



Опробование полезных ископаемых

Доклад: Pavel Mukhin, FAIG and FPONEN

Январь 2019

КазЦинк, Усть-Каменогорск



Для чего необходимо опробование?

- Основные понятия
 - Определение
 - Опробование по стадиям горно-производственного цикла
- Предназначение опробования
 - Качество и количество ПИ
 - Контура рудных тел
 - Подсчет запасов
 - Определение способов и схем переработки
- Информация получаемая при опробовании:
 - Минеральный состав
 - Содержание полезного компонента
 - Объемный вес, влажность, пористость
 - Твердость, сопротивление сжатию
 - Технологические свойства

Опробование

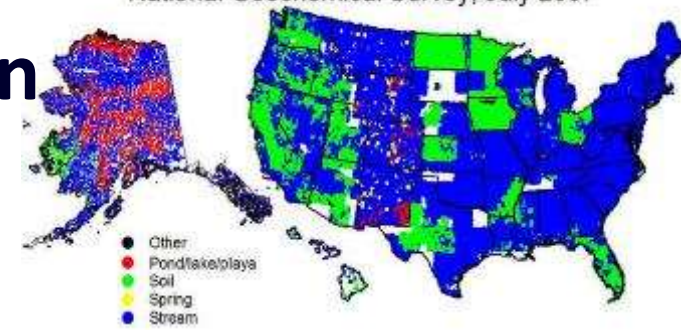
Виды опробования по стадиям работ

1. Поиски
2. Разведка
3. Оценка
4. Эксплуатация

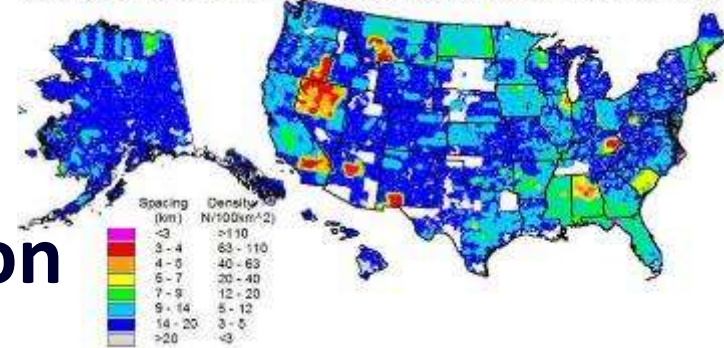


1. Поиски – Target generation

- Методы - комплекс геофизических и геохимических съемок
- Редкая сеть (1 проба на 3 кв.км – 100 кв.км)
- Цель - оценка минерального потенциала региона (качественная)
- Выделение участков для детальных поисков

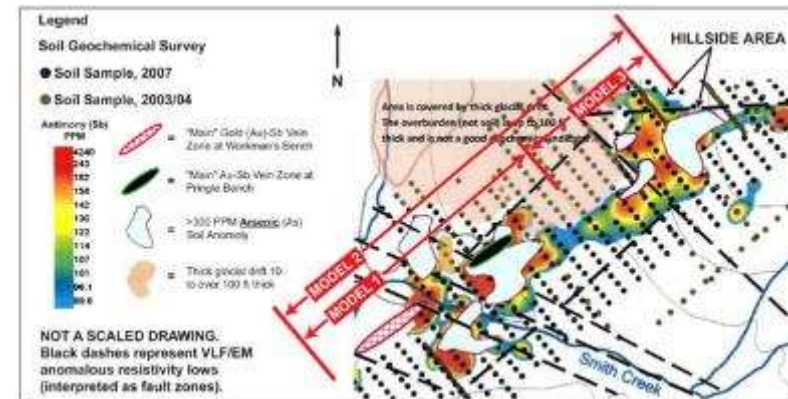


Sample Density of the National Geochemical Survey



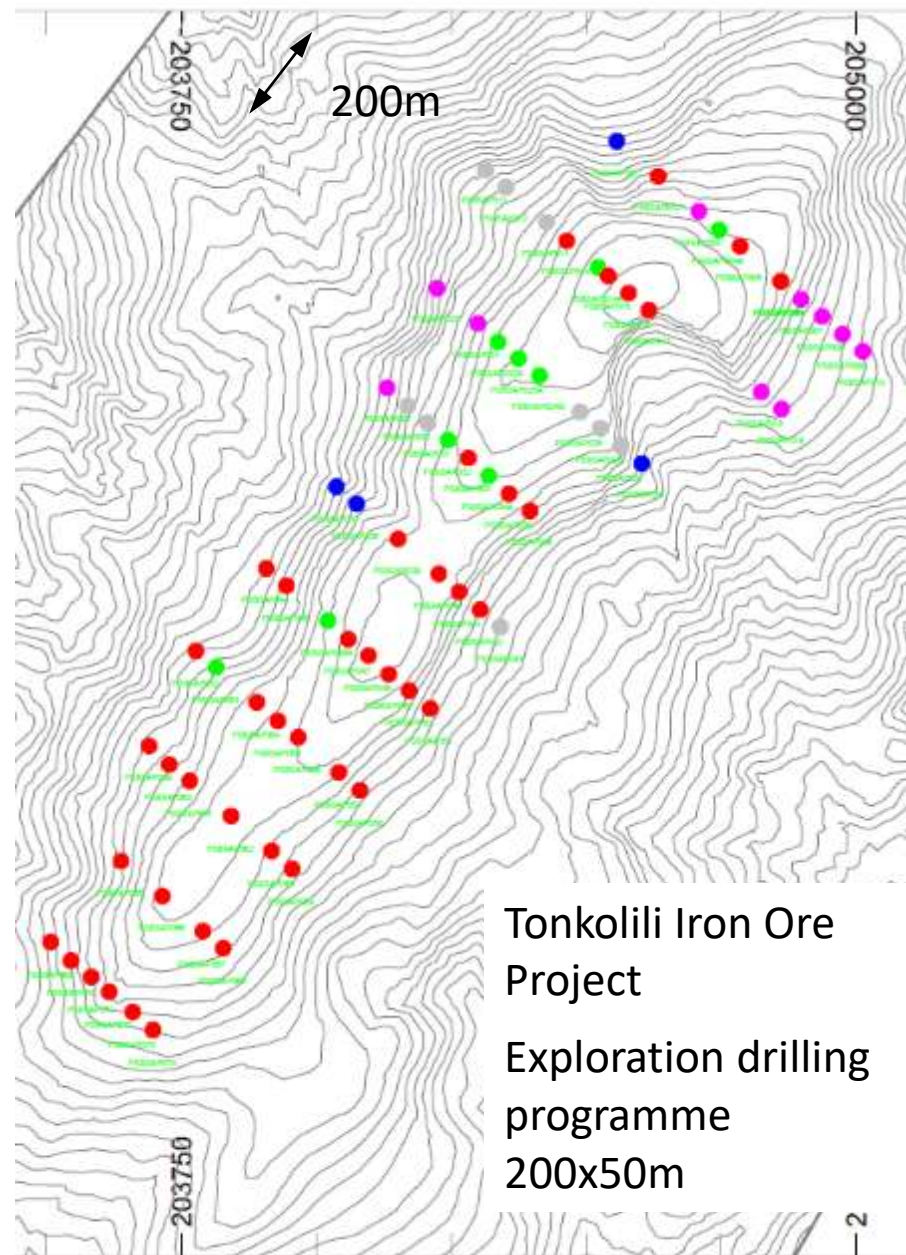
2. Разведка – Early exploration

- Геофизические съемки
- Геохимические съемки по сети 200 x 100м – 100 x 50м
- Детализация геофизических и геохимических аномалий
- Оценка минерального потенциала (количественная)



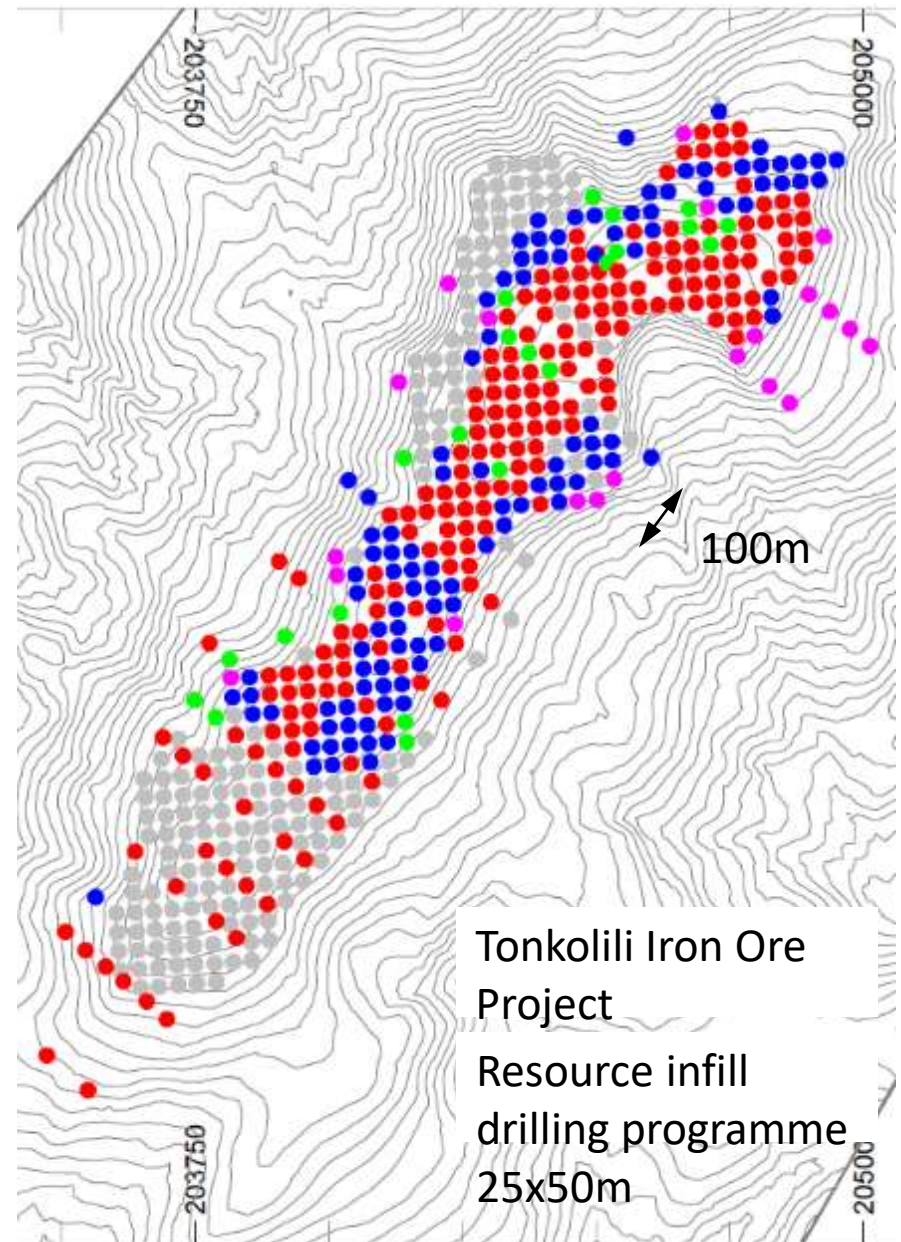
2. Разведка – Scoping study, PFS

- Поверхностные горные выработки и скважины (в местах отсутствия обнажений)
- Картирование поверхности и глубинного строения
- Редкая сеть (+100m)
- Определение границ рудного тела
- Оценка ресурсов



3. Оценка – Feasibility Study

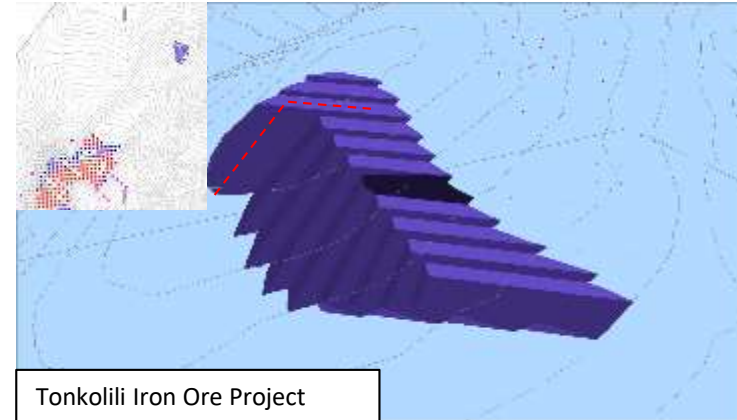
- Увеличение ресурсов и подсчет запасов
- Более густая сеть (~50m)
- Определение границ руды по содержанию или геологических границ (при наличии)
- Позволяет выполнить банковское ТЭО (bankable feasibility study)



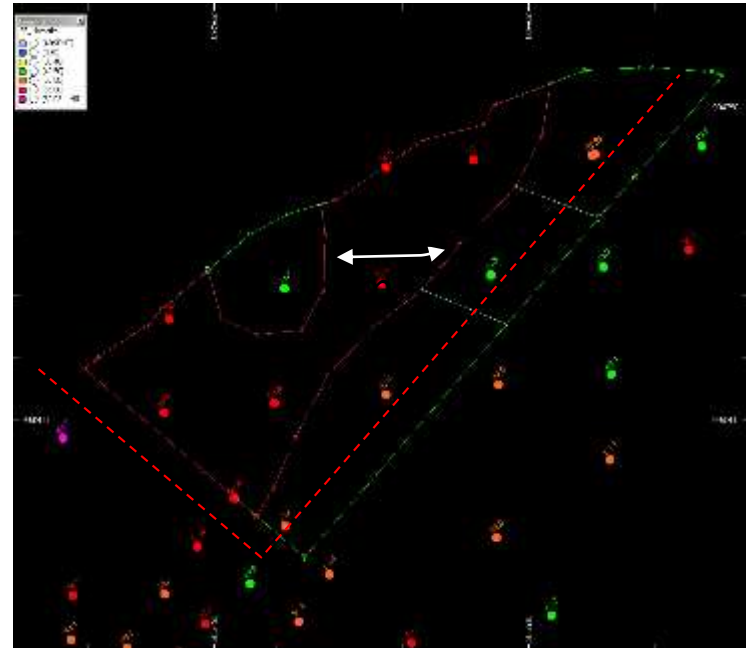
4. Эксплуатация

- Контроль содержания - Grade control (сеть 2-20м)
- Опробование в пределах локальной выемочной единицы и рудного склада
- Определение внутренних границ рудных тел по содержанию
- Определение границ зоны окисления
- Определение руды и вскрыши на основе ежедневного планирования для складирования, переработки и усреднения
- Определение прироста запасов

Test pit grade control drilling
12.5x12.5m



Tonkolili Iron Ore Project



Вид опробования выбирается основываясь на следующих факторах:

- Стадия проекта
- Тип рудника – подземная отработка или карьер
- Тип месторождения
- Равномерность распределения полезных компонентов в руде
- Стоимость опробования
- Насколько трудно отбирать пробы из разностей пород с высокой твердостью
- Представительность

Качество опробования – ключевой фактор

- QA/QC
 - **Правильность** (Accuracy) = Как близко к истинному значению, важно избежать смещения
 - **Точность** (Precision) = Как близко одно значение к другому (близость к нулю систематических погрешностей). Повторяемо ли оно.
- Факторы, влияющие на надежность;
 - размер пробы
 - Размер частиц
 - Тип минерализации
 - Влияние гравитации на перераспределение вещества в пробе

Виды опробования по стадиям работ

Виды опробования	Способы опробования		
	При поисках	При разведке	При эксплуатации
Минералогическое	Штуфной	Штуфной (для предварительного изучения обогатимости руд) Шлиховой (для россыпей) Порошковый (для вкрапленных руд)	Шлиховой (для россыпей) Гравитационный
Геофизическое	Площадные геофизические съемки	Каротаж буровых скважин (магнитный, электрический, радиоактивный)	Шпуровой (радиометрический)
		Порошковый, шламовый (магнитный, радиометрический, рентген-радиометрический, рентген-флуоресцентный)	
Химическое	Спектральный (геохимический)	Бороздовый (в забоях)	Шпуровой Шламовый скважин БВР
	Шлиховой по потокам	Точечный (в забоях)	
Техническое	Гидрохимическое	Горстевой (в забоях, с отвалов, с вагонов)	Отбор монолитов для определения объемного веса Отбор образцов для изучения физ.-тех свойств руд и горных пород
	Атмохимическое	Задирковый (в забоях)	
	Биохимическое	Валовый (в забоях, с отвалов, с вагонов)	
		Шламовый (при бурении шнековым, ударном, колонковым)	
Технологическое		Керновый (при колонковом бурении)	Технологический для учета эксплуатации отдельных блоков, этажей, рудных тел Пробная эксплуатация

1. Опробование на стадии поисков

Геохимическое

- Литогеохимическое опробование
- Шлиховое опробование речных или озерных отложений
- Пробы почв
- Гидрохимическое опробование
- Атмохимическое опробование
- Биохимическое опробование



Геофизическое

- Аэро- и наземная магниторазведка, электроразведка (EM), гравиразведка
- Вызванной поляризации (IP)(только наземная)
- Требуется калибровка

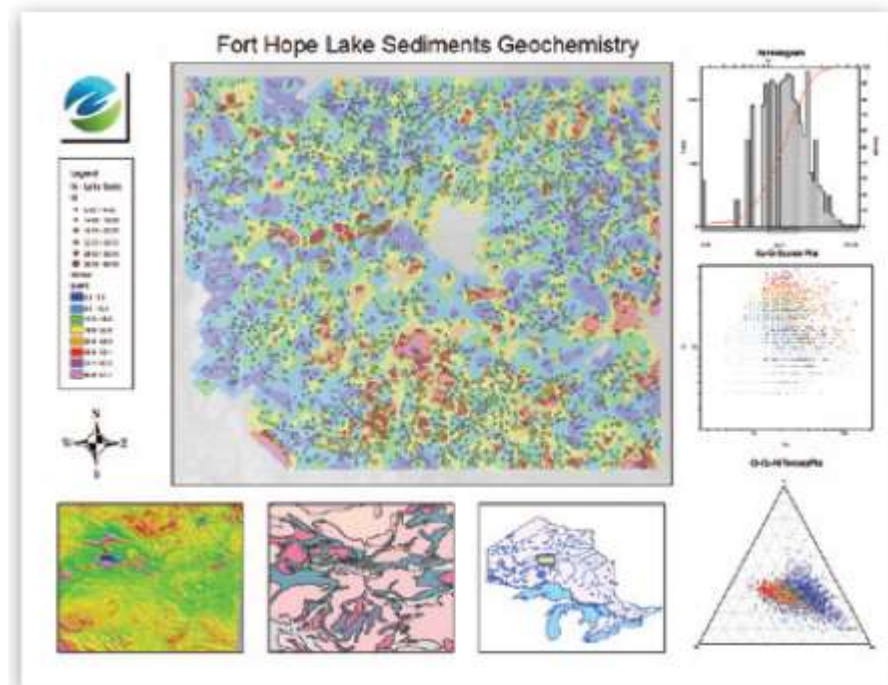
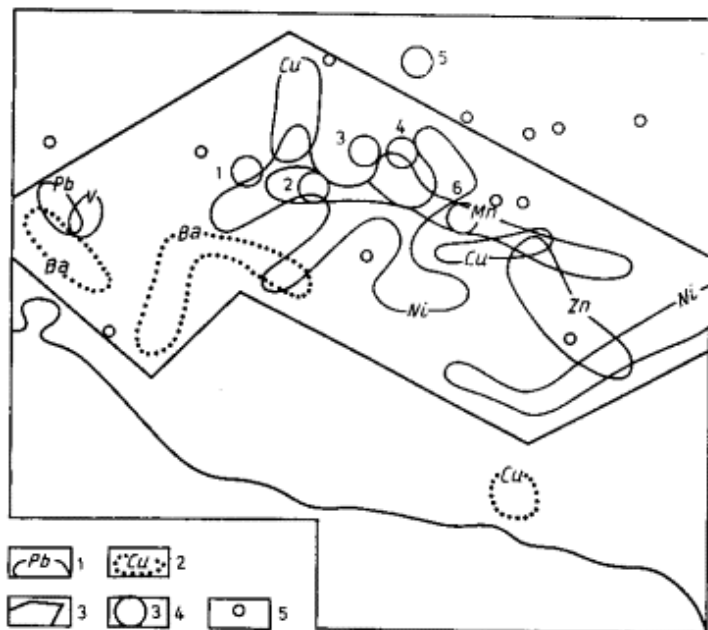


Минералогическое

1. Опробование на стадии поисков

Геохимическое

- Литогеохимическое опробование
- Рудные тела - участки с наиб. содержанием полезных компонентов - как правило окружены ореолами аномальных концентраций рудных и сопутствующих им элементов,



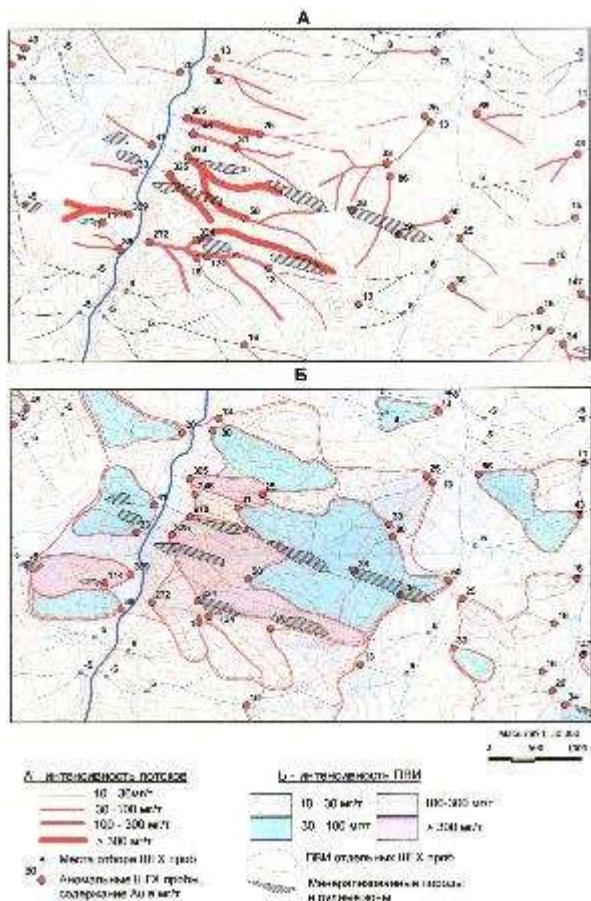
которые образуются одновременно с рудными телами (первичные геохим. ореолы рассеяния).

- Размеры ореолов значительно превышают размеры рудных тел
- Проба весом 300-350г.

1. Опробование на стадии поисков

Шлиховое опробование

- Применяется при поисках минерализации по потокам



Методика отбора шлихогеохимической пробы

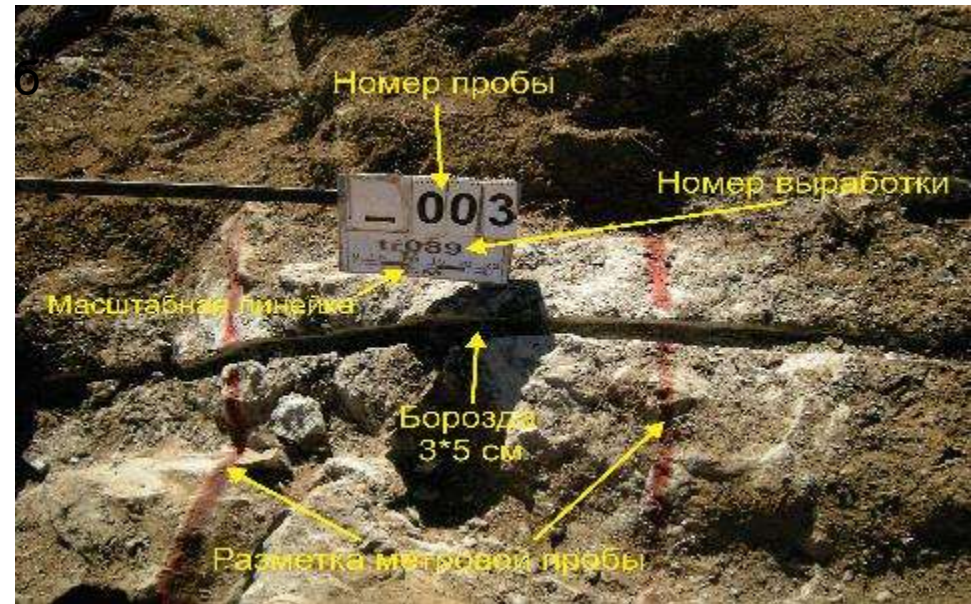
1. В условиях расчлененного рельефа и развитой гидрогр. сети ШГХ пробы отбираются из современных русловых отложений постоянных или временных водотоков в местах наибольшего скопления тяжелых минералов: в цоколе подмываемого берега, на верхних (по течению) и внешних частях кос, около загромождающих поток валунов и т.д.
2. Непосредственно с поверхности или из копуш в каждой точке берется около 0,01 м³ (один рудный мешок) – 18-20 кг материала.
3. При опробовании широких плоских долин с невыраженным тальвегом ШГХ проба составляется из материала 2-3 копуш, пройденных по профилю вкрест простирания долины.

Методические рекомендации по шлихогеохимическому методу поисков месторождений рудных и благородных металлов (золото, платиноиды) при ГДП-200, Алматы, 2003

Бороздое опробование

канал

Все поверхностные горные выработки и каждый интервал бороздоего опробования следует фотографировать с включением в снимки измерительной линейки и наименований выработок и проб

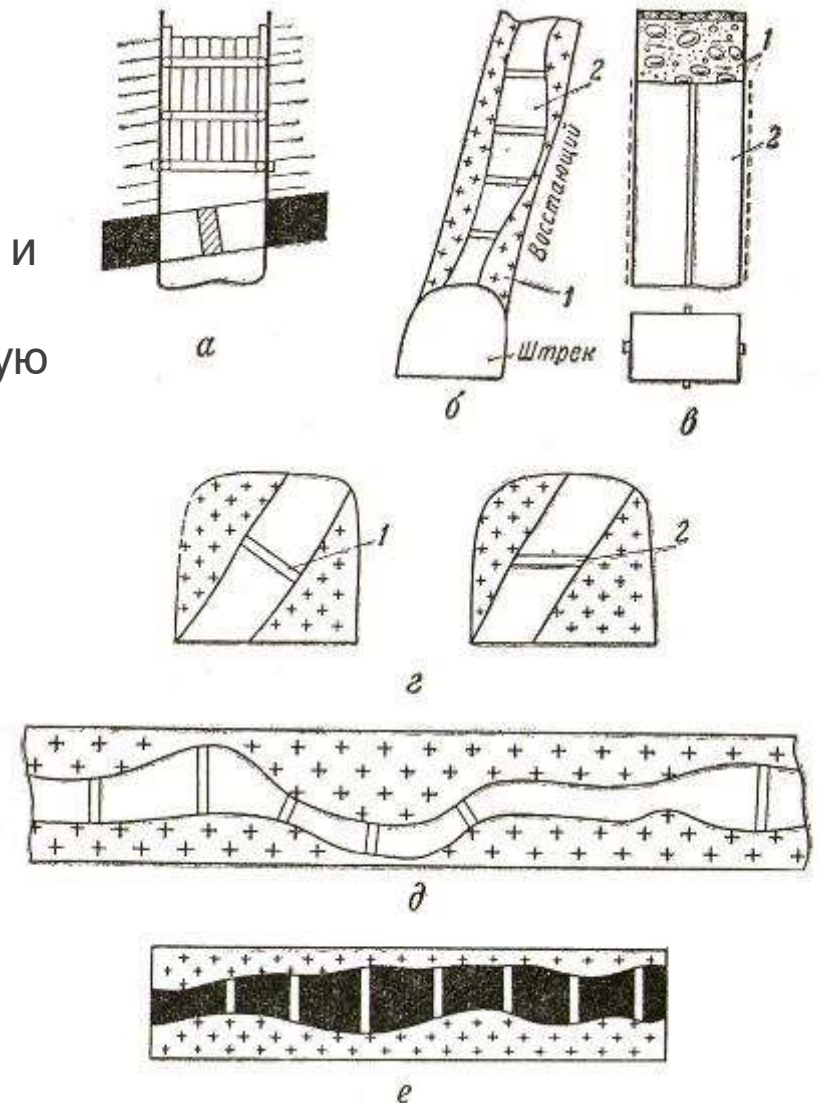


Информация, которая должна регистрироваться по каждой выработке, по которой производится опробование

- Исходная выработка (канавка, врез) опробования
- Координаты исходной и конечной точки опробования – измеряются с помощью прибора GPS (также необходимо привязывать все точки значительных изменений направлений и перегибов борозды)
- Если бороздое опробование будет включено в подсчет ресурсов, необходимо провести более точную (с погрешностью менее 1 см) топопривязку борозды при помощи высокоточных приборов
- Детальное геологическое описание и зарисовка в специальных журналах
- Направление бороздоего опробования: азимут и падение
- Количество отобранных проб, диапазон номеров проб
- ФИО рабочего, проводившего опробование, и дата опробования

Бороздовое опробование подземных горных выработок

- Необходимо очистить поверхность перед отбором пробы
- Борозда проходится используя алмазную пилу, перфоратор
- Борозда проходится как поперек так и вдоль минерализованной зоны
- Необходимо выдерживать постоянную ширину и глубину борозды
- Затратный по времени и дорогой метод



Технологическое опробование

Проба отбирается для технологических тестов

- Размер пробы зависит от вида сырья (хим.свойств, равномерности распределения и размеров частиц полезного компонента) и от характера испытаний – процесса и стадии. Определяется тестовой лабораторией
- *Лабораторные тесты* - от первых кг до нескольких тонн
- *Полупромышленные испытания* – десятки тонн
- *Промышленные испытания* – загрузка полного цикла работы фабрики (тысячи и десятки тысяч тонн)
- Способ отбора – компоновка бороздовых или керновых частных проб или половинок, валовая проба
- Представительность – проба должна представлять определенный сорт руды (если перерабатывается отдельно), содержания полезных компонентов должны соответствовать среднему по сорту (проба компоуется)
- Часто тестируется на разные виды технологий, выбирается оптимальная



Специальные виды опробования

- Измерение объёмного веса (Specific Gravity)
- Определение влажности
- Определение пористости
- Определение коэффициента разрыхления
- Определение крепости, буримости и взрываемости пород



Ошибки при опробовании

- Ошибки отбора пробы
 - Невыдерживание размеров пробы
 - Избирательный отбор материала из-за крепости пород
- Потеря части материала, вызванная:
 - Вымыванием
 - Неправильным распиливанием керна в месте где он не представительен
 - Сокращением пробы на месте отбора (нарушение методики пробоподготовки)
 - Некорректное обращение с материалом при документации и хранении
- Заражение пробы от:
 - Внешних источников (металлических емкостей и т.п.)
 - Плохая очистка оборудования
 - Использование старых пробных мешков
- Человеческий фактор –
 - Ошибки при документации (номера проб)
 - Привязка проб и т.д.



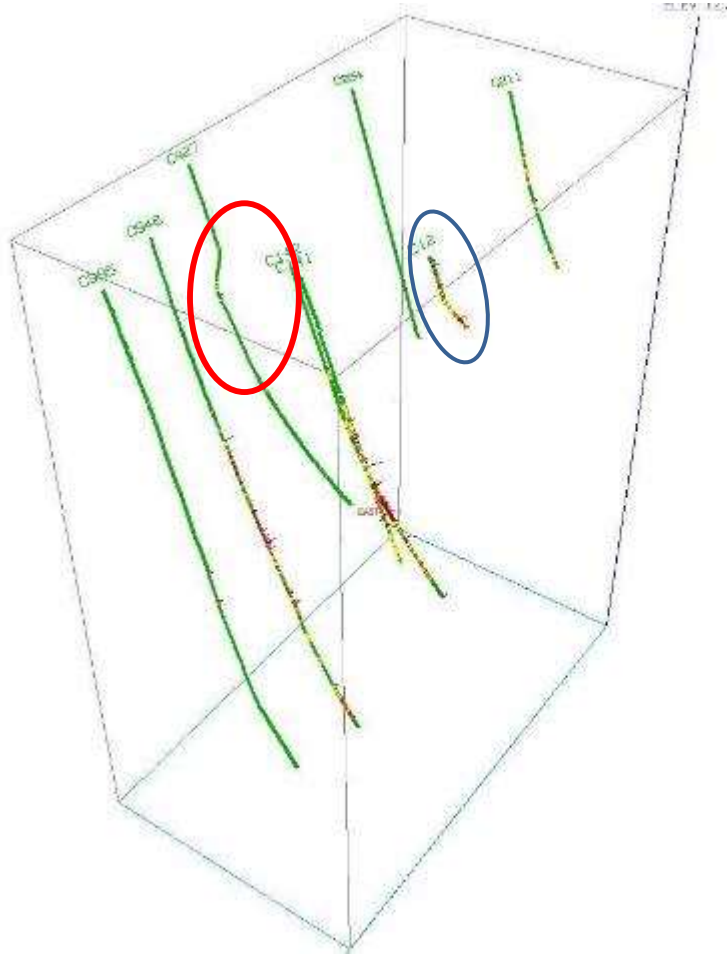
Размер проб при различных методах бурения

- Зависит от диаметра рабочего инструмента, способа бурения и объемного веса породы.

Минимальный начальный вес проб, отбираемых с 1 м. скважин разного способа бурения (при объемном весе породы 2,6)

Способ бурения	Наружный диаметр инструмента, мм	Характер материала	Минимальный весовой % выхода материала	Доля материала, отбираемого в пробу	Минимальный вес пробы, кг
Колонковый					
Дробью	91	Керн	70	0,5	3,0
Твердыми сплавами	76		70	0,5	2,0
То же	59		70	0,9	2,0
Алмазное	46		90	0,95	1,5
То же	36		90	0,95	0,7
С эжекторным снарядом	130		Дробленый материал (щебень)	70	Полностью
То же	110	70			12,0
	91	70			7,0
	75	70			4,0
Ударно-механический	6" 152,4	Дробленый материал (щебень и шлам)	70		25,0
	8" 203,2		70		45,0
Шпуровой	40	Буровая мука	90		2,5

Инклинометрия



- Инклинометрия показывает насколько скважина отклоняется от проектного направления.
- Большинство скважин имеют такие отклонения
- Отклонения вызываются нарушениями при бурении (к примеру слишком быстрое), изменением состава пород или наличием геологических структур
- Типичные данные инклинометрии содержат угол падения и ориентацию скважины через определенные интервалы от устья до конца.

Выводы

- Документация скважины глубиной 1000м+ непростая задача
- Вы должны понимать для чего документируете и иметь представление о геологическом строении участка чтобы понимать что вы видите в керне.
- Если на участке работает группа геологов, убедитесь что все документируют одинаково.
- Ведите документацию аккуратно, вам придется читать ее и пользоваться информацией из нее.
- Детальная информация важна, но нужно понимать цель
- Выработайте систематический подход в документации и комментариях.
- Следуйте стандартам вашей компании
- На начальной стадии собирайте всю возможную информацию, пока как вы не знаете месторождение. Чем больше данных тем легче увидеть их взаимосвязь
- Для поздней стадии бурения когда есть понимание контролирующих оруденение факторов и маркерных горизонтов можно документировать только важные моменты.
- Пример: Имеют ли значение палеонтологические остатки для вашей документации – они могут маркировать горизонты или быть случайными и не иметь значения



Отбор групповых проб

Применение

- Отбираются для определения в рудах сопутствующих компонентов

Методика опробования

- Групповые пробы формируются из 5-7 навесок рядовых проб
- Компоновка групповых проб осуществляется по типам руд а также с учетом классов содержаний основного рудного компонента.
- Поэтому групповое опробование проводится после получения результатов анализов керновых (или бороздовых) проб
- Для расчета массы каждой навески определяющим является конечный вес групповой пробы – 500г.

Кернохранилище



Потратив тысячи долларов на бурение имеет смысл хорошо позаботиться о сохранности керна

Контрольный список операций по документированию и опробованию керна

1. Аккуратно извлечь керн из керноприемника и положить его на V-образные уголки-направляющие
2. Вымыть керн
3. Ориентировать керн и отметить вдоль него направление Вверх красным маркером, вдоль самого нижнего угла керна, используя углы альфа (α) и бета (β). Эта линия будет использована в дальнейшем при разрезании керна.
4. Провести геотехническое документирование керна
5. Аккуратно поместить должным способом керн в керновый ящик.
6. Определить общий выход керна (TCR)
7. Выполнить геологическое документирование керна (смочить керн водой, если это позволит лучше видеть и различать литологические разновидности).
8. Сфотографировать керн (смочить керн водой, если это сделает литологические разновидности виднее и различимее)
9. Отобрать любые необходимые пробы для геотехнических испытаний, оставив в ящике метки, указывающие, откуда были взяты эти пробы
10. Измерить плотность/удельный вес породы керна.



Контрольный список операций по документированию и опробованию керна

11. Разрезать керн пополам алмазной пилой вдоль линии ориентирования
12. Отметить керн для количественных анализов (при необходимости вновь смочить керн)
13. Отобрать пробы керна для количественных анализов, поместив их в чистые пробные мешки с пластиковыми бирками
14. Отберите образцы для петрографического изучения и оставьте в ящике метки, указывающие, откуда были взяты эти образцы.
15. На каждые 20 проб включить в анализ по одной стандартной и пустой пробе
16. На каждые 20 проб включить в анализ по одной полевой пробе-дубликату или пробе крупнозернистых отходов
17. Перед анализом в лаборатории, включить в анализ по одной пробе-дубликату истертого материала (навески для анализа) на каждые 20 проб
18. По возвращении проб и навесок для анализа из лаборатории, послать 35 проб, отобранных SRK, в арбитражную лабораторию.
19. Послать случайные пробы крупнозернистых отходов для приготовления навесок истертого материала проб и их анализа в арбитражную лабораторию.
20. Хранить керн в безопасном, прохладном и хорошо проветриваемом кернохранилище



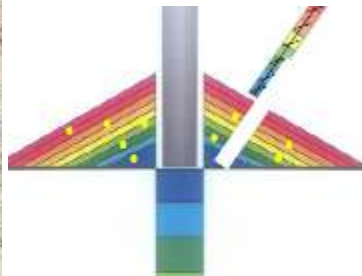
3. Опробование при эксплуатации

- Задачи опробования
 - Контроль содержаний при добыче (в забое)
 - Вывод средних содержаний и подсчет запасов в эксплуатационных блоках, намечаемых к отработке
 - Подготовка эксплуатационных горизонтов к добыче
- Виды опробования, применяемые на стадии эксплуатации:
 - Минералогическое штучное опробование
 - XRF экспресс-анализ – для контроля содержания
 - Бороздочное опробование по крыше и подошве блока – для оценки запасов и контроля данных XRF
 - Шламное опробование скважин БВР
 - Горстевое и валовое опробование на забое
 - Алмазное керновое бурение – опережающая эксплуатационная разведка
 - Товарное опробование на входе на фабрику



Опробование шлама скважин БВР

- Методика опробования
 - При **однородном составе руды** достаточно взять одну пробу на всю высоту уступа (5 или 10м)
 - Проба отбирается из конуса отложения шлама у устья. Шлам при этом ложится на неровную трещиноватую поверхность уступа, что приводит к систематической ошибке отбора. Укладка железных листов изолирует материал и повышает качество пробы.
 - При неоднородном строении (пустых прослоях) и селективной отработке скважина опробуется секционными пробами по 2,5 – 2м (по мощности)
 - Требуется специальный модуль – делитель.
 - Геолог мешает процессу бурения блока под взрыв



XRF анализаторы для экспресс-анализа

DELTA Mining & Geochemistry Handheld XRF Analyzers



- Металлы: Cu, Pb, Zn, Ag, Mo
- Уран +/- редкие
- Сульфидные и окисленные никелевые руды
- Железо и бокситы
- La, Ce, Pr, and Nd
- Фосфориты
- Sn, W, Mo, Bi, Sb
- Россыпи Ti, Zr
- Уголь, нефть и газ
- Опробование шлама

- Применяются для контроля содержания при добыче
- При товарном опробовании и контроле содержаний на фабрике
- **минусы:** Точечный анализ, анализ только поверхности образца, соответственно высокая погрешность, высокая цена прибора
- **плюсы:** огромная производительность, скорость
- Не разрушает образец, можно опробовать без отбора пробы на забое, результат сразу,
- Исключает ошибки пробоподготовки, появляются ошибки из-за влажности и др.



XRF анализаторы для экспресс-анализа

Предел определения содержаний



Your Vision, Our Future

HANDHELD XRF ANALYZERS

Limits of Detection

Low-Density Sample Types — (soils, powders, liquids)

- Not Measured
- <1 %
- <0.5 %
- <200 ppm
- <50 ppm
- <20 ppm
- <10 ppm
- <5 ppm

H 1	IIA																He 2															
0.05 Li 3	0.11 Be 4																	0.18 B 5	0.28 C 6	0.39 N 7	0.52 O 8	0.68 F 9	0.85 Ne 10									
1.04 Na 11	1.25 Mg 12																	1.49 Al 13	1.74 Si 14	2.01 P 15	2.31 S 16	2.82 Cl 17	2.96 Ar 18									
3.31 K 19	3.69 Ca 20	4.08 Sc 21	IIIB		4.51 Ti 22	4.95 V 23	5.41 Cr 24	5.9 Mn 25	6.4 Fe 26	Group VIII			6.83 Co 27	7.48 Ni 28	8.05 Cu 29	8.84 Zn 30	9.25 Ga 31	9.89 Ge 32	10.54 As 33	11.22 Se 34	11.92 Br 35	12.65 Kr 36										
13.4 Rb 37	14.96 Sr 38	14.96 Y 39	IIIB		15.78 Zr 40	16.82 Nb 41	17.48 Mo 42	18.37 Tc 43	19.28 Ru 44	20.22 Rh 45	21.18 Pd 46	22.16 Ag 47	23.17 Cd 48	24.21 In 49	25.27 Sn 50	26.36 Sb 51	27.47 Te 52	28.61 I 53	29.78 Xe 54													
1.69 Cs 55	1.75 Ba 56			55.79 Hf 72	63.23 Ta 73	65.22 W 74	69.31 Re 75	71.41 Os 76	73.56 Ir 77	75.75 Pt 78	77.98 Au 79	80.25 Hg 80	82.58 Tl 81	84.94 Pb 82	87.34 Bi 83	89.8 Po 84	92.3 At 85	94.67 Rn 86														
86.1 Fr 87	97.47 Ra 88																	99.97 Ac 89	102.85 Th 90	105.61 Pa 91	108.43 U 92	111.3 Np 93	114.2 Pu 94	117.1 Am 95	120.0 Cm 96	122.9 Bk 97	125.8 Cf 98	128.7 Es 99	131.6 Fm 100	134.5 Md 101	137.4 No 102	140.3 Lr 103
Lanthanides 57-71		33.44 La 57	37.8 Ce 58	39.26 Pr 59	40.75 Nd 60	42.27 Pm 61	43.83 Sm 62	45.41 Eu 63	47.04 Gd 64	48.7 Tb 65	50.38 Dy 66	52.12 Ho 67	53.88 Er 68	55.68 Tm 69	57.57 Yb 70	59.57 Lu 71																
Actinides 89-103		90.38 Ac 89	102.85 Th 90	105.61 Pa 91	108.43 U 92	111.3 Np 93	114.2 Pu 94	117.1 Am 95	120.0 Cm 96	122.9 Bk 97	125.8 Cf 98	128.7 Es 99	131.6 Fm 100	134.5 Md 101	137.4 No 102	140.3 Lr 103																



Пробоподготовка

1

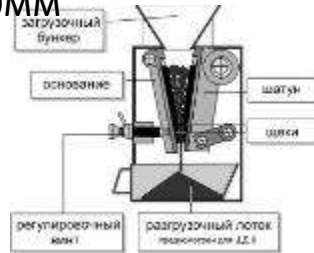


- Сушка, дробление, истирание в соответствии со схемой,

1) Сушке обычно подвергаются породы и руды коры выветривания. Первичные массивные руды сушатся только если они хранились в пластиковом мешке

2

Дробилка щековая, 50-70мм,
Выход – 3-20мм



2) Дробление. В зависимости от размера кусков используются разные дробилки - щековые, валковые и стержневые мельницы

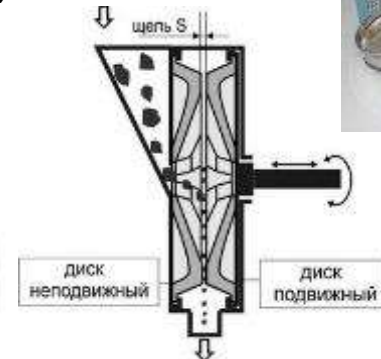
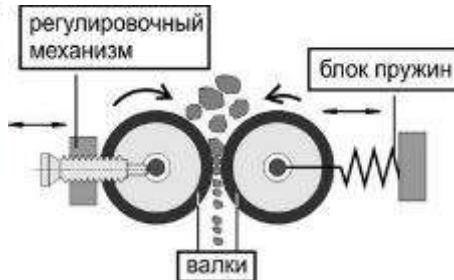
3) Контрольное просеивание на каждой стадии дробления

Дисковый истиратель, 5мм,
Выход – 0,01- 0,1мм

3



Дробилка валковая, 12мм,
Выход – 0,25- 1мм



Необходимое количество проб

- На поисковой стадии работ для решения вопроса о целесообразности продолжения разведки месторождения следует отобрать достаточное количество проб по выявленным рудным телам.
- минимальное необходимое количество проб зависит от сложности геологического строения, морфологического типа месторождений и степени неравномерности распределения оруденения.

Например, месторождения кварцево-жильного типа, в целом характеризующиеся весьма неравномерным распределением золота в промышленных жилах и наличием большого количества непромышленных жил, могут быть предварительно положительно оценены при наличии не менее 300-400 отобранных проб, из которых не менее 50-60 показывали промышленное содержание золота.

В случае, когда оруденение представлено прожилково-вкрапленным типом руд с низким, но относительно равномерным содержанием золота, общее количество отобранных на участке разведочных работ проб может быть значительно меньшим, ориентировочно 100-150 проб, из которых не менее 25—30 должны быть с промышленным или близким к нему содержанием золота.

Количество проб в рудном теле или подсчетном блоке, обеспечивающее определение среднего содержания полезного компонента с вероятностью 0,68

Коэффициент вариации содержания, %	Минимально необходимое количество проб при допустимой погрешности определения среднего содержания		
	±15%	±25%	±40%
100	44	17	—
150	100	36	15
200	—	64	26



Основой всего процесса геологической разведки месторождения и отчетности по минеральным ресурсам и запасам в соответствии с JORC и KAZRC является:

- Здравый смысл геолога
- Применение при разведке наиболее надежных и проверенных методов для конкретного вида минерального сырья – good practice
- Постоянный контроль качества работ на всех стадиях (контроль представительности выбранного вида опробования, контроль опробования, контроль пробоподготовки, контроль лаборатории) – QAQC
- Анализ степени изученности комплекса факторов, включая экономику, инфраструктуру, маркетинг и т.д. – Modifying factors