетитом и ферритом. Нерудные минералы представлены на 51 % серпентином и оливином. В небольших количествах присутствуют гематит, ильменит, периклаз, кварц и гранаты.
- В классах крупности меньше 0,2 мм раскрытие рудных минералов составляет 95% и более. В верхних классах крупности хромшпинелиды находятся в сростках.

- В лабораторных и полупромышленных условиях ОАО «Уралмеханобр» в 2016 году были разработаны 5 вариантов схем переработки хромсодержащих шламовых хвостов дробильно-обогатительной фабрики 1 (ДОФ-1) Донского ГОКа (РК). Цель работы состояла в снижении потерь оксида хрома с отходами обогащения – шламовыми хвостами, и получении концентратов с содержанием оксида хрома не менее 49% и хвостов не более 10%.

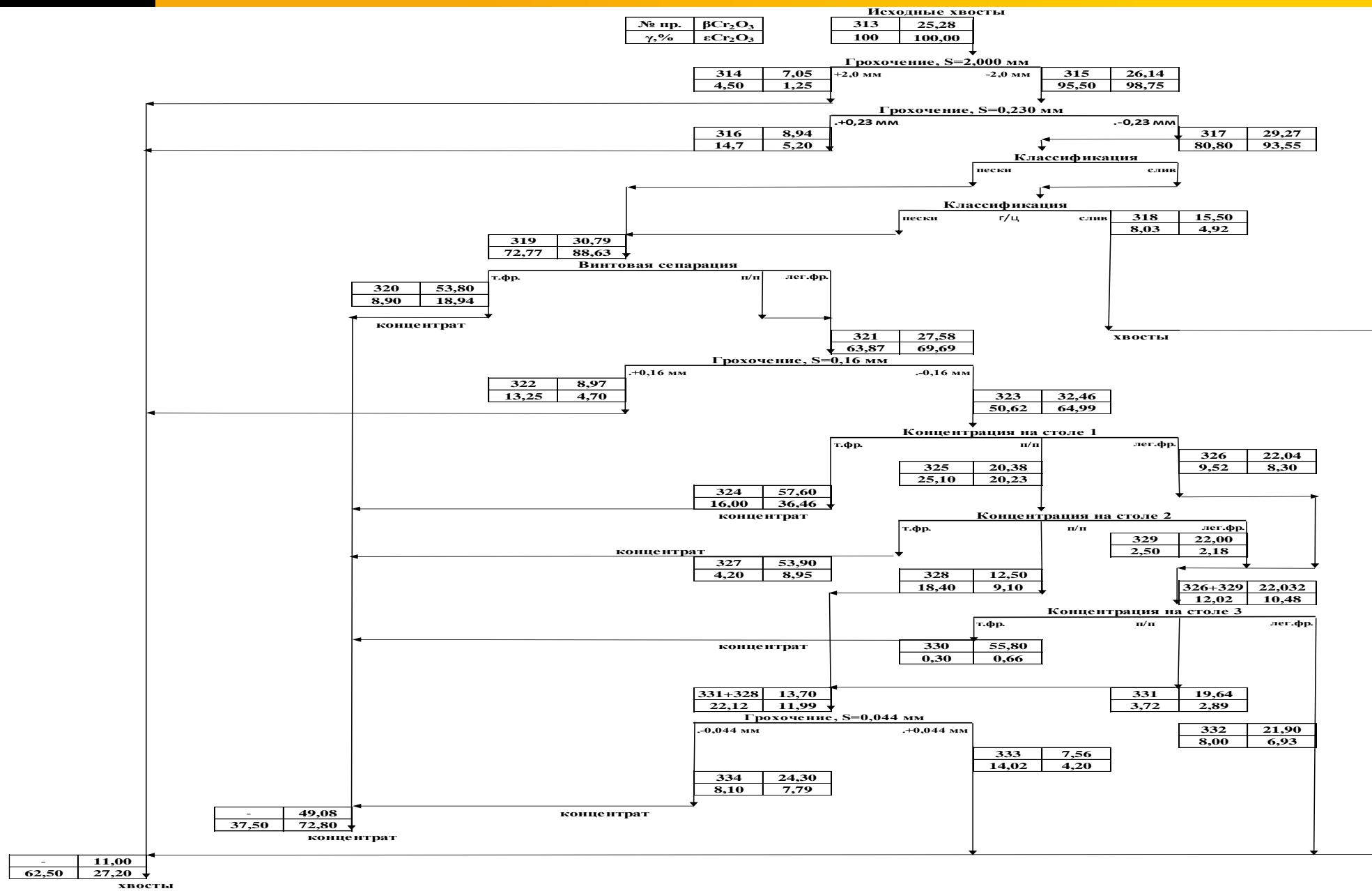
- Для исследований была предоставлена проба массой 3 т, крупностью – менее 5 мм, с содержанием Cr_2O_3 - 25,28 %. В результате исследований для технико-экономического сравнения были выбраны 2 технологические схемы: гравитационно-флотационная и гравитационная.
- По флотационной схеме получены следующие технологические показатели: выход концентраты 38,95 %, содержание Cr_2O_3 – 49,20 %, извлечение – 75,80 %; выход общих хвостов 61,05 %, содержание Cr_2O_3 – 10,0 %, извлечение – 24,2 %.
- Расход реагентов для схемы № 4 составил:
 - - кремнефтористого натрия – 450 г/т;
 - - серной кислоты -3000г/т;
 - - керосина – 350 г/т;
 - - флона – 2500 г/т.
- Содержание твердого в пульпе составило 18-20 %, pH пульпы составил 5-6.

Флотационно-гравитационная схема



- **Начальные операции обеих сравниваемых схем одинаковы:**
 - - отмывка класса + 2,0 мм в бутаре;
 - - грохочение по классу -0,2 мм;
 - - выделение класса + 0,2 мм в хвосты;
 - - двойная классификация класса менее 0,2 мм в гидроциклонах с выделением слива второй классификации в хвосты;
 - - винтовая сепарация песков гидроциклонов с выделением высококачественного хромового концентрата (содержание Cr_2O_3 более 50 %) и легкой фракции, направляемой на тонкое грохочение по классу 0,16 мм, и выделением надрешетного продукта грохота в хвосты.
- Далее операции сравниваемых схем отличаются. Гравитационно-флотационная схема включает основную, контрольную и 2 перечистных флотации, после которых флотационный концентрат перечищается на концентрационном столе с выделением конечного концентрата и хвостов.

Гравитационная схема



Результаты гравитационной схемы

- По гравитационной схеме получены следующие технологические показатели: выход концентрата 37,50 %, содержание Cr_2O_3 – 49,08 %, извлечение – 72,80%; выход общих хвостов 62,50 %, содержание Cr_2O_3 – 10,00 %, извлечение – 27,20 %.
- Необходимо отметить, что отличие данной схемы от гравитационно-флотационной заключается в использовании нескольких стадий концентрации продукта крупностью менее 0,16 мм на столах.
- Необходимо отметить, что при равных показателях качества концентрата и хвостов сравниваемых схем извлечение оксида хрома по гравитационно-флотационной схеме больше, чем по гравитационной на 3,0 %.

Наименование показателя	Ед. изм.	Гравитационно-флотационная схема	Гравитационная схема	Отклонение
1 Товарная продукция	тыс.т. концентрата	202,9	193,4	-9,4
	тыс.т. Cr ₂ O ₃	99,8	94,9	-4,9
	тыс. тнг	16 735 125,0	15 956 325,0	-778 800,0
	тыс. долл.	50 712,5	48 352,5	-2 360,0
2 Удельная себестоимость	тнг/т концентрата	28 499,5	27 829,8	-669,7
3 Срок окупаемости (простой)	лет	0,60	0,54	-0,1

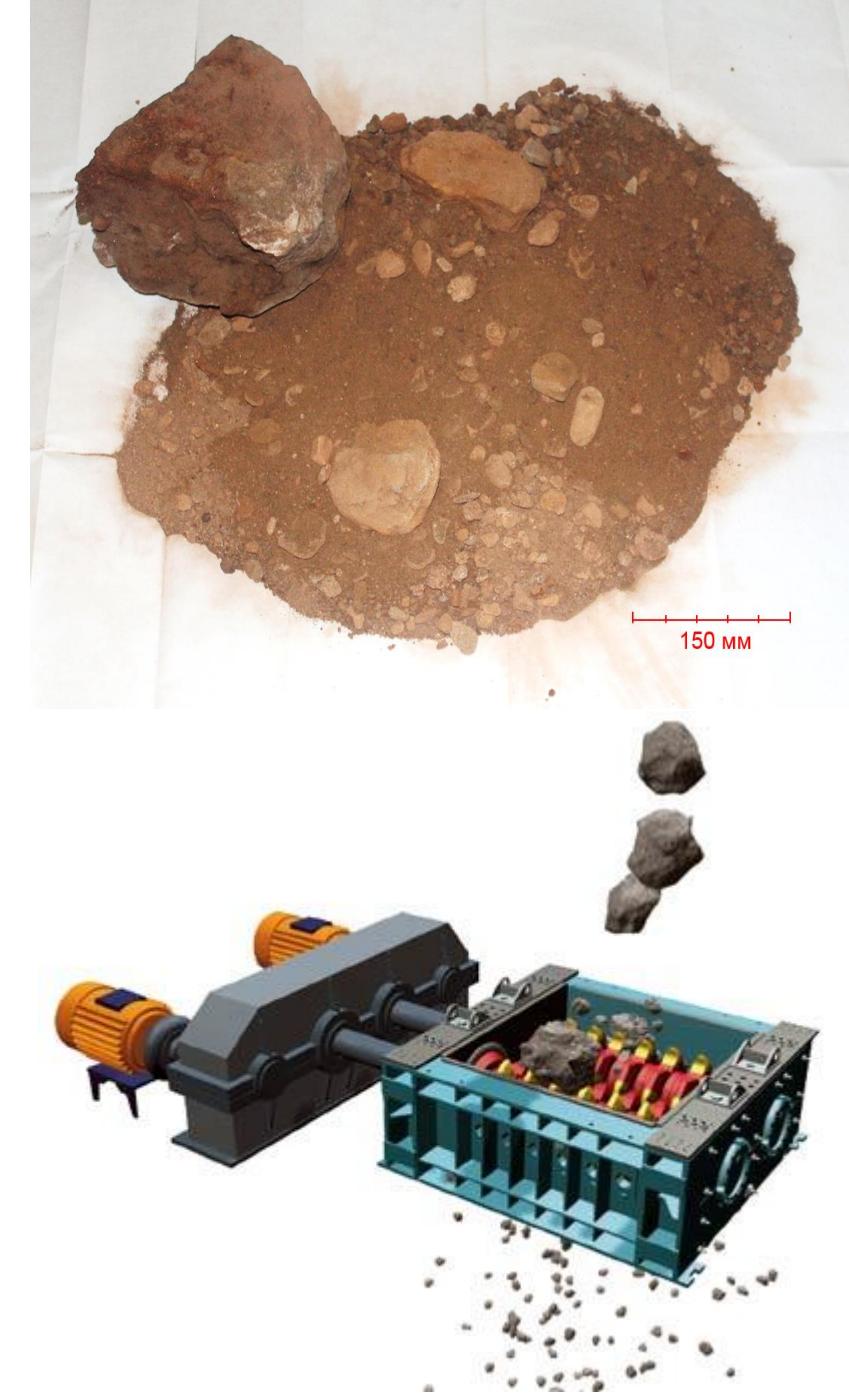
- Из рассматриваемых критериев экологической безопасности при выборе технологии АО «Донской ГОК» рассматривал практически все.
- С точки зрения массового снижения объемов шламовых хвостов с получением готовой продукции оба варианта позволяют на 37-39 % сократить количество хвостов.
- С позиции не изменения или снижения класса опасности получаемых отходов при переработке гравитационно-флотационная схема значительно проигрывает гравитационной схеме. Последняя не меняет класс опасности отходов, а первая из-за использования в процессе флотации кислот и других опасных веществ повышает класс опасности на один или два порядка.
- Комплексного использования хвостов рассматриваемые варианты схем не предполагают, хотя в процессе разработки схем было предложено использовать серпентиниты хвостов в производстве декоративных каменных изделий. Вариантность технологий при выборе также присутствует.
- В рассматриваемых вариантах предполагается полный оборот воды. Однако, вода с примесью вредных реагентов требует значительных затрат на очистку и осветление.
- На основании этого при выборе окончательного варианта технологии переработки шламовых хвостов дробильно-обогатительной фабрики 1 Донского ГОКа, компании «Казхром» (Республика Казахстан) предприятием был выбран более экологически безопасный вариант гравитационного обогащения.
- В настоящее время ведется строительство по гравитационной схеме.

ХВОСТЫ ММК

По химическому составу исходные шламы содержат 29,5 % железа общего, 1,31 % серы, 0,068 % фосфора.

Формы проявления железа	Содержание, %	
	абсолютное	относительное
Железо общее	29,5	100,0
Железо, связанное:		
с магнетитом	5,51	18,68
с мартитом	5,72	19,39
с гематитом	4,97	16,85
металлическое	0,38	1,29
с карбонатами	0,38	1,29
с пирротином	<0,01	—
с силикатами	6,74	22,84
с гидроксидами -гетитом	5,80	19,66

- Особенностью хвостохранилища ММК является длительность хранения исходных шламовых хвостов. В связи с этим в них присутствуют смерзшиеся частицы и различные органические остатки. Процесс дезинтеграции проводят в шнекозубчатой дробилке с мокрым скруббером. Промывку песков и удаление шламов осуществляют в спиральном классификаторе. В ходе исследования содержание железа в магнетитовом концентрате изменилось от 61,5 до 62,6 %



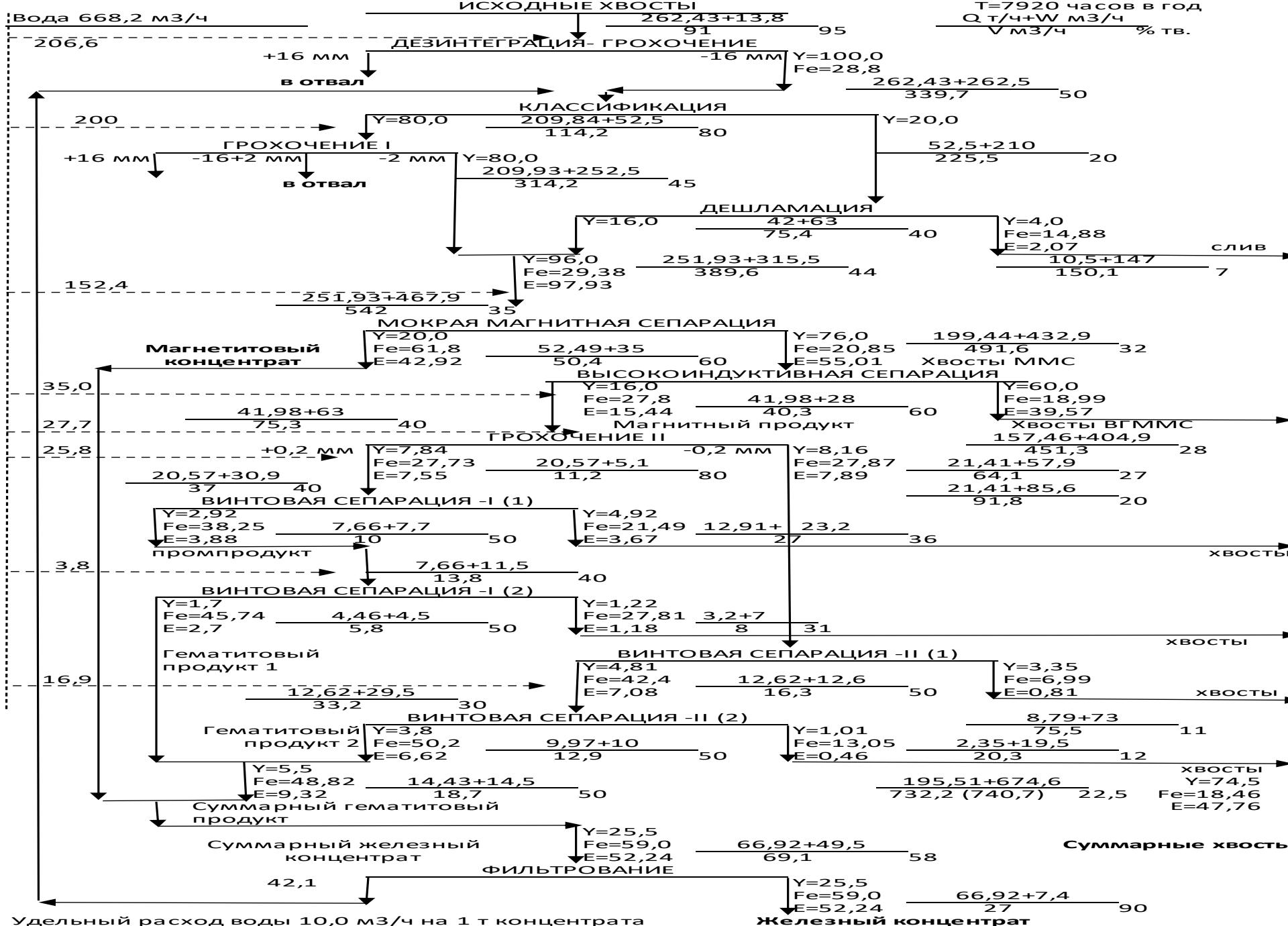


Рисунок 5.1 - Качественно-количественная и водно-шламовая схема обогащения шламов

Баланс продуктов обогащения

Продукты обогащения	Выход, %	Массовая доля железа, %	Извлечение железа, %	Производство сухая масса,	
				т в год	т в час
Концентрат магнетитовый	20,0	61,8	42,92	415 686,275	52,49
Концентрат гематитовый	5,5	48,82	9,32	114 313,725	14,43
Суммарный концентрат	25,5	59,0	52,24	530 000,00	66,92
Суммарные отвальные хвосты	74,5	18,46	47,76	1 548 431, 4	195,51
Исходные шламы	100,0	28,8	100,0	2 078 431,4	262,43

- По проекту ОАО «Уралмеханобр» построен участок обогащения шламов (УОШ), который находится в состоянии запуска. С точки зрения экологической безопасности технология соответствует основным критериям: позволяет снизить на 25 % объемы шламовых хвостов с получением готовой продукции; не повышает класс опасности хвостов; предполагает полный замкнутый цикл использования оборотной воды; рассматривает вариантность подхода при разработке технологической схемы. Из недостатков следует указать на отсутствие комплексного использования сырья и неполное использование всего объема отходов.

- **Хвосты обогащения Солнечного ГОКа представляют собой типичный сложный объект с высоким содержанием шламов и наличием шламуемых полезных минералов.**
- **Схемы обогащения коренных оловянных руд сами по себе представляют сложные технологические объекты. Извлечение олова из них редко бывает более 55 %. В случае поликомпонентных руд с наличием минералов вольфрама, мышьяка и сульфидов, схемы обогащения имеют еще более сложную конфигурацию**

Гравитационное обогащение

Выполнены исследования по гидравлической классификации, обогащению на винтовом сепараторе, концентрационном столе и центробежном сепараторе.



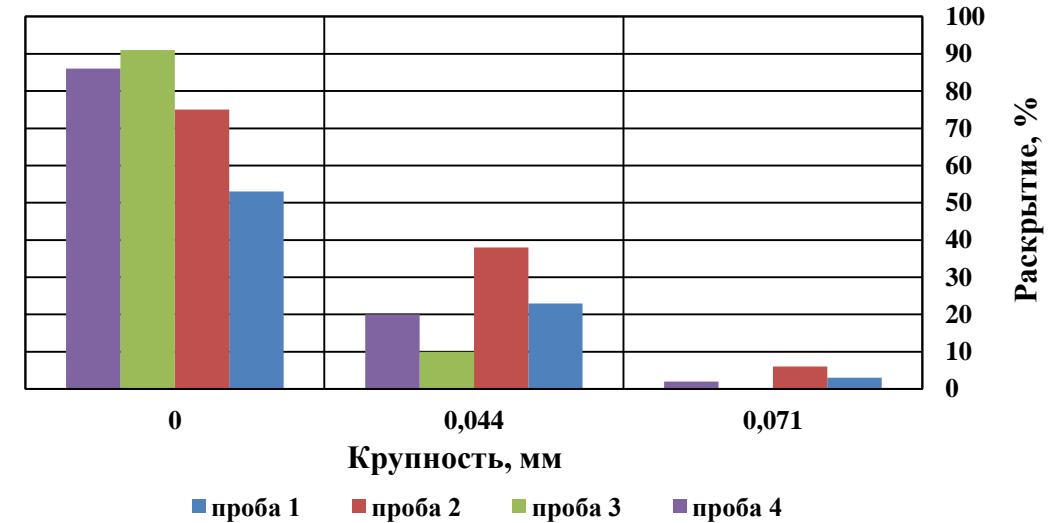
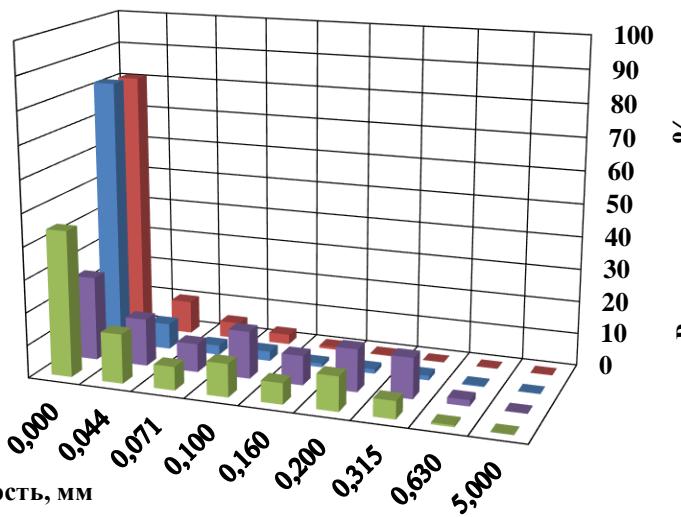
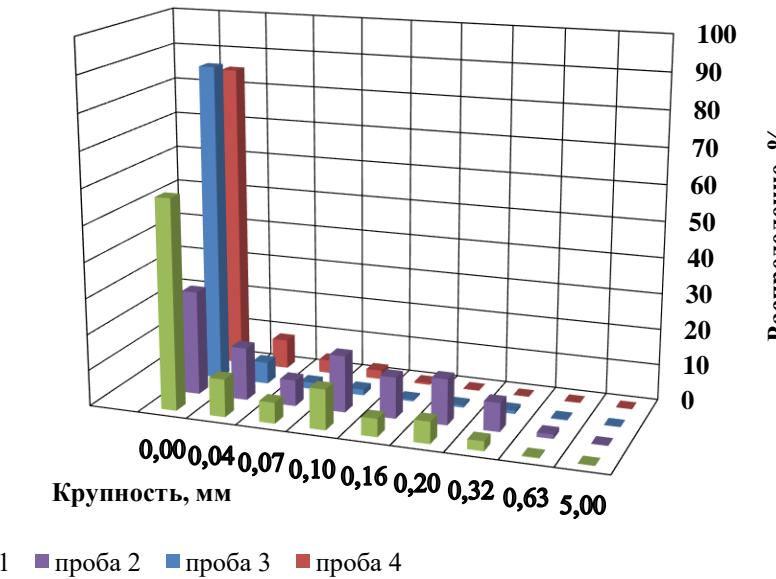
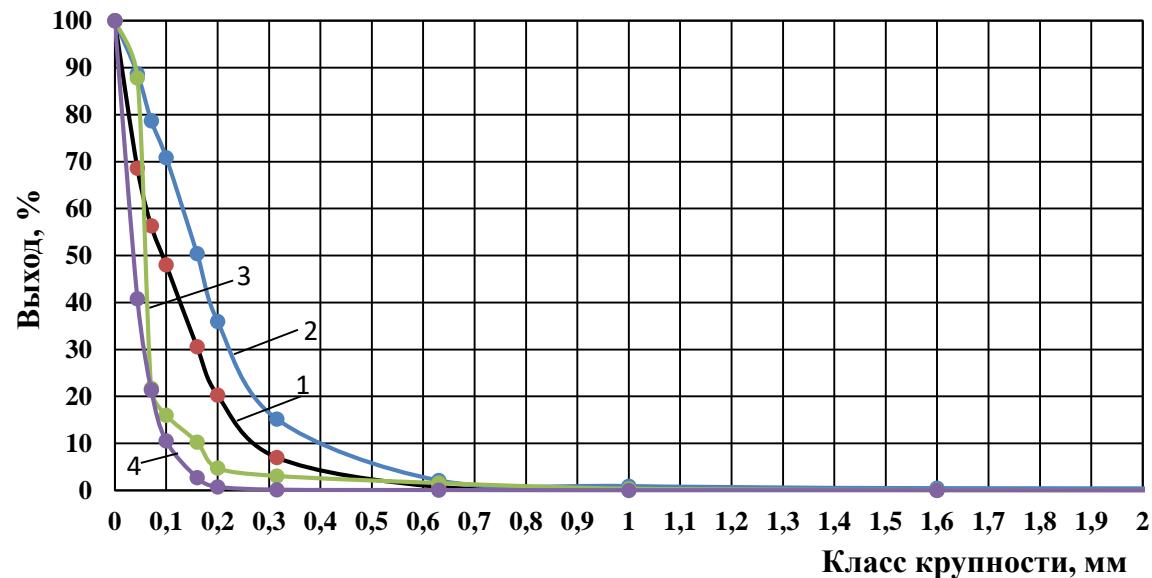
Хвосты Солнечного ГОКа. Мин. состав

Наименование продукта	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	
Минералы	Массовая доля минерала, %				
Рудные	Пирит	3	3	4	4
	Халькопирит	1	1	1	1
	Арсенопирит	1	1	1	1
	Ковеллин	<1	<1	<1	<1
	Касситерит	<1	<1	<1	<1
	Станин	<1	<1	<1	<1
	Шеелит, вольфрамит	<1	<1	<1	<1
	Окислы железа (гематит, гётит, магнетит)	3	4	3	3
	Прочие рудные (галенит, сфалерит, пирротин)	<1	<1	<1	<1
	Кварц	49	47	47	48
	Турмалин	15	14	14	13
	Клинохлор	10	9	13	11
	Слюды	8	8	7	8
	Палевые шпаты	4	5	4	5

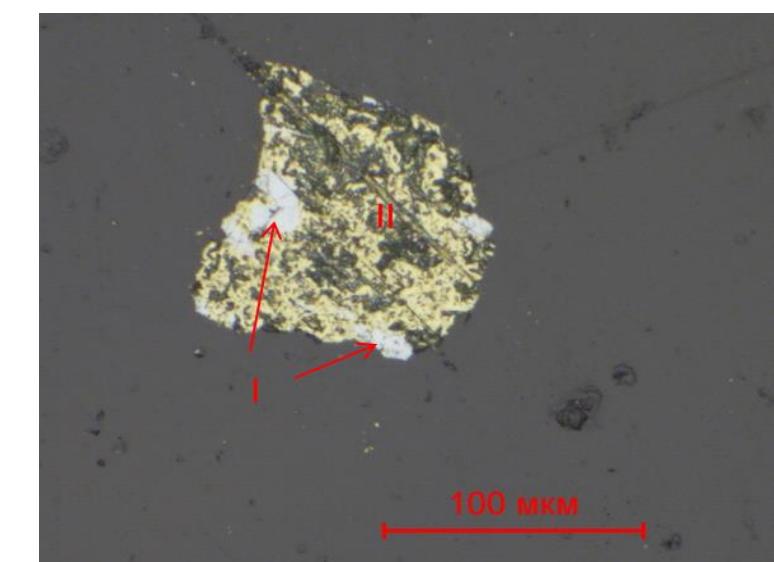
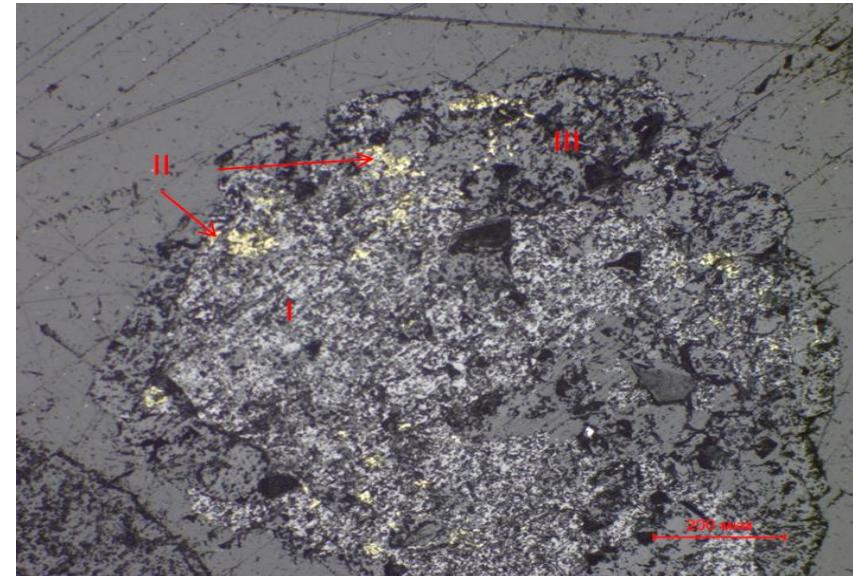
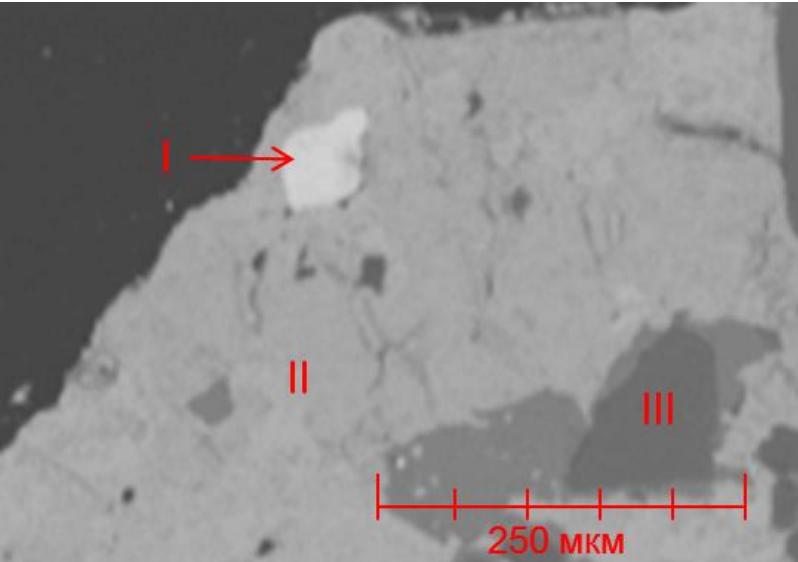
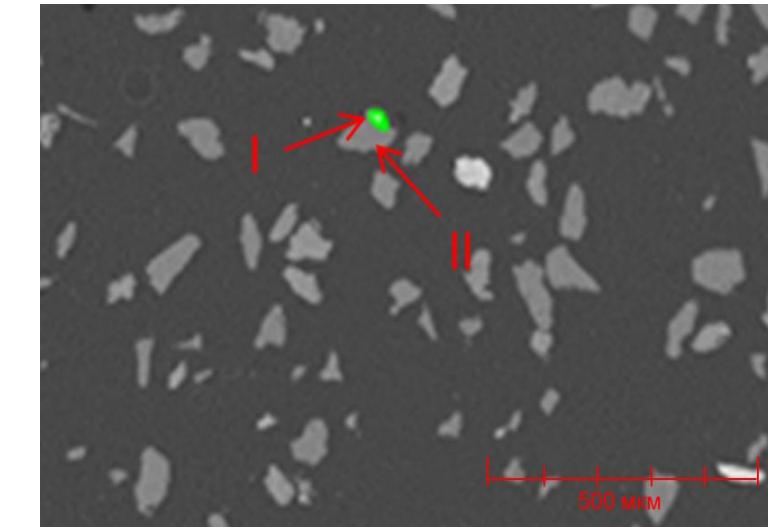
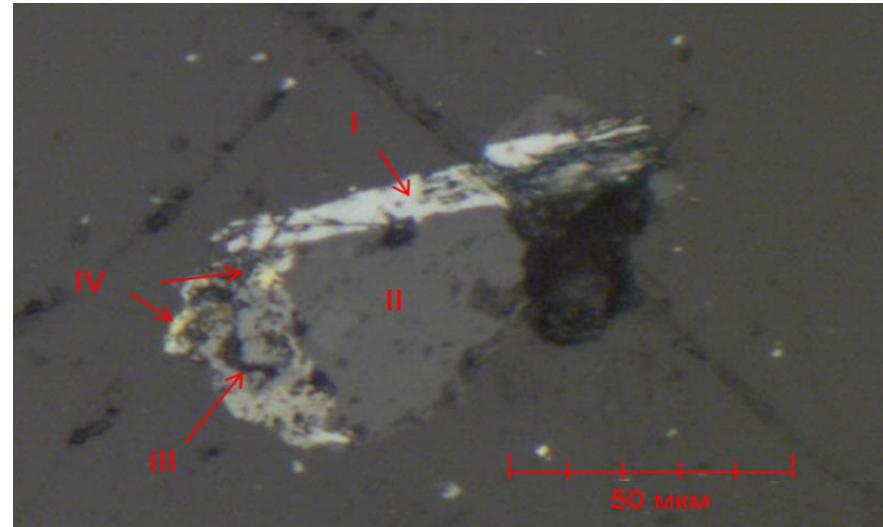
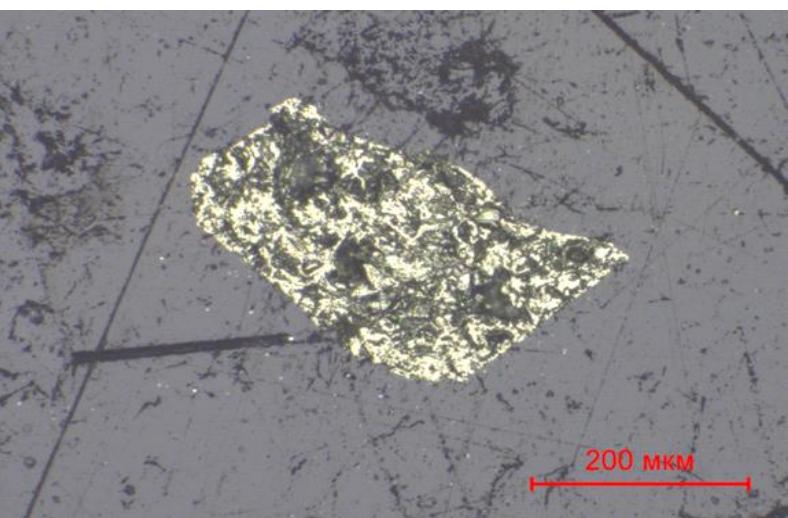
Формы соединений олова и меди

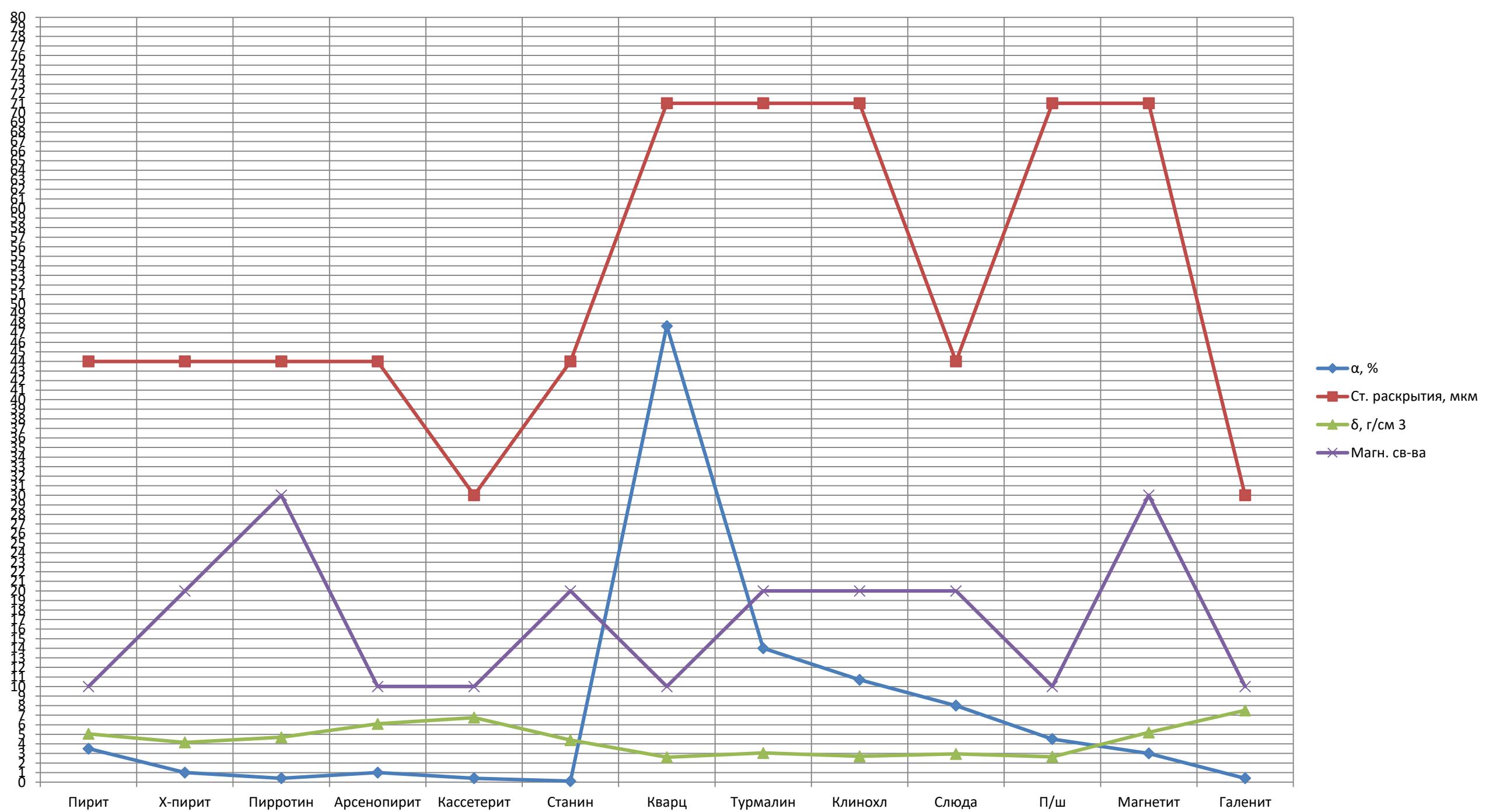
Формы соединения	Массовая доля, %				Распределение, %			
	1 проба	2 проба	3 проба	4 проба	1 проба	2 проба	3 проба	4 проба
ОЛОВО								
Касситерит	0,28	0,33	0,35	0,33	84,85	86,84	85,37	86,84
Станин	0,05	0,05	0,06	0,05	15,15	13,16	14,63	13,16
Итого	0,33	0,38	0,41	0,38	100,00	100,00	100,00	100,00
МЕДЬ								
Сульфидная:								
- первичная	0,31	0,24	0,30	0,34	73,81	64,86	66,67	73,91
- вторичная	0,07	0,10	0,11	0,09	16,67	27,03	24,44	19,57
Оксисленная	0,02	0,02	0,03	0,02	7,14	5,41	6,67	4,35
	0,02	0,01	0,01	0,01	2,38	2,70	2,22	2,17

Распределение олова и меди по кл. кр. Раскрытие



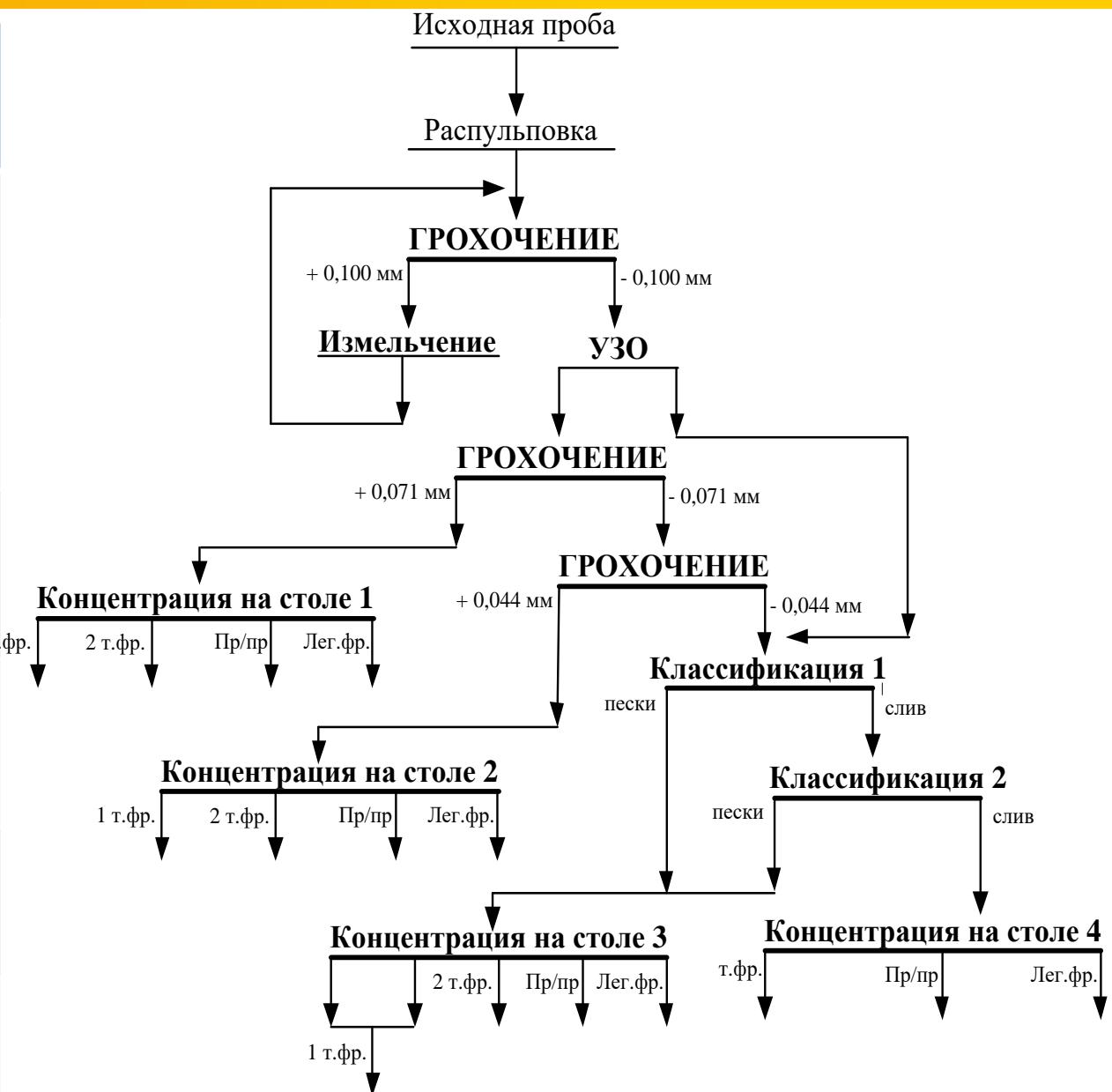
Минералы и их сростки



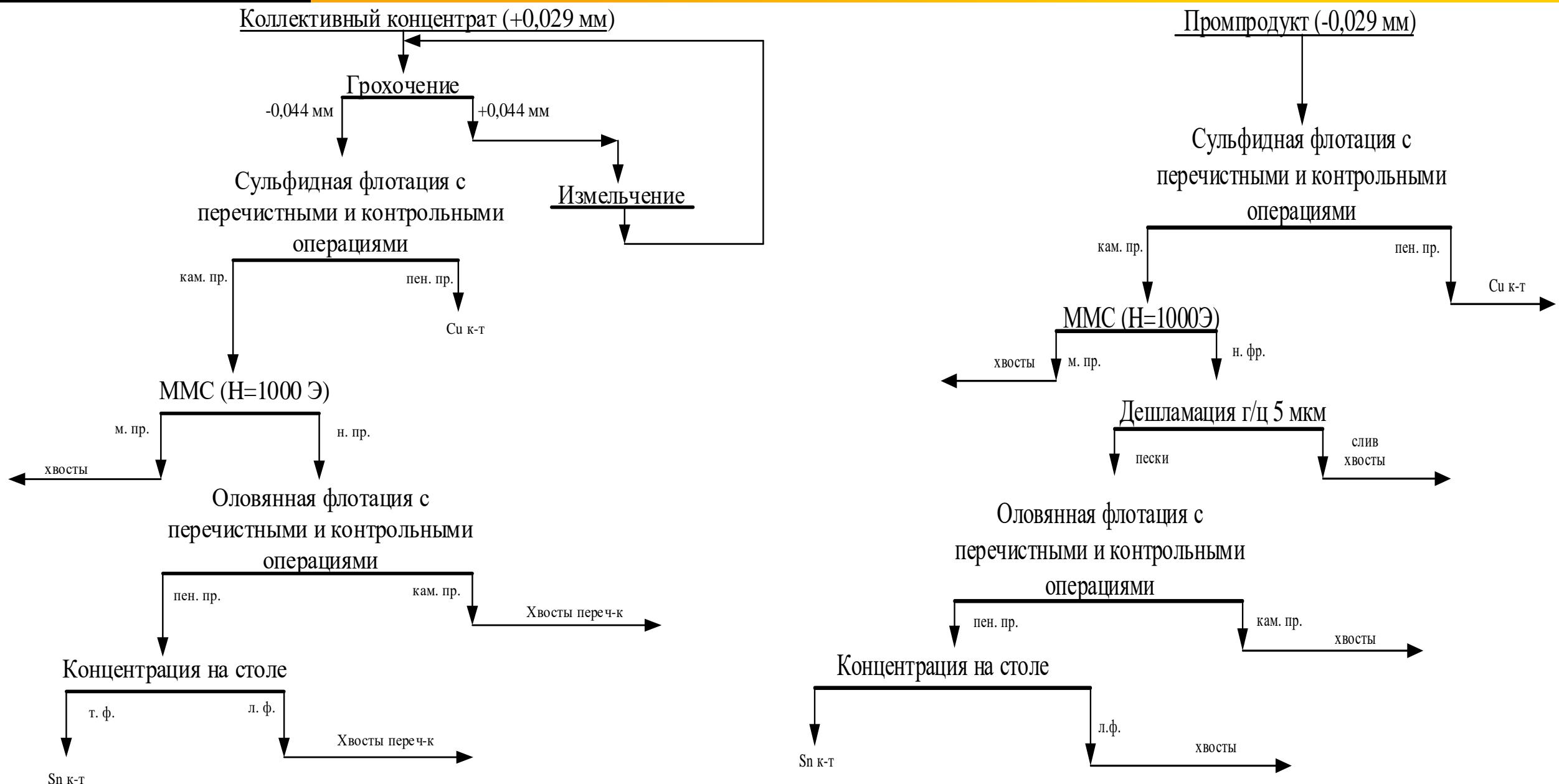


Коллективная схема

Операци	Продукт	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
			Sn	Cu	Sn	Cu
Схема 1, проба 1	Концентрат головки	4,8	1.98	1,31	32.76	16.15
	Пр.продукт1	8,37	0,37	0,68	10.69	14.62
	Пр.продукт2	39,01	0,34	0,59	44,18	58,72
	Хвосты	47,82	0,074	0,087	12,37	10,51
Итого:		100.0	0,29	0,39	100,0	100,0

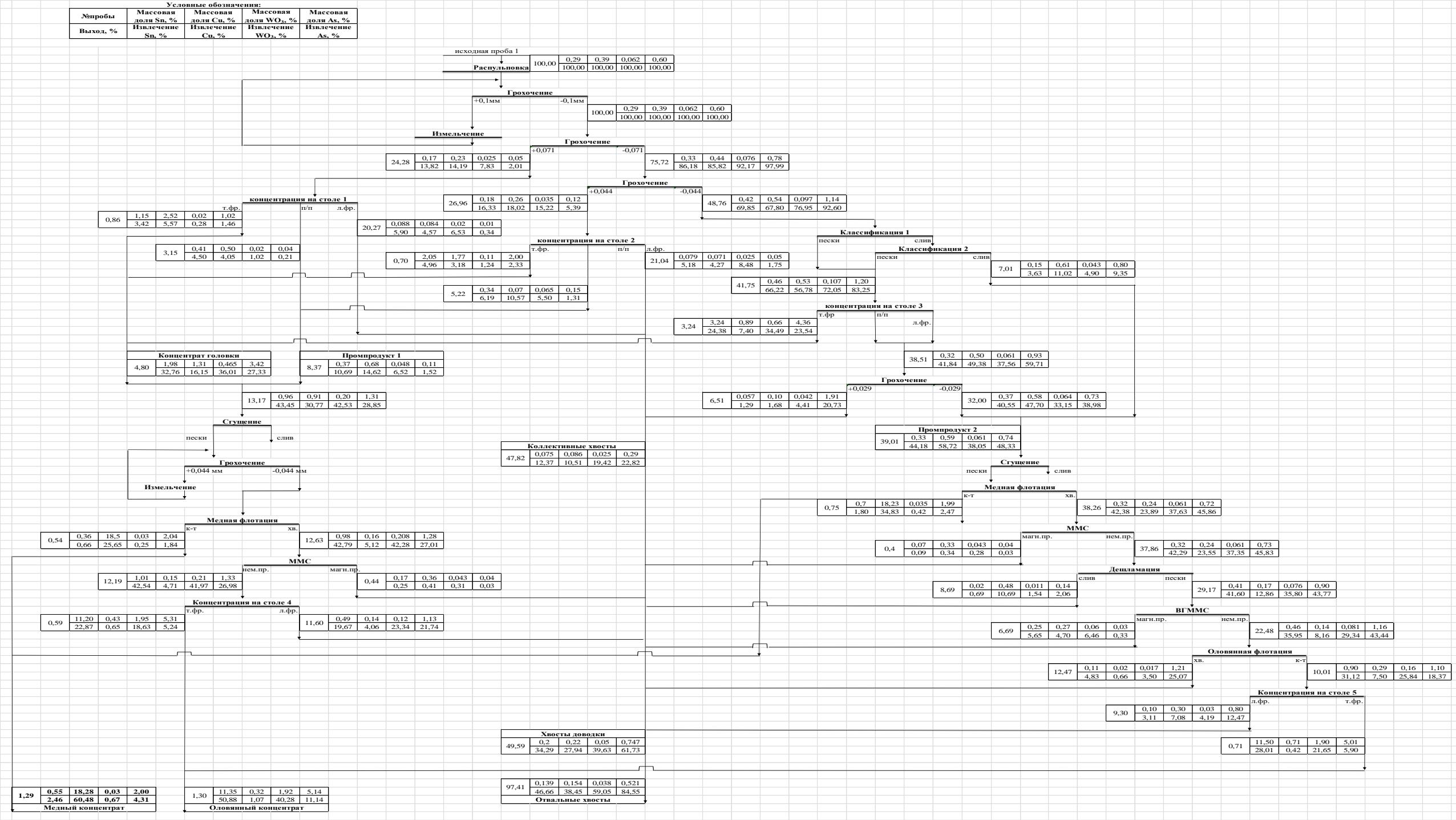


Схемы перечистки зернистой и шламовой части



Баланс продуктов обогащения хвостов Солн. ГОКа

Продукты	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %			
		Sn	Cu	WO ₃	As	Sn	Cu	WO ₃	As
Медный концентрат 1	0,54	0,36	18,45	0,03	2,04	0,66	25,65	0,25	1,84
Медный концентрат 2	0,75	0,70	18,23	0,035	1,99	1,80	34,83	0,42	2,47
Суммарный медный концентрат	1,29	0,55	18,28	0,03	2,00	2,46	60,48	0,67	4,31
Оловянный концентрат 1	0,59	11,20	0,43	1,95	5,31	22,87	0,65	18,63	5,24
Оловянный концентрат 2	0,71	11,50	0,71	1,90	5,01	28,01	0,42	21,65	5,01
Суммарный оловянный концентрат	1,30	11,35	0,32	1,92	5,14	50,88	1,07	40,28	11,14
Отвальные хвосты	97,41	0,139	0,154	0,038	0,521	46,66	38,45	59,05	84,55
Итого исходные	100,00	0,29	0,39	0,062	0,60	100	100	100	100



ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

- Укрупненный технико-экономический расчет эффективности разработанной технологии обогащения показал:
 - - на строительство обогатительной фабрики по переработке 1 млн. т хвостов потребуется **5 100** млн. руб. капитальных вложений.
 - - суммарные эксплуатационные расходы на добычу и обогащение хвостов составят примерно **1 005** млн. рублей в год;
 - - чистая прибыль за расчетный период составит **13 536** млн. руб/год;
 - - чистый дисконтированный доход составит **3 570** млн. руб. Окупаемость капитальных вложений без учета дисконтирования – 7 лет и с учетом дисконтирования – 9 лет.

ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СХЕМЫ

- Сравнивая экологические критерии разработки схемы обогащения шламовых хвостов с предыдущими схемами видно, что данная схема обладает меньшими показателями эффективности, так как:
 - - в готовую продукцию выводится всего 2,6 % лежальных хвостов, остальное возвращается в хвостохранилище;
 - - класс опасности хвостов повышается из-за использования в технологии китайских флотореагентов.
- К экологическим преимуществам схемы относится комплексность использования сырья и использование полного водооборота.
- Для повышения экологической безопасности схемы были проведены дополнительные исследования по изучению возможности использования хвостов коллективного цикла в качестве строительных материалов, песка строительного и стекольного. Положительные результаты испытаний позволили значительно повысить экологическую эффективность схемы и утилизировать еще 47 % лежальных хвостов.

ВЫВОДЫ

- Разработаны критерии экологической безопасности технологий переработки шламовых хвостов, а именно:
 - максимальная переработка хвостов с получением готовой товарной продукции и минимизацией отходов;
 - не изменение или снижение класса опасности получаемых отходов при переработке;
 - комплексность использования хвостов;
 - вариантность разрабатываемых технологий с выбором оптимальной не только по экономическим преимуществам, но и с точки зрения экологической безопасности;
 - использование полного оборота воды.
- Приведены примеры технологий обогащения шламовых хвостов и соответствие их критериям экологической безопасности, в том числе:
 - - экологически безопасная технология переработки хромсодержащих шламовых хвостов ДОФ-1 Донского ГОКа, которая позволила снизить объемы шламовых хвостов с получением готовой продукции на 37-39 %, не повышения класса опасности получаемых отходов, их комплексного использования и полного оборота воды;
 - Технология обогащения гематитовых хвостов ММК с получением 25 % концентрата с содержанием Fe 59-60 % и извлечением 52,2 %.
 - - экологичная технология переработки тонких оловосодержащих шламовых хвостов Солнечного ГОКа с получением 2,6 % ликвидных концентратов, оловянного и медного, снижением массы хвостов на 47 % за счет получения песка, полным циклом замкнутого водооборота и комплексным использованием техногенного сырья.

Спасибо
за внимание!

