

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОТРАБОТКИ ЗОЛОТОУРАНОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОЕ

1

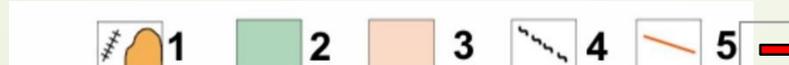
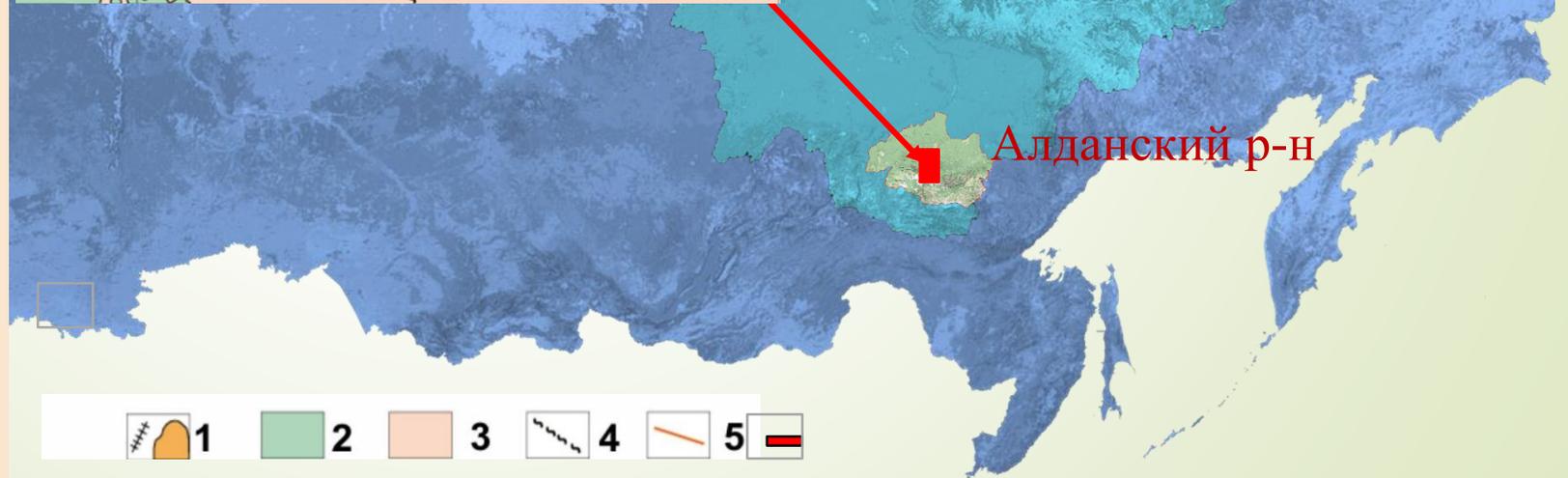
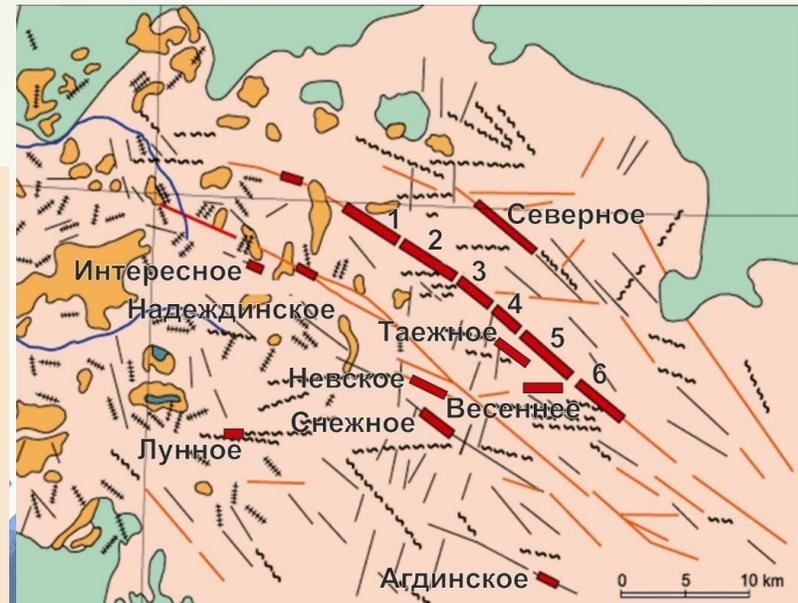
А.А. Данилов¹, И.Д. Гласс¹, Е.А. Ишмакова¹, Е.С. Овчарова¹, В.Г. Журавлев²,
В.Ю. Фомин², А.А. Руденко³

¹ООО «ГРП», Москва, Россия, danilov@utzm.com; ²АО «Эльконский ГМК»,
Москва, Россия, valgezhuravlev@rosatom.ru; ³АО «РУСБУРМАШ», Москва,
Россия rudall2007@yandex.com;

Расположение и схема ураноносности Эльконского золотуранового рудного района

Условные обозначения:

- 1 – интрузии и дайки верхнеюрского магматического комплекса;
- 2 – платформенные отложения кембрия;
- 3 – метаморфические и гранитные комплексы архея;
- 4 – древние тектонические зоны;
- 5 – тектонические зоны, подновленные и образованные в мезозое;
- 6 – основные месторождения урана: 1-6 – участки месторождения Южное (Элькон, Эльконское плато, 3 – Курунг, 4 – Непроходимый, 5 – Дружный, 6 – Минеевский)



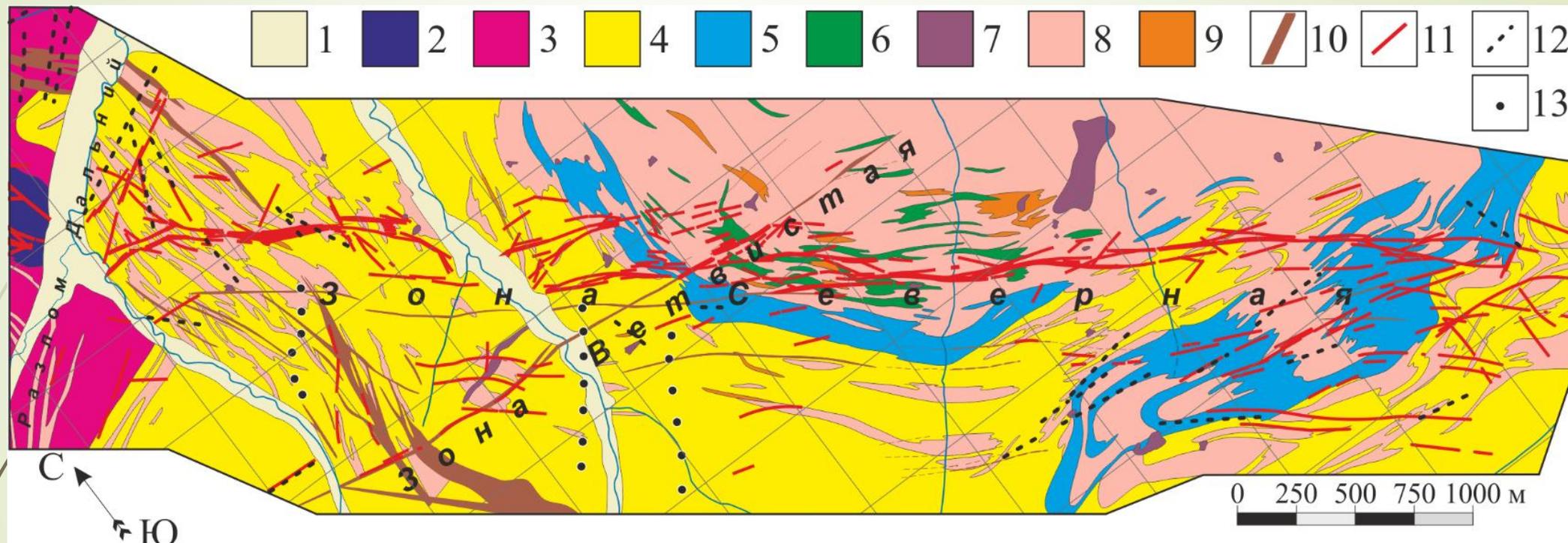
История и результаты изучения

Этапы изучения	Содержание работ	Результаты
Этап 1 1961-1965 гг. Октябрьская экспедиция ПГГУ Мингео СССР	Поиски и оценка уранового оруденения	Определены масштабы уранового оруденения, даны рекомендации на выполнение разведки месторождения
Этап 2 1980-1985 гг. Октябрьская экспедиция ПГГУ Мингео СССР	Предварительная разведка уранового оруденения	Подсчитаны запасы золотоурановых руд, в т.ч. балансовые С ₂ U – 58556 т (0,149%) Au – 29,2 т (0,7 г/т) Ag – 485,5 т (12,4 г/т)
Этап 3 2006-2007 гг. ГУП РС (Я) «Алдангеология»	Поиски золотого оруденения в зоне окисления	Проходка канав и бурение скважин в центральной части Зоны Северная; Оценка прогнозных ресурсов руды и золота в количестве: категории P ₁ – 9597 кг; категории P ₂ – 42022 кг
Этап 4 2010-2011 гг. ЗАО «РУСБУРМАШ»	Детальная разведка уранового оруденения	Подсчитаны запасы золотоурановых руд для подземной отработки, балансовые категории В+С ₁ +С ₂ U – 61526 т (0,157%) Au – 28,8 т (0,735 г/т) Ag – 425,3 т (10,9 г/т) V – 18,0 т (0,046%)
Этап 5 2010-2011 гг. ЗАО «РУСБУРМАШ»	Поиски и оценка золотого оруденения в зоне окисления	Проходка канав и бурение скважин по сети 250-460x40-70 м. Оценка прогнозных ресурсов золота и серебра по категории P ₁ в количестве: Au – 19,1 т (1,09 г/т); Ag – 124,8 т (7,08 г/т)
Этап 6 2018-2023 г. АО УГРК «Уранцветемет» ООО «ГРП»	Оценка и разведка золотого оруденения в зоне окисления	Золотое оруденение в зоне окисления разведано по сети 100-50x50x25, балансовые запасы золота и серебра в контуре проектного карьера подсчитаны по категориям В+С ₁ в соотношении 4:96% Au – 35,2 т (0,91 г/т) Ag – 230,5 т (5,97 г/т) U – 4124,3 т (0,011%)*
Этап 7 2020-2023 гг. АО «Эльконский ГМК»	Опытно-промышленная разработка	Опытно-промышленная разработка велась на 2-х опытных карьерах; за период отработки погашено: руды - 2746,2 тыс. т; Au – 2130 кг (с учетом потерь) Начата промышленная отработка золота в зоне окисления открытым способом с кучным выщелачиванием золота

* – отнесены к забалансовым по экономическим причинам

Геологическое строение и приуроченность оруденения

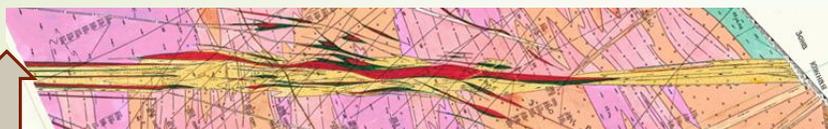
Месторождение Северное. Геологическая карта



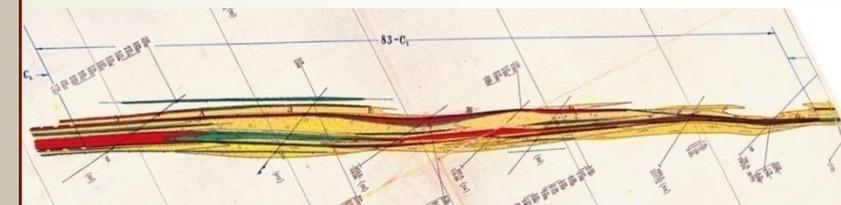
Условные обозначения:

1 – четвертичная система; **2-5** – федоровская свита: **2** – керибиканский горизонт; **3** – леглиерский горизонт; **4** – любкакайский горизонт; **5** – медведевский горизонт; **6** – верхнеалданская свита; **7** – аляскитовые граниты; **8** – граниты; **9** – гранито-гнейсы и сильно гранитизированные метаморфические породы; **10** – метаморфизованные тела и дайки диоритового состава; **11** – минерализованные нарушения, швы и зоны катаклаза, брекчирования, окварцевания мезозойского возраста; **12** – blastомилониты, милониты и blastокатаклазиты; **13** – скважины.

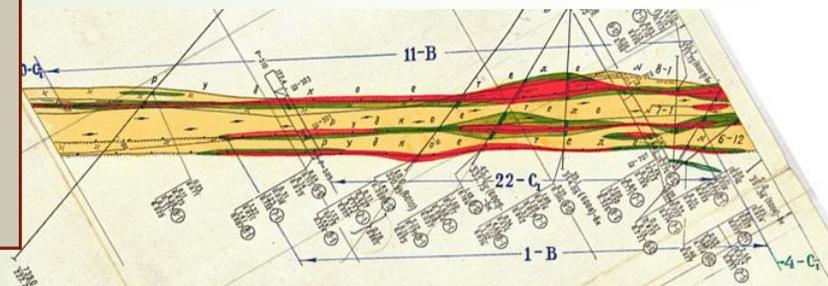
Продуктивная зона



Рудные залежи



Рудные тела



Характеристика рудных образований

На месторождениях выделяется 3 масштабных уровня рудных образований:

Продуктивные зоны - системы сближенных тектонических швов единого субогласного залегания; ее границы выдержаны (по бортовому содержанию 0,01%) и определяются развитием сплошного метасоматоза. Протяженность определяется длиной рудного участка, а вертикальный размах оруденения превышает 2 км. Выделение продуктивной зоны возможно даже при редкой сети буровых скважин.

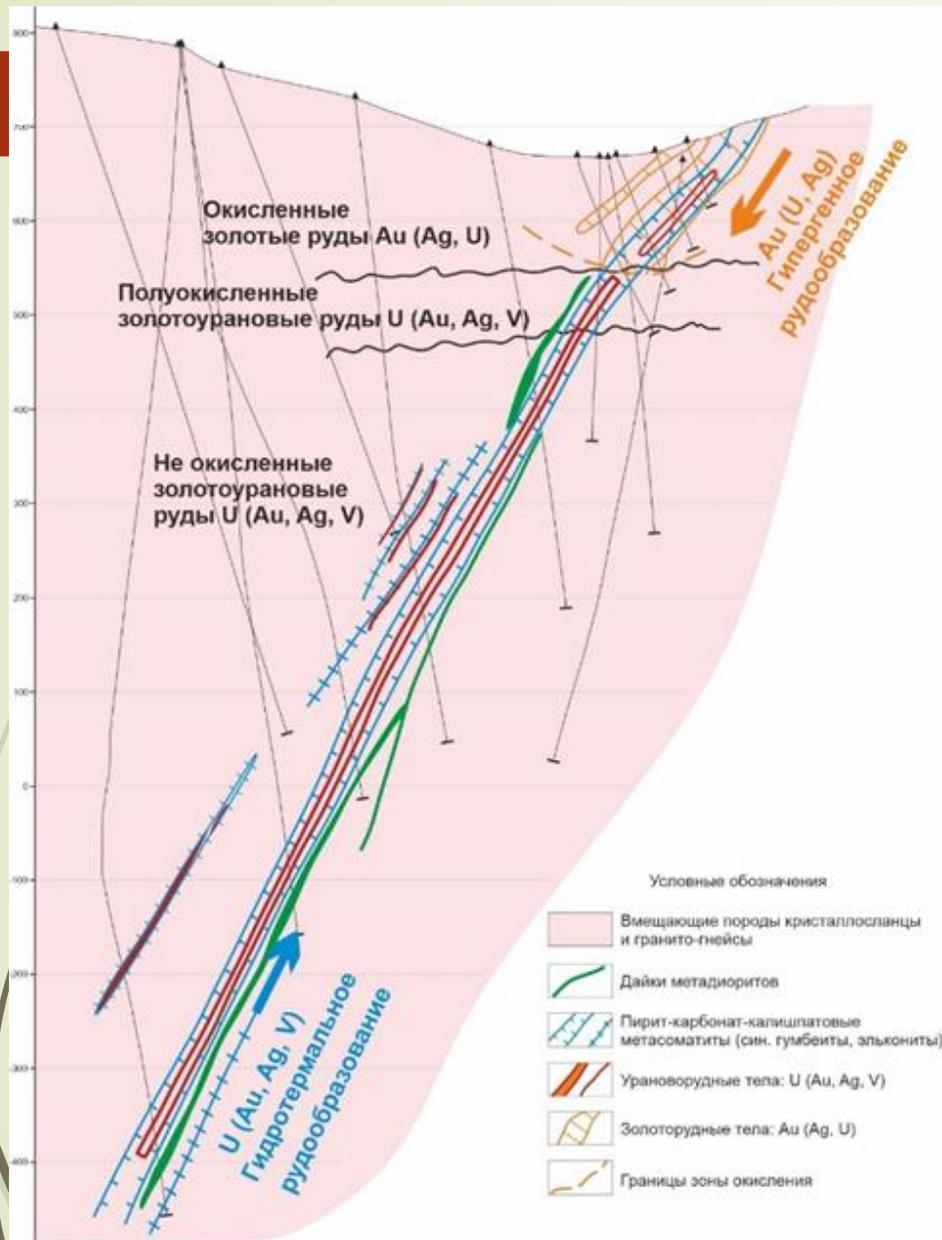
Рудные залежи - системы тектонических швов, контролирующих рудные тела. В 1980 году подсчет по рудным залежам выполнялся статистическим способом путем «прессования» рудных тел. Горизонтальная протяженность рудных залежей достигает несколько километров, а вертикальная – сотен метров.

Рудные тела - обособленные скопления урановых руд, приуроченных к отдельным тектоническим швам или серии сближенных трещин и оконтуренные в соответствии с установленными кондициями. Горизонтальная протяженность рудных тел на месторождении изменяется от 20-30 до 650-700 м при мощности от десятков сантиметров до 2-5 метров. Вертикальная протяженность рудных тел обычно уступает горизонтальной и составляет 200-350 м. Максимальные размеры рудных тел по склонению - до 800-1000 м.

Рудные тела могут быть выделены только на горизонтах горных выработок и в восстающих, т.е. по весьма плотной сети наблюдений.

Месторождение Северное по сложности геологического строения относится ко II группе

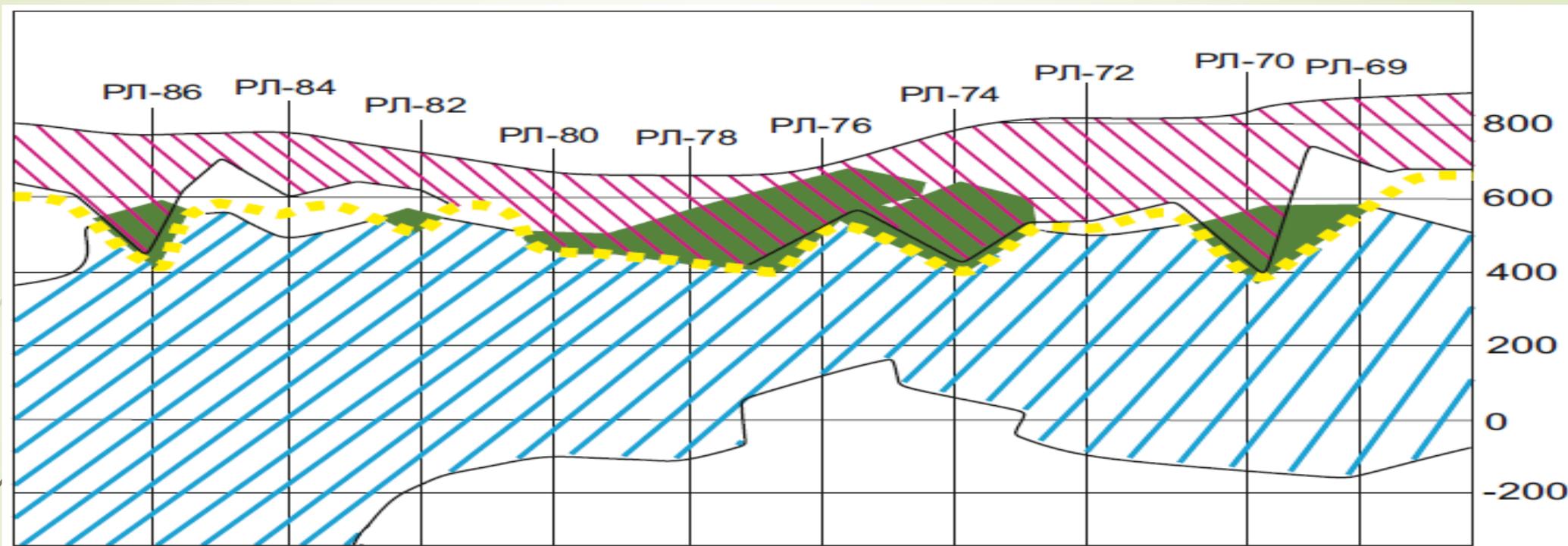
Принципиальная схема рудообразования на месторождениях Эльконского золотоуранового рудного района (на примере РЛ 76, месторождения Северное)



Граница зоны окисления нечеткая, проходит на глубине от 100 до 200 метров. Фактически наблюдается постепенное ослабление степени окисления руд с глубиной. Гипергенное золотое оруденение в зоне окисления с глубиной сменяется гипогенным золотоурановым, которое прослеживается скважинами до глубины 1 км и более.

Оруденение характеризуется разными технологическими свойствами и поэтому большое значение имеет технологическое картирование.

Продольная проекция Зоны Северная в интервале разведочных линий 67-87



1  2  3  4 

Условные обозначения:

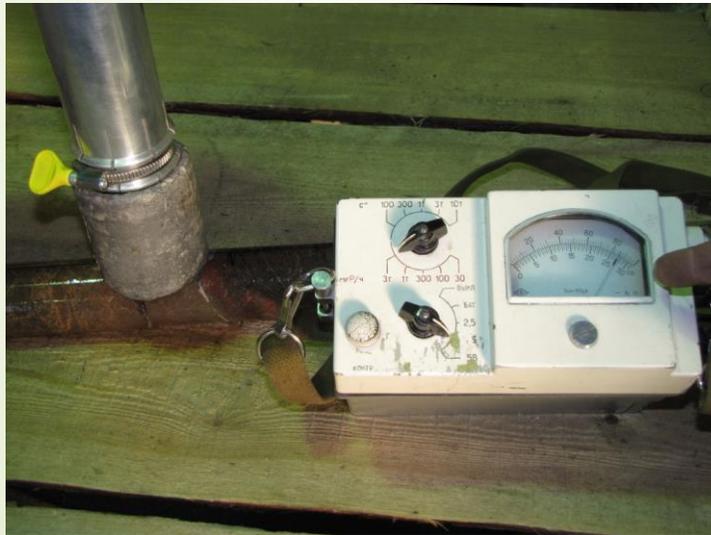
1- Условная граница окисления;

2 – первичное золотоурановое оруденение;

3 – кондиционное золотоурановое оруденение в окисленных рудах;

4 – золотое оруденение в окисленных рудах

Первичное золотоурановое оруденение



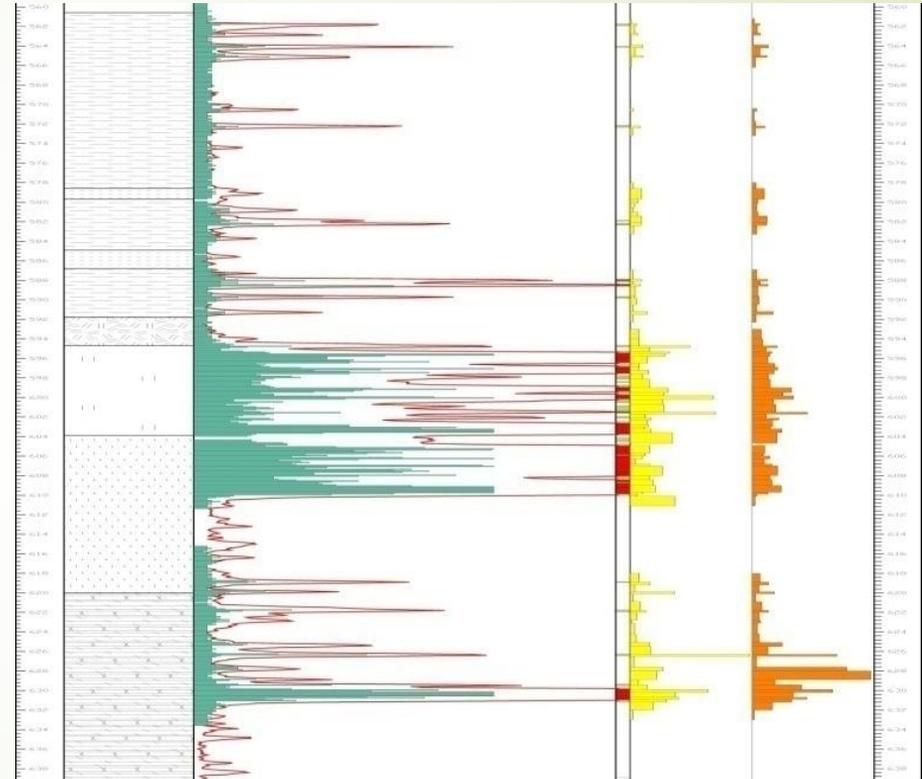
Рудоносные пирит-карбонат-калишпатовые метасоматиты с браннеритом

Литолог.
колонка

Графики каротажа
и промера керна

Au, г/т

Ag, г/т



Скв. 2131, интервал 550-700м

Характер распределения урана и золота
в рудных залежах

Вещественный состав первичных руд

Минеральный состав рудовмещающих метасоматитов

КПШ (микроклин, ортоклаз) — 35-40%

плаггиоклазы (олигоклаз, альбит) — 10-15%

кварц — 30-35%

карбонаты (ферродоломит, кальцит) — 6-11%

слюды (мусковит, серицит) — 3-4%

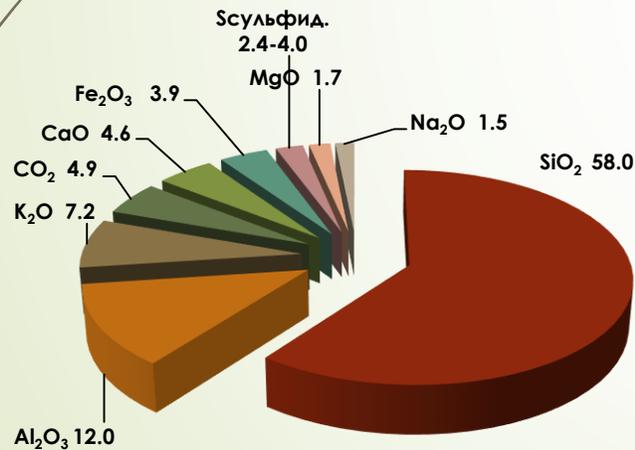
рудные минералы (пирит, марказит, урановые минералы) — 2-3%

аксессуары — апатит, циркон, анатаз, рутил, сфен

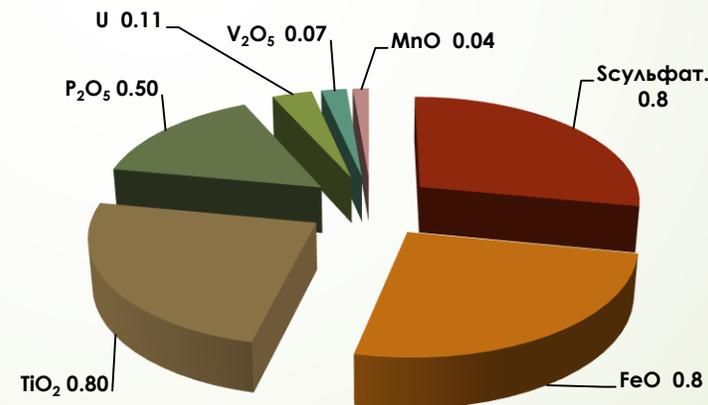
пелитовое вещество — 1-2%

Вещественный состав и технологические свойства руд изучались на первых стадиях разведки месторождения. Урановые минералы представлены браннеритом и продуктами его гипогенного разложения, редко окислами урана с незначительным количеством коффинита и урансодержащего лейкоксена. Золото находится в виде тонкодисперсной вкрапленности в пирите

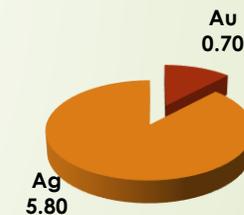
Средние содержания химических компонентов, С > 1%



Средние содержания химических компонентов, С < 1%



Средние содержания сопутствующих компонентов



Комплексные золотоурановые руды относятся к технологическому типу – трудно вскрываемых руд алюмосиликатного состава.



Принципиальная схема переработки
первичных руд

Технология добычи и переработки первичных руд

Отработка первичных золотоурановых руд месторождения Северное предполагается подземным способом совместно с отработкой первичных руд месторождений Зоны Южная. Согласно принятой Концепции освоения урановых руд Эльконского УРР, добыча первичных руд планируется с 2035 года.

Руды являются труднообогатимыми. По результатам технологических исследований золотоурановых руд разработана технологическая схема, предусматривающая последовательное автоклавное выщелачивание урана, и далее получение золотосодержащего продукта флотацией из кеков после выщелачивания урана.

Технологические показатели сквозного извлечения

Показатели	Ед. изм.	
Извлечение урана	%	90.6%
Извлечение золота	%	58.1%
Извлечение серебра	%	36.2%
Извлечение молибдена	%	38.1%
Извлечение ванадия	%	60.0%

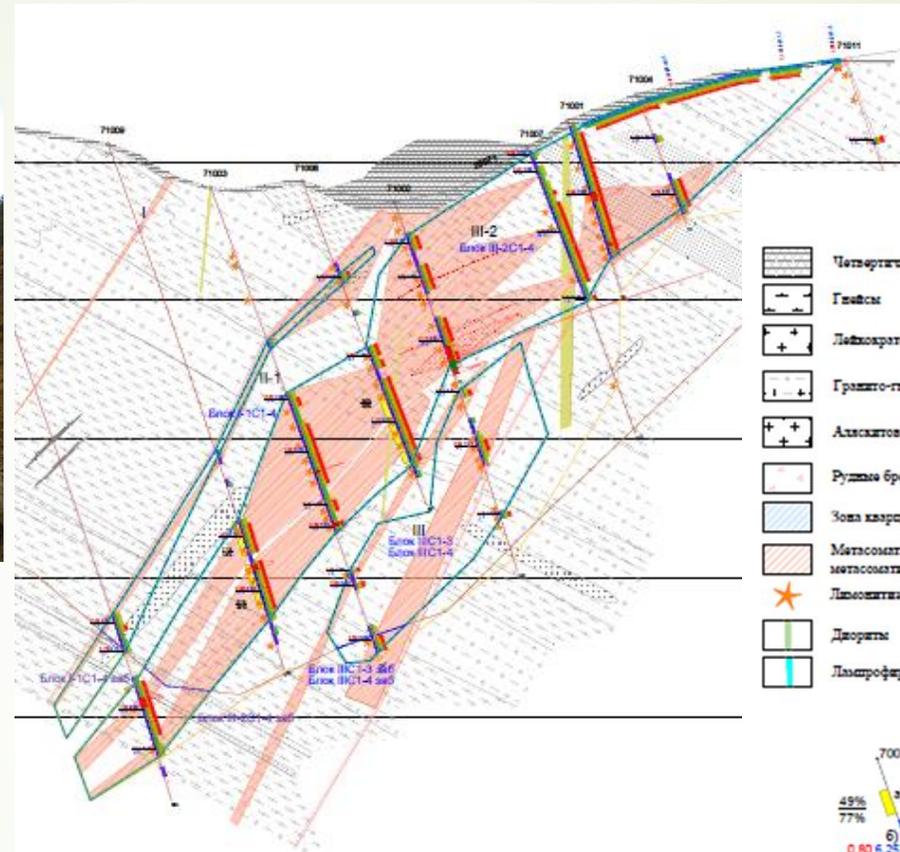
Для повышения экономической эффективности проекта разработки месторождений предусмотрено:

- Усовершенствование технологии переработки золотоурановых руд месторождений в части сокращения потерь золота и серебра с хвостами радиометрической сортировки;
- повышение степени извлечения металлов; попутное извлечение ванадия в технологии производства урана по сорбционной технологии с получением готовой продукции – пятиоксида ванадия;
- Проведение исследований с целью повышения степени извлечения металлов;

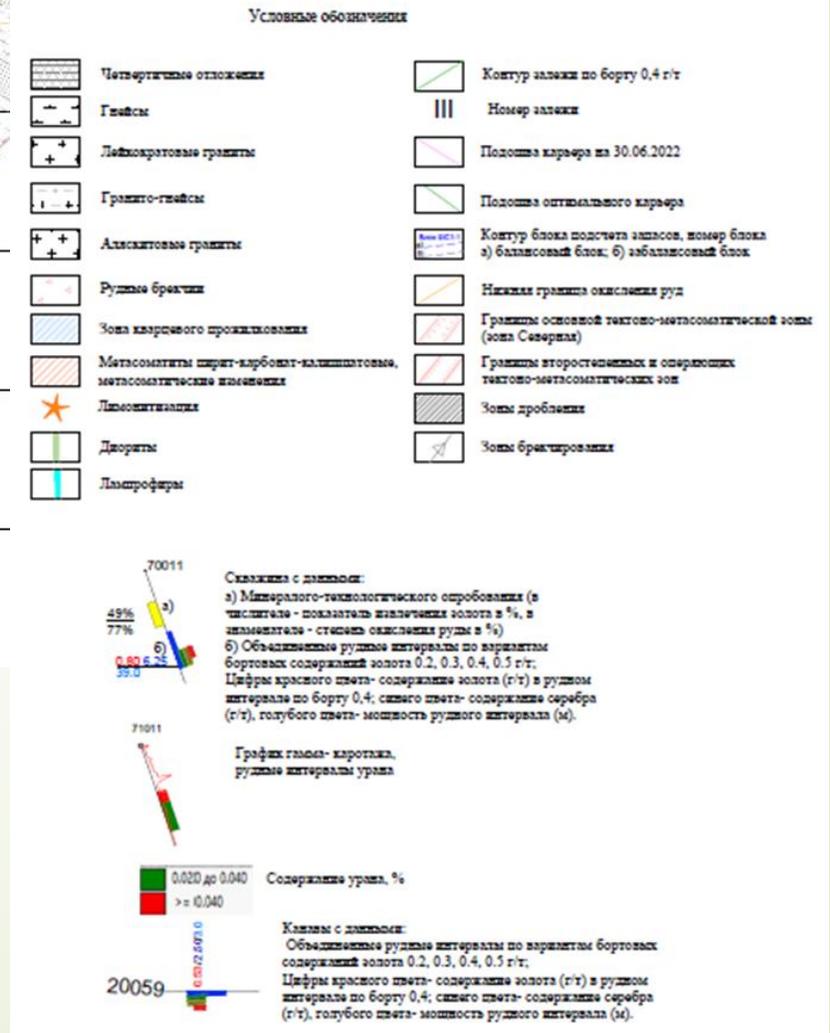
Золотое оруденение в зоне окисления



Золотое оруденение в канаве и керне скважины



Месторождение Северное.
Геологический разрез по разведочной линии 71





Жила торбернита, вскрытая канавой № 20003 в зоне окисления месторождения Северное (а); Кристаллы торбернита (б)

Золотые руды относятся к технологическому типу – легко цианируемых окисленных руд алюмосиликатного состава.

Вещественный состав окисленных руд

Минералы	Массовая доля, %
Породообразующие	95,6
Плагиоклазы (альбит, олигоклаз)	34,0
Калиевый полевой шпат	33,0
Кварц	16,8
Амфиболы	9,0
Биотит	1,0
Карбонаты	0,8
Сульфиды, в т.ч. пирит, галенит, халькопирит	Редкие и единичные зерна
Гидроксиды железа (лимонит, гётит, гидрогётит)	3,4
Магнетит	1,0
Апатит	1,0
Акцессорные минералы: ильменит, барит, рутил, лейкоксен, пироксен, браннерит	Редкие и единичные зерна
Итого	100,0

Вещественный состав и технологические свойства руд изучались на всех стадиях разведки месторождения.

Золото находится в свободной форме, в виде мелких и тонких включений в окисленных рудах, серебро тесно связано с золотом, редко образует самостоятельные минералы. Уран представлен слюдками: отенит, торбернит, карнотит.

Содержание полезных компонентов в технологической пробе (г/т):

U - 87,5; Au - 0,97; Ag - 5,6

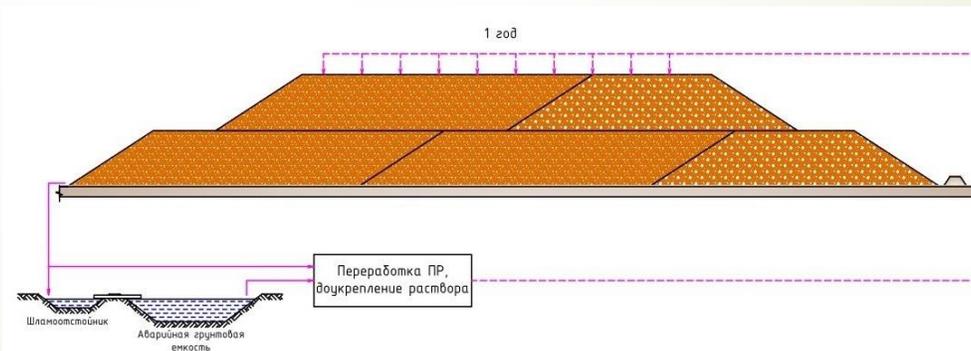
Технология добычи и переработки окисленных руд

13



Месторождение Северное. Участок кучного выщелачивания

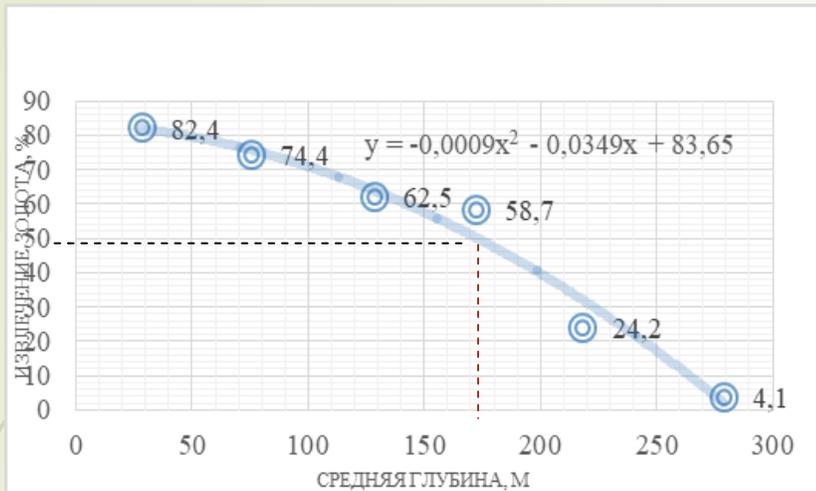
Месторождение Северное. Опытный карьер



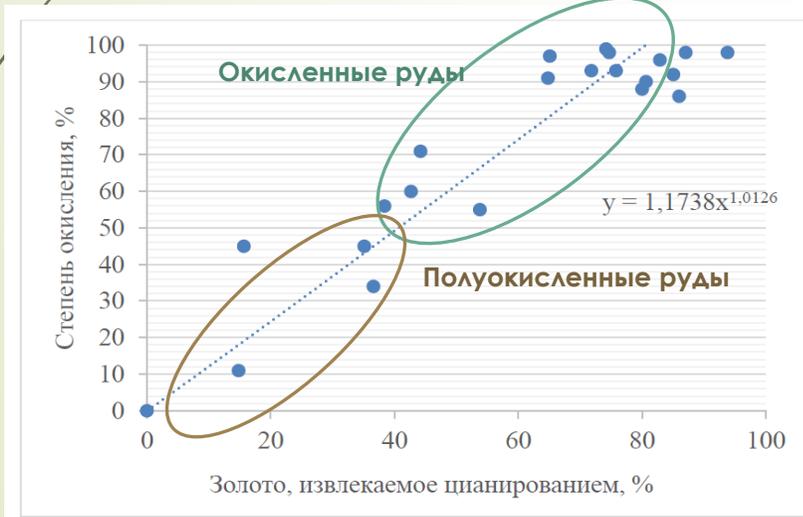
Принципиальная схема участка КВ

Результаты ОПР

- содержание золота в исходной руде – 0,70 г/т
- содержание золота в хвостах – 0,20 г/т
- сквозное извлечение золота – 71,4%
- содержание серебра в исходной руде – 5,38 г/т
- содержание серебра в хвостах – 5,29 г/т (расчетное)
- сквозное извлечение серебра – 5,5%



Изменение показателя извлечения золота с глубиной (групповые пробы)



Зависимость извлечения золота от степени окисления пробы руды

Полуокисленные руды

По результатам изучения картировочных технологических проб проанализировано пространственное распределение окисленных и неокисленных (полуокисленных) руд. Критериями их выделения являются степень окисления, рассчитанная по соотношению окисленного и валового железа, степень извлечения золота сорбционным цианированием.

К полуокисленным относятся руды, расположенные на границе полноокисленных и первичных руд, в интервале глубин 150-500 м. Для них характерны показатели извлечения золота сорбционным цианированием менее 50%. Золото в рудах находится, как в свободной форме, так и в виде вкрапленности в пирите. Уран в полуокисленных рудах представлен продуктами разложения браннерита, уранофаном, ураноцирцитом, редко, настураном, коффинитом.

Технология добычи и переработки полуокисленных руд

15

Учитывая расположение полуокисленных руд в разрезе месторождения, они будут обрабатываться как открытым, так и подземным способами.

Полуокисленные руды, расположенные на нижних горизонтах промышленного карьера, характеризуются низкими показателями извлечения золота, для их переработки способом КВ необходимо:

- разделение на стадии эксплоразведки окисленных, легкоцианируемых и полуокисленных руд аналитическим способом (сорбционное цианирование проб);
- складирование полуокисленных проб в спецотвал для последующей переработки;
- разработка и применение технологий, в том числе биотехнологий окисления пирита для высвобождения золота.

Полуокисленные руды, локализованные на глубинах более 250 (до 500) метров, недоступные для открытой добычи, будут обрабатываться подземным способом. Они, по сравнению с первичными рудами, более технологичны и могут более эффективно перерабатываться в автоклавах, а также в атмосферных условиях сернокислотного выщелачивания.

Для выделения полуокисленных руд необходимо проведение геолого-технологического картирования на стадии доразведки месторождения (создания участка детализации) и эксплуатационной разведки.

Рекомендуемые технологии для переработки руд Эльконского УРР

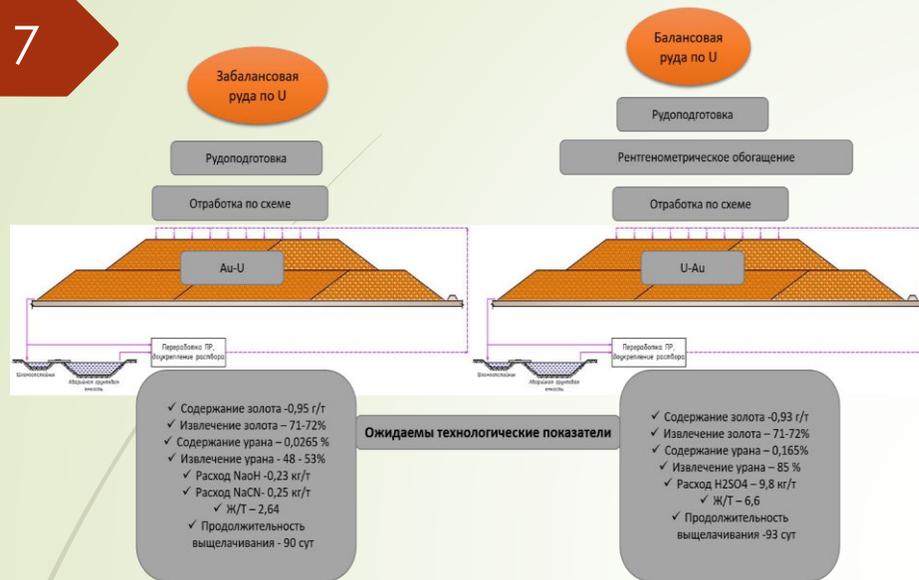
16

Для каждого из выделенных сортов руд необходимо проведение углубленных технологических исследований по повышению эффективности:

- сернокислотного выщелачивания урана в автоклавных и атмосферных условиях;
- получения пятиокси ванадия из растворов выщелачивания урана;
- получения золота из шламов флотации, а также при прямом цианировании кеков после автоклавного выщелачивания
- извлечения серебра при кучном выщелачивании

а также применению новых технологий переработки руд





Принципиальные схемы переработки урансодержащих и золотоурановых руд способом кучного выщелачивания

Результаты подсчета балансовых запасов при разных условиях оконтуривания

	Ед. изм.	ПЗ в рудных телах, оконтуренных по золоту		ПЗ в рудных телах, оконтуренных по урану	
		Запасы	Содержание	Запасы	Содержание
Руда	тыс. т	38617,1		1555,1	
U	т / %	4124,3	0,011	1652,4	0,106
Au	кг / г/т	35177,3	0,91	1711,0	1,13
Ag	кг / г/т	230500	5,97	10230,8	6,58

Уран в зоне окисления

Извлечение урана из окисленных- руд имеет большое значение с точки зрения комплексного освоения месторождений и обеспечения экологической безопасности района.

По данным технологических исследований АО «Иргиредмет», руды с содержанием урана 0,011-0,047% могут перерабатываться способом кучного выщелачивания примерно с одинаковой эффективностью по схеме $Au \rightarrow U$ либо $U \rightarrow Au$.

Извлечение золота составляет около 80%, урана – 50%, серебра – 25%.

По результатам выполненных расчетов при содержаниях урана в руде на уровне 0,1% извлечение урана может быть экономически выгодно при условиях:

- выделения блоков с повышенным содержанием урана при проведении опережающей эксплуатационной разведки;
- формирования штабелей с повышенным содержанием урана;
- извлечения урана и золота по одной из предложенных схем:

$U \rightarrow Au$ или $Au \rightarrow U$;

Выводы и Рекомендации

1. Исторически сложившейся особенностью разведки и оценки месторождений Эльконского района, является различный подход к оконтуриванию и подсчету запасов частей месторождения, несмотря на непрерывность комплексного оруденения по простиранию и падению:
 - в зоне окисления – оконтуривание по золоту;
 - в зоне первичных и полуокисленных руд – оконтуривание по урану, при этом законтурное пространство практически не опробовано на золото.
2. По результатам технологических исследований АО «ВНИИХТ» выделены два технологических типа и три сорта руд:
 - Серебро-золоторудный, урансодержащий тип;
 - Сорт окисленных руд
 - Золотоурановый тип.
 - Сорт полуокисленных руд;
 - Сорт неокисленных первичных руд.
3. Для переработки руд применяются различные технологические схемы и режимы, в связи с чем необходимо проведение геолого-технологического картирования на стадиях доразведки и эксплуатационной разведки месторождения.
4. Окисленные Ag-Au руды с ураном обрабатываются открытым способом и перерабатываются способом кучного выщелачивания.
5. Добыча Au-U руд будет производиться подземным способом, переработка – в автоклавах сернокислотным выщелачиванием урана и ванадия, с последующим извлечением золота и серебра из флотационного концентрата или кеков.
6. Для переработки полуокисленных руд, добытых открытым способом, необходимо применение специальных технологий, в том числе бактериологических, для разложения остаточных сульфидов и высвобождения золота.
7. Получение урана из окисленных руд способом кучного выщелачивания может быть рентабельным при условиях отдельной добычи и штабелирования руд с повышенным содержанием урана.



Благодарю за внимание !