

VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ  
УРАН: ГЕОЛОГИЯ, РЕСУРСЫ, ПРИЗВОДСТВО

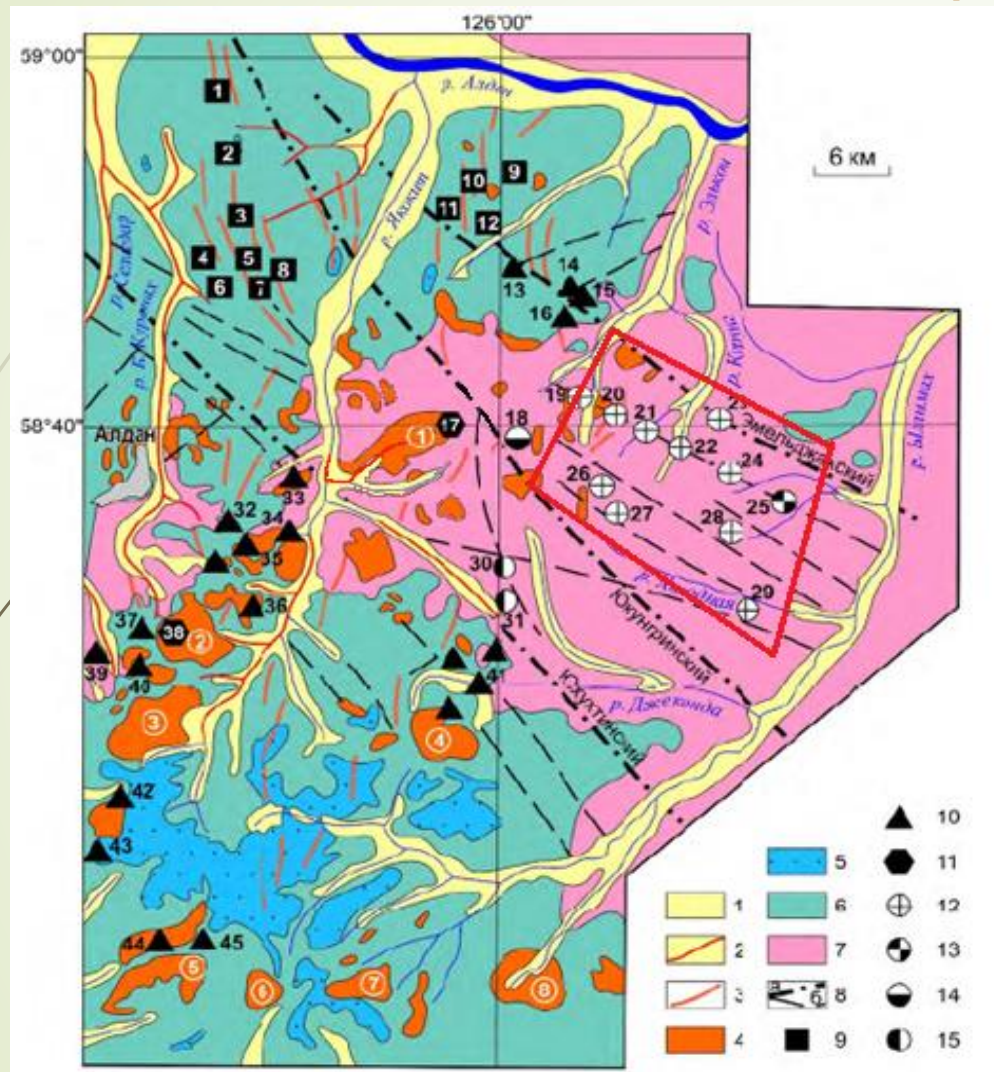
ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РУД ЗОЛОТО-УРАНОВЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭЛЬКОНСКОГО РАЙОНА И  
ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ

1

А.А. Данилов<sup>1</sup>, В.Г. Журавлев<sup>2</sup>, Е.Н. Карманов<sup>3</sup>, Н.А. Гребенкин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «ГРП», Москва, Россия, [danilov@utzm.com](mailto:danilov@utzm.com); <sup>2</sup>АО «Эльконский ГМК», Москва, Россия, [valgezhuravlev@rosatom.ru](mailto:valgezhuravlev@rosatom.ru); <sup>3</sup>ФГБУ «ВИМС», Москва, Россия [karmanov@vims-geo.ru](mailto:karmanov@vims-geo.ru); [grebenkin@vims-geo.ru](mailto:grebenkin@vims-geo.ru)

## Расположение, геологическое строение и рудоносность Центрально-Алданского рудного района



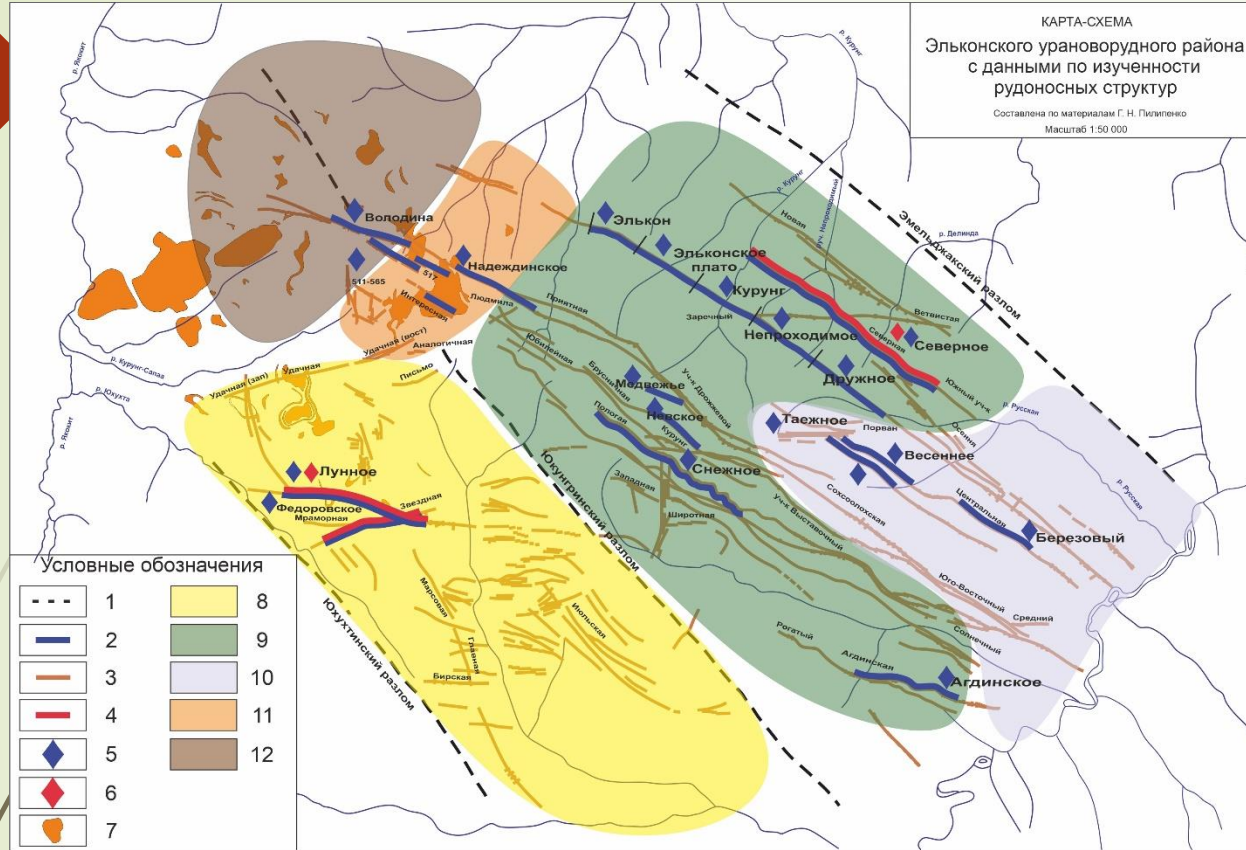
Геологическое строение и рудоносность Центрально-Алданского рудного района (по В.Е.Бойцову и соавторам, 2006 с дополнениями авторов)

1 - четвертичные аллювиальные отложения; 2 - россыпи золота в четвертичных аллювиальных отложениях; 3 - мезозойские дайки умеренно щелочных и щелочных гипабиссальных пород; 4 - мезозойские массивы умеренно щелочных и щелочных плутонических пород (1-8 - массивы: 1 - Рябиновый, 2 - Гора Рудная, 3 - Якокутский, 4 - Джекондинский, 5 - Юхтинский, 6 - Пуриканский, 7 - Южный, 8 - Ыллымахский); 5 - нижнеюрские терригенные отложения; 6 - венд-нижнекембрийские карбонатные породы платформенного чехла; 7 - архей-протерозойские кристаллические породы фундамента; 8 - тектонические нарушения (а - главные, б - второстепенные); 9-15 - геолого-промышленные типы месторождений золота и урана: 9-11 - геолого-промышленные типы собственно золоторудных месторождений (9 - куранакский эпitherмальный золото-карстовый, 10 - лебединский золото-карбонатно-сульфидный, 11 - рябиновый золото-медно-порфировый), 12-15 - геолого-промышленные типы золото-урановых и золото-уран-молибденовых месторождений (12 - зльхонский браннеритовый золотосодержащий, 13 - миневский молибденовый уран- и золотосодержащий, 14 - интересный уранинитовый золотосодержащий, 15 - федоровский браннерит-золото-серебряный).



# Зональность и минералого-технологические типы оруденения

3



**Карта-схема рудоносности Эльконского золотоуранового рудного района**

Условные обозначения: 1-Крупные неотектонические разломы; 2-Предварительно оцененные и разведанные месторождения урана; 3-Урановорудные зоны; 4-Разведанные месторождения золота; 5-Золотоурановые месторождения для подземной добычи; 6-золотоурановые месторождения для открытой добычи; 7- мезозойские массивы умеренно щелочных и щелочных плутонических пород; 8-12 – типы руд: 8) браннерит-серебро-золоторудный «федоровский»; 9) золотосодержащий браннеритовый «эльконский»; 10) золото-урансодержащий молибденовый «минеевский»; 11- золотосодержащий уранинитовый «зоны Интересной»; 12- золото-урансодержащий «зоны Володина» («рябиновский»)

Ранее проведенными исследованиями комплексное золотоурановое оруденение по различиям вещественного состава руд, количественным соотношениям ценных металлов, морфологическим и технологическим свойствам, было разделено на четыре минералого-технологических типа в размещении которых устанавливается определенная закономерность.

1. Основной золотосодержащий браннеритовый - **эльконский** тип. (15 разведанных месторождений, залегающих в 11 рудных зонах, среднее содержание U - 0,15 %, Au – 1 г/т).
2. Браннерит-серебро-золоторудный - **федоровский** тип (1 месторождение, среднее содержание Au - 4,7 г/т, U - 0,06 % в контуре золотых руд).
3. Золотосодержащий **уранинитовый** тип зоны Интересной (2 месторождения, среднее содержание U - 0,3 %, Au - 0,5 г/т).
4. Золото-урансодержащий молибденовый - **минеевский** тип (1 месторождение, среднее содержание Mo - 0,15 %).

**Выделенные типы руд относятся к первичным комплексным (Au, Ag, Mo, V) урановым рудам (геолого-промышленный тип первичных руд), в которых уран является главным компонентом.**

## Технология добычи и переработки первичных руд

4



Принципиальная схема переработки первичных руд

Отработка первичных золотоурановых руд предполагается подземным способом. Согласно принятой Концепции освоения урановых руд Эльконского УРР, добыча первичных руд планируется на месторождениях Зоны Южная и месторождении Северное начиная 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:

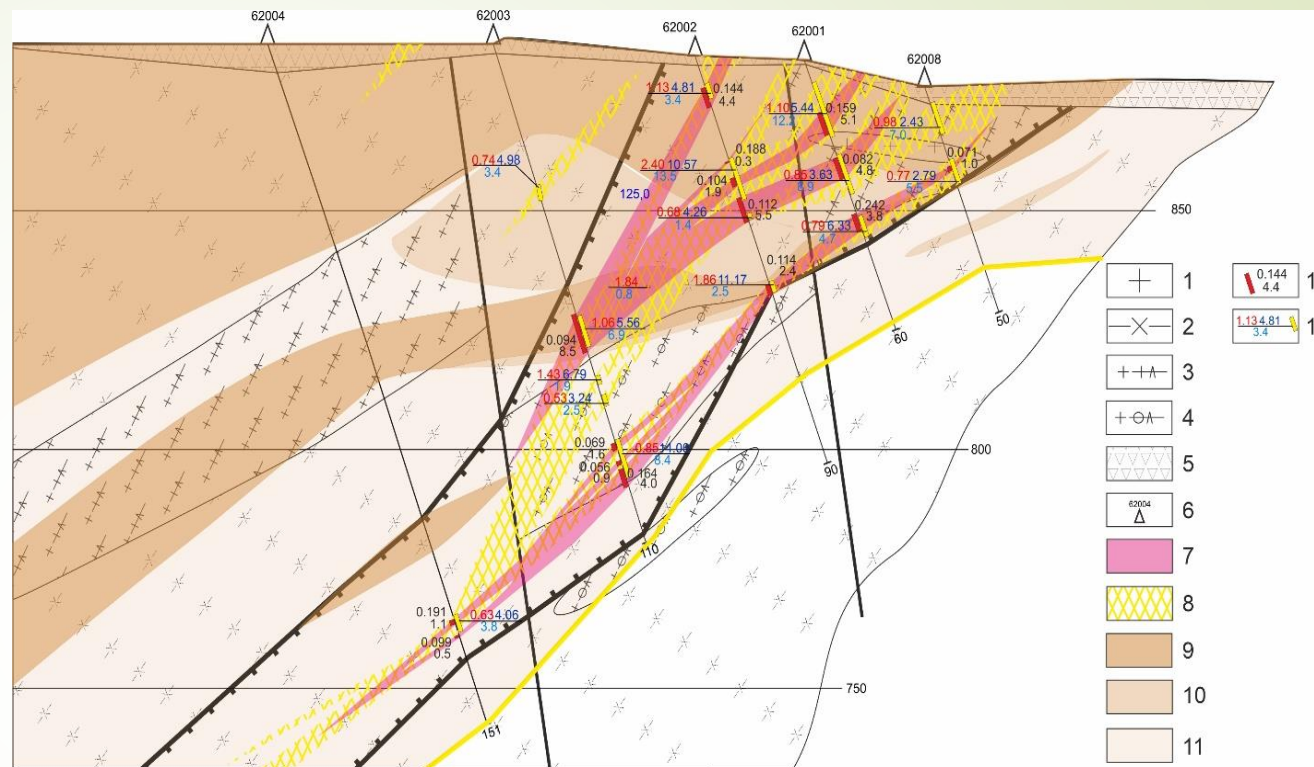
- Усовершенствование технологии переработки золотоурановых руд месторождений в части сокращения потерь золота и серебра с хвостами радиометрической сортировки;
- повышение степени извлечения металлов; попутное извлечение ванадия в технологии производства урана по сорбционной технологии с получением готовой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





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

## Урановое оруденение в зоне окисления

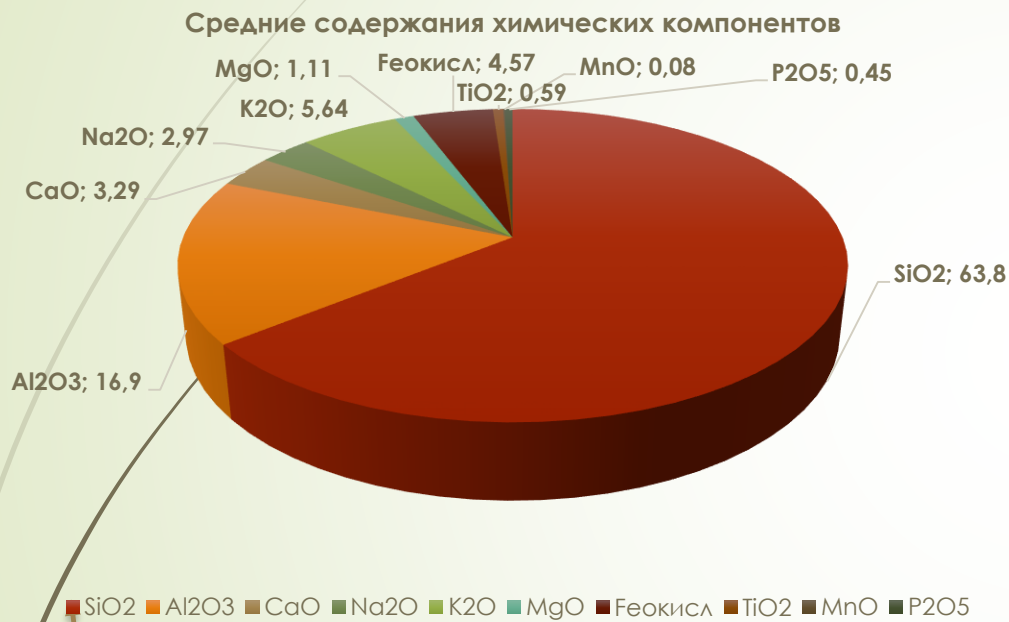


Месторождение Северное.  
Геологический разрез по разведочной линии 63

Условные обозначения: 1 – Лейкограниты; 2 – Гранито-гнейсы; 3 – Гранитизированные биотит-амфиболовые сланцы; 4 – Гранитизированные диопсид-амфиболовые сланцы; 5 – Приповерхностная зона дробления; 6 – Скважина и ее номер; 7 – Урановорудные тела; 8 – Золоторудные тела; 9 – Интенсивно развитая зона окисления; 10 – Зона окисления средней интенсивности; 11 – слабо развитая зона окисления; 12 – Объединенные рудные интервалы урана, цифры в числителе – содержание урана (%), в знаменателе мощность (м); 13 – Объединенные рудные интервалы по варианту бортовых содержаний золота 0.4 г/т, цифры в числителе – содержание золота (г/т), содержание серебра (г/т); в знаменателе – мощность (м).

# Вещественный состав и технологические свойства окисленных руд

6



Вещественный состав пробы руды ГП-20001-1 (проба ГП-23)

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.

Степень окисления руды, рассчитанная по железу, составляет 96%.

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

Урансодержащие золотые руды относятся к технологическому типу – легкоцианируемых окисленных руд алюмосиликатного состава



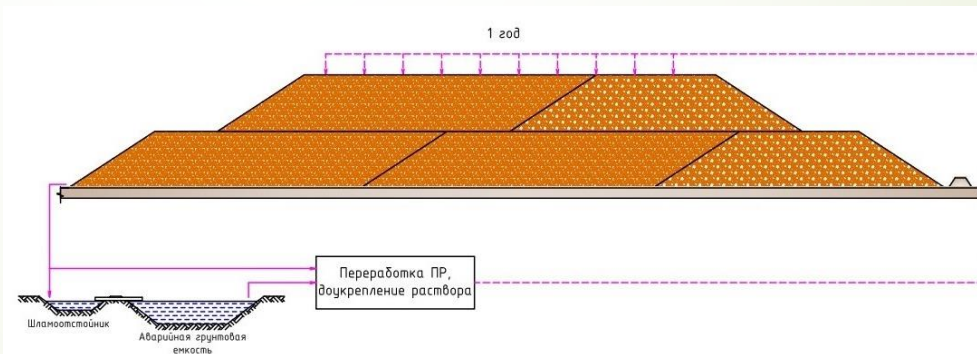
# Технология добычи и переработки окисленных руд

7



Месторождение Северное. Участок кучного выщелачивания

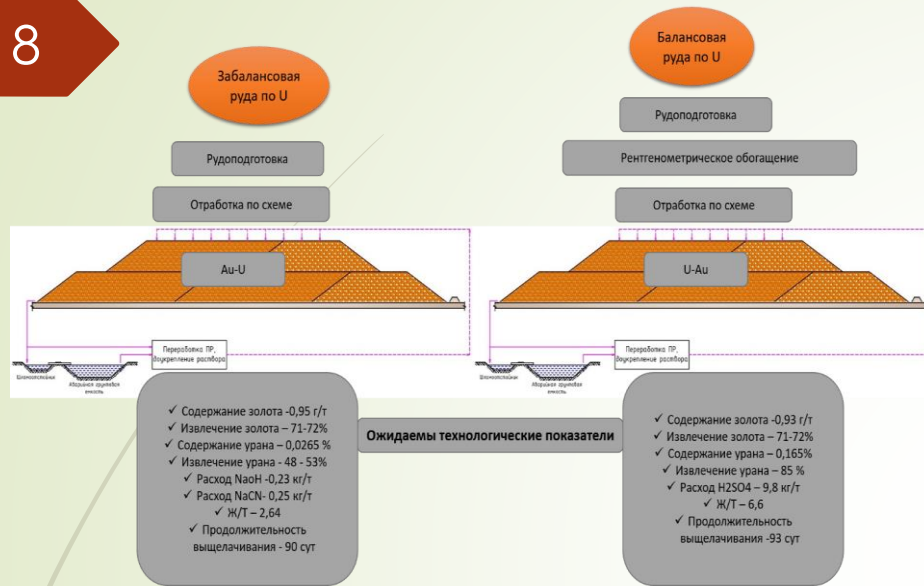
Месторождение Северное. Опытный карьер



Принципиальная схема участка КВ

## Результаты ОНР

- содержание золота в исходной руде – 0,70 г/т
- содержание золота в хвостах – 0,20 г/т
- сквозное извлечение золота – 72,5%
- содержание серебра в исходной руде – 5,38 г/т
- содержание серебра в хвостах – 5,29 г/т (расчетное)
- сквозное извлечение серебра – 8,2%



### Принципиальные схемы переработки урансодержащих и золотоурановых руд способом кучного выщелачивания

### Результаты подсчета балансовых запасов урана 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

## Получение урана из окисленных руд

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 → U либо U → 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 → Au или Au → U;**

Месторождение Лунное. Исследования по РРС в 2012 г.

Продукт РРС	Выход, %	U, %	Au, г/т	Ag, г/т
Обогащенный ураном	63,7	0,074	4,8	73,0
Обедненный ураном	36,3	0,007	4,0	48,2



Изучение радиологии руд месторождений Зоны Южная и месторождения Северное 1961-1985 гг., 2010-2011 установлено, что руды практически равновесны, значения  $K_{рр}$  варьируют в пределах 0,9-1,1, как по простиранию, так и по падению рудных залежей. При интерпретации гамма-каротажа, при расчетах мощности рудных интервалов и содержаний в них урана на всех изученных месторождениях ЭЗУРР было принято значение  $K_{рр} = 1$ .

Последующие поисковые работы (Якутскгеология, ОАО «ВНИИХТ», 2011) в пределах ЭЗУРР, оценка и разведка урансодержащих серебро-золотых руд в зоне окисления месторождения Северное (2022-2024 гг.), показали, что картина не столь однозначная.

Исследования	Объекты	Тип и количество проб	Значение $K_{рр}$
ОАО «ВНИИХТ», 2010	Медвежий, Курумканский, Володина	4 технологических пробы	0,48-0,59
ООО «ГРП», 2022-2024 гг.	Месторождение Северное	30 групповых проб	0,525

Полученное значение коэффициента равновесия необходимо применять для исправления результатов интерпретации ГК, полученные с коэффициентом, равным 1,00. Для этого содержания урана, полученные при этой обработке, необходимо исправлять по формуле:  $C_{испр} = C/0,525 = C \times 1,905$ , где  $C_{испр}$  – исправленное содержание урана, %,  $C$  – содержание урана, полученное при интерпретации с  $K = 1,00$ .

Таким образом, при подтверждении смещения радиоактивного равновесия в сторону урана, при интерпретации гамма-каротажа необходимо вводить коэффициент к повышению содержания 1,95-2,0 в результате чего существенно вырастут среднее содержание и запасы урана в зоне окисления.

## Разработка кондиций для группы месторождений

Проблема недостаточности запасов урановых руд на отдельном месторождении может быть решена на основе разработки технико-экономического обоснования кондиций для группы месторождений, аналогично тому, как это сделано для Куранахской группы золоторудных месторождений, для мелких золоторудных месторождений Нижнеякокитского рудного поля, урановых месторождений Хиагдинского рудного поля и других объектов [10].

В Эльконском рудном районе имеются благоприятные предпосылки для разработки кондиций для подсчета запасов окисленных урановых руд для группы месторождений:

- в потенциале значительные суммарные запасы группы месторождений Эльконского района, позволяющие создать горно-перерабатывающее предприятие большой производительности;
- расположение объектов в экономически развитом районе с развитой инфраструктурой, вблизи основных транспортных коммуникаций;
- простые горнотехнические (открытый способ добычи), гидрогеологические и инженерно-геологические условия предстоящей эксплуатации;
- пространственная сближенность месторождений одного вида полезных ископаемых; предельная удалённость месторождения от основной перерабатывающей базы определяется технико-экономическими расчётами;
- возможность переработки руд наиболее эффективным способом кучного выщелачивания;

Отрицательными факторами, осложняющими разработку единых кондиций, являются:

- слабая изученность зоны окисления большинства ураноносных структур Эльконского района, не позволяющая оценить запасы выше категории  $C_2$  и прогнозные ресурсы категории  $P_1$ ;
- неравномерное распределением рудных тел малой и сверхмалой мощности (до 2м), что не позволяет развивать крупнообъемную добычу;



# Основные задачи разработки кондиций для групп месторождений

11

Для разработки единых кондиций для группы урановых месторождений Эльконского района необходимо провести дополнительные исследования и решить ряд задач:

1. Оценка ресурсного потенциала окисленных урановых руд в ЭЗУРР, пригодных для открытого способа добычи с кучным выщелачиванием урана с составлением базы исходных данных по каждому месторождению по следующим критериям:
  - географо-экономические условия (условия доставки грузов, удаленность месторождений от входной транспортной базы, наличие действующих объектов производственного и гражданского назначения);
  - геологические условия локализации и параметры рудных тел (промышленный тип месторождений);
  - инженерно-геологические и гидрогеологические условия отработки;
  - качество полезных ископаемых, геотехнологические условия эксплуатации;
  - современное экологическое состояние территории и ожидаемые последствия освоения месторождений.
2. Проведение минералого-технологического картирования с целью выделения природных и в последующем технологических типов руд.
3. Детальное изучение радиологических свойств окисленных руд. При подтверждении смещения радиоактивного равновесия в сторону урана, при интерпретации гамма-каротажа необходимо вводить коэффициент к повышению содержания 1,95-2, в результате чего существенно вырастут среднее содержание и запасы урана.
4. На стадии отработки месторождений при проведении эксплуатационной разведки оконтуривание и выделение блоков, обогащенных ураном, для отдельной добычи.
5. Применение РРС на месторождении Лунное и проведение исследований по применению РРС на месторождении Северное для выделения руд, обогащенных ураном и формирования штабелей из золотоурановых руд.
6. Проведение технологических исследований укрупненных проб окисленных золотоурановых руд с целью повышения эффективности извлечения урана и золота.

1. Добыча урана из первичных руд месторождений Эльконского района может начаться не ранее 2035 года. Для переработки руд будут применяться различные технологические схемы и режимы, в связи с чем необходимы дополнительные исследования по разработке количественных критериев разделения типов и сортов руд, проведение минералого-технологического картирования и укрупненных технологических исследований.
2. Добыча урана из окисленных руд по технологии кучного выщелачивания может начаться на отработываемых месторождениях Лунном и Северном в ближайшие 3-5 лет при условии подтверждения ее экономической эффективности на основе разработки ТЭО кондиций для групп сближенных однотипных месторождений.

Применение единых кондиций для групп однотипных месторождений, позволит создавать и развивать горнодобывающие кластеры на территории РФ, а также вовлекать в отработку мелкие месторождения, не имеющие самостоятельного промышленного значения.





**Благодарю за внимание !**