РОСАТОМ

Перспективы попутной добычи редкоземельных элементов из продуктивных растворов СПВ на урановых месторождениях палеодолинного типа

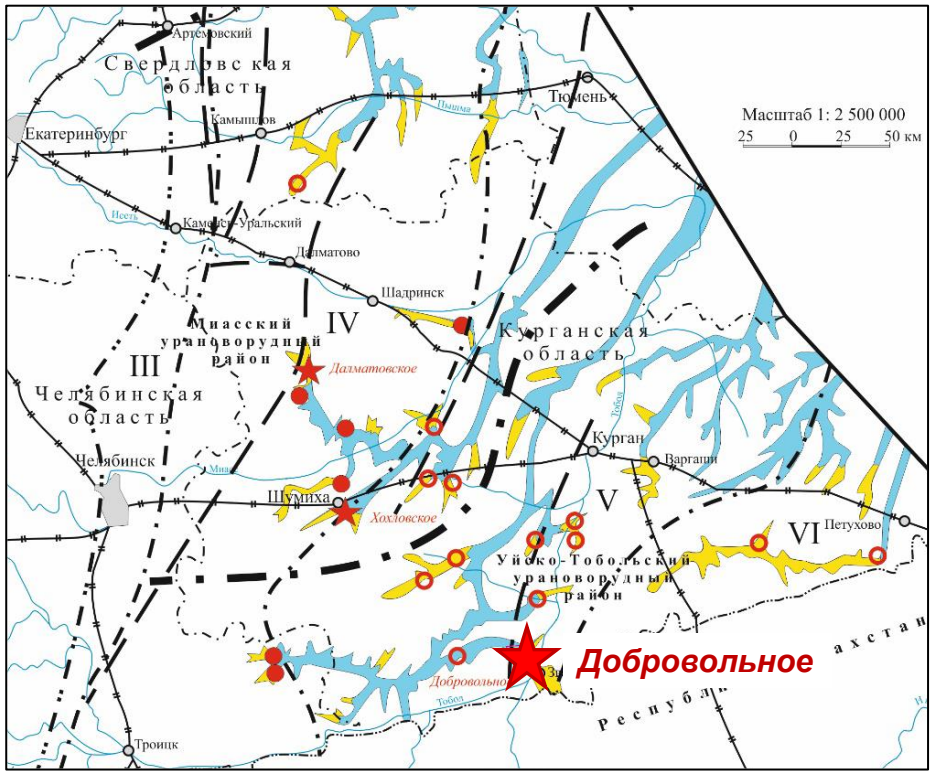
Солодов Игорь Николаевич, АО «Росатом Недра»
Соловьев Алексей Александрович, АО «ВНИПИпромтехнологии»
Мешков Евгений Юрьевич, АО «ВНИПИпромтехнологии»

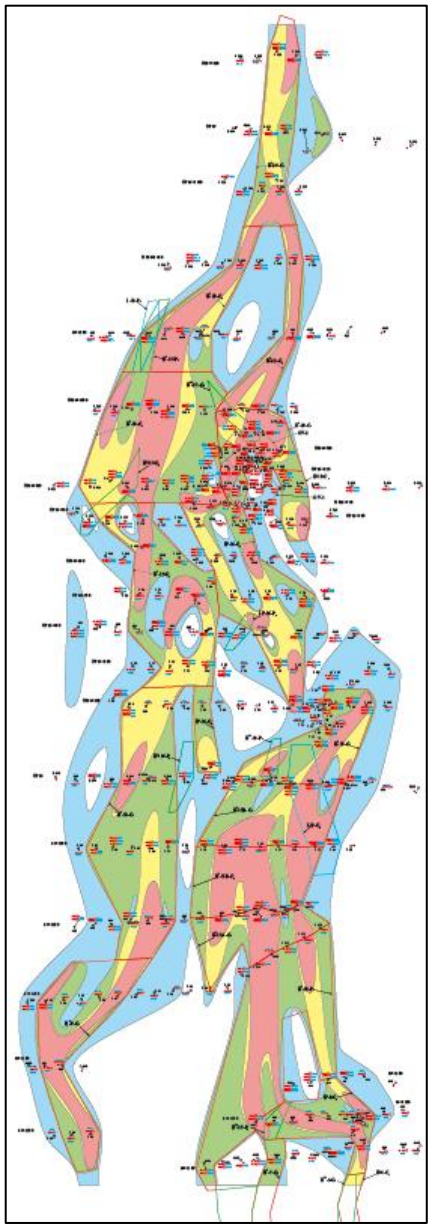
Декабрь 2025 года

РОСАТОМ

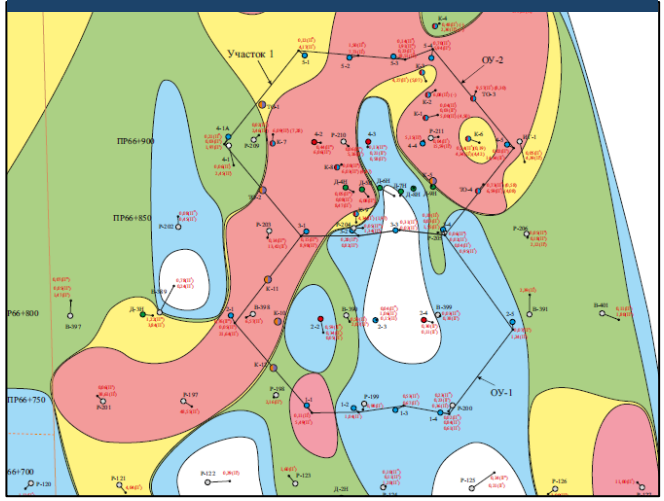
Месторождение Добровольное

Удельная площадная продуктивность месторождения и ОУ 17

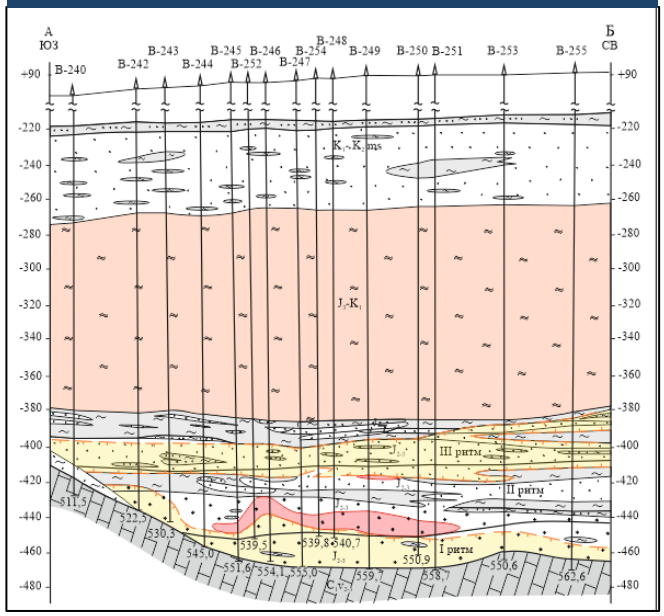




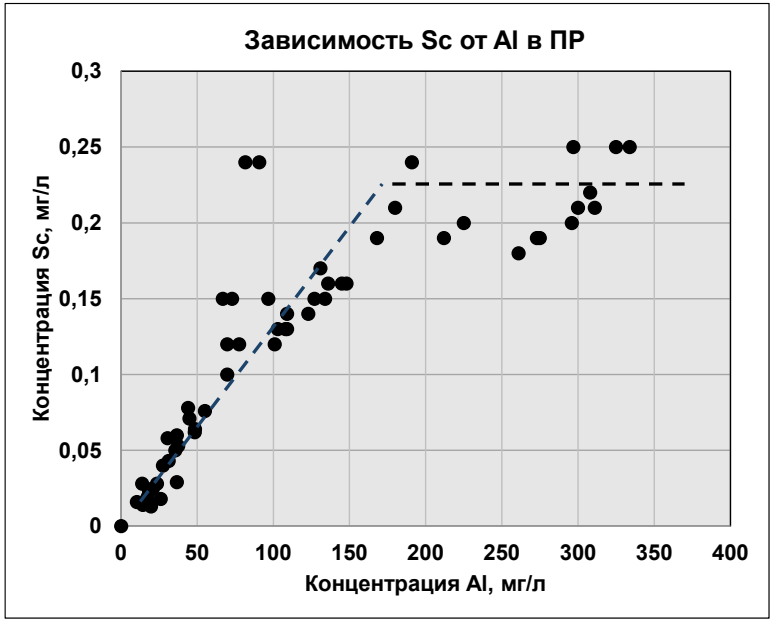
Опытный полигон – ОУ 17

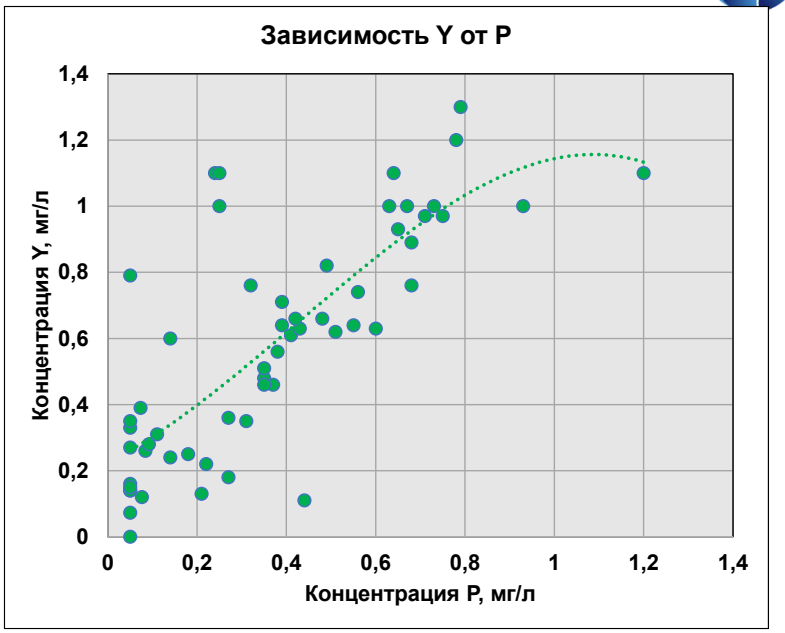


Разрез через ОУ-17

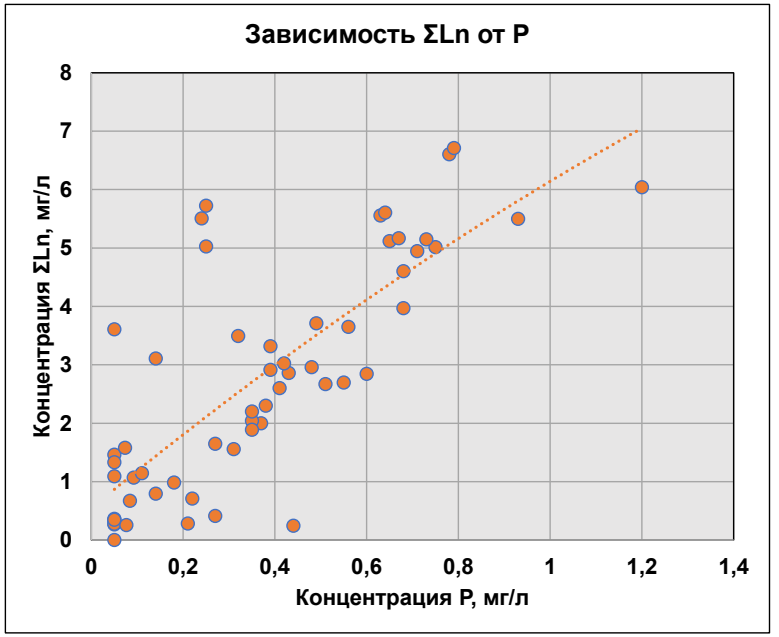


Результаты трехлетних режимных наблюдений за РЗЭ в продуктивных растворах (1/2)

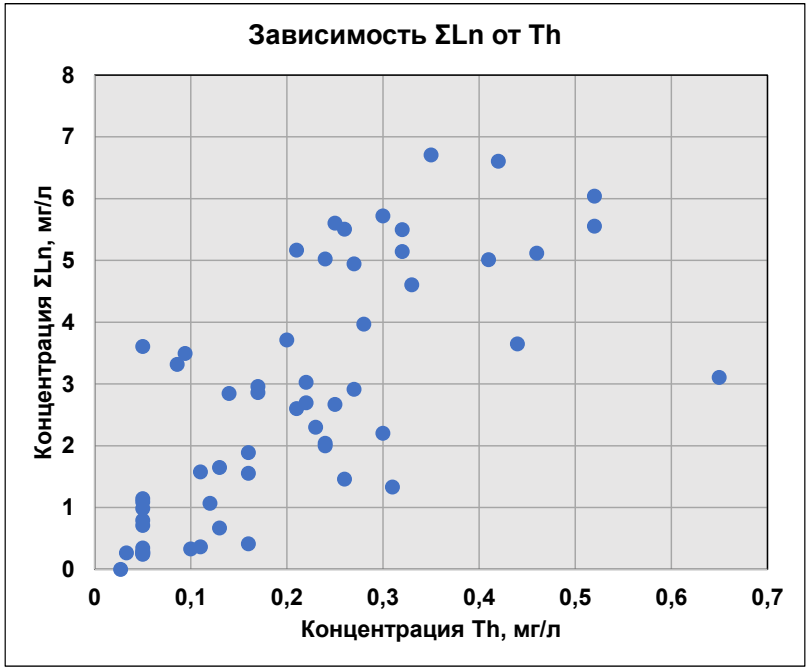




1. Источником Sc в продуктивных растворах являются алюмосиликаты
2. Очевидно предельное накопление Sc на уровне 0,25 мг/л. Он будет извлечен из ПР за один цикл
3. Неявная зависимость Y и ΣLn от P свидетельствует о разных источников этих элементов в ПР
4. **В целом на месторождении Добровольное концентрации РЗЭ в продуктивных растворах не представляют промышленного интереса**

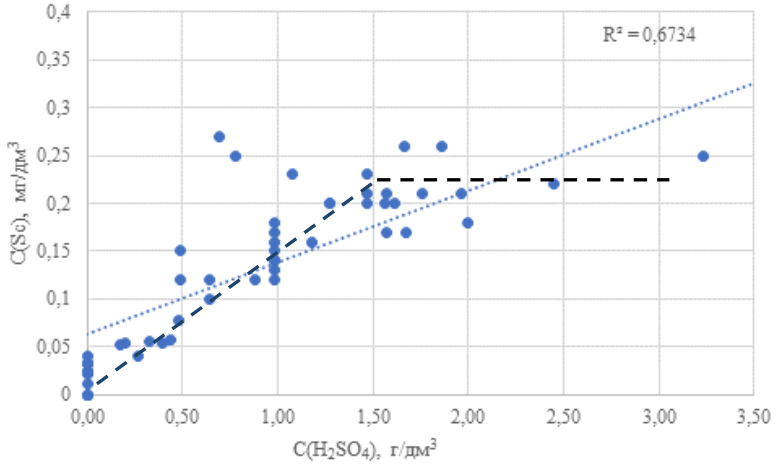


Результаты трехлетних режимных наблюдений за РЗЭ в продуктивных растворах (2/2)

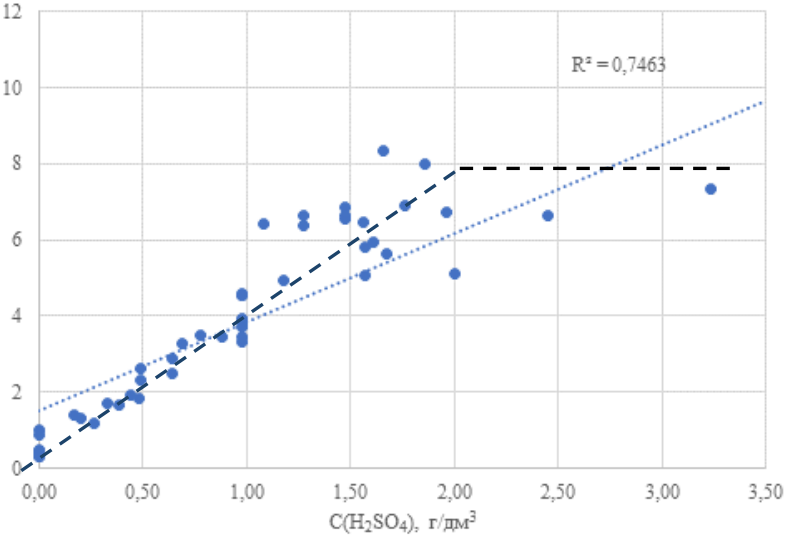


1. Зависимость ΣLn от Th – отсутствует. Следовательно в рудоносных отложениях присутствует несколько источников РЗЭ
2. Лантаноидов в ПР очень мало – до 8 мг/л ΣLn
3. На начальном этапе нарастания концентрации остаточной серной кислоты в ПР увеличивается концентрация Sc и ΣLn возрастает, а затем наступает стационарный режим (горизонтальная пунктирная линия)
4. За время наблюдения в ПР не обнаружены Se и Re

Зависимость Sc от кислотности ПР



Зависимость ΣLn от кислотности ПР



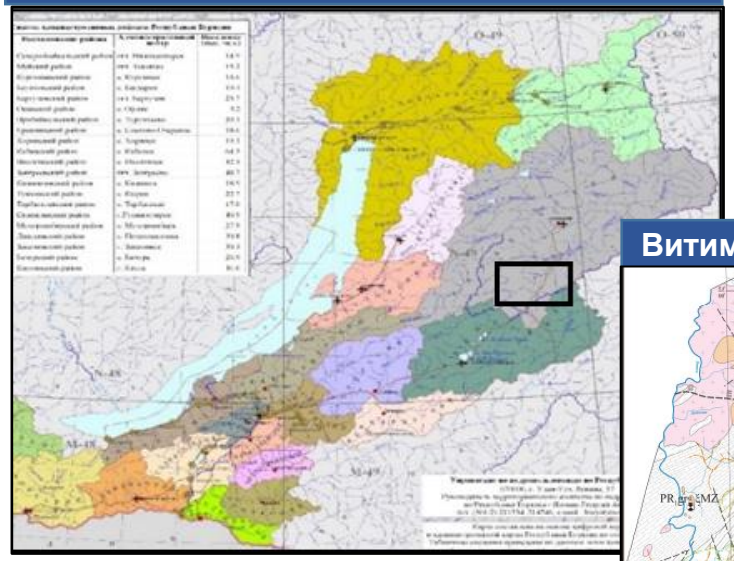
РОСАТОМ

Месторождение Вершинное

Витимский урановый рудный район – перспективный объект для попутной добычи РЗЭ

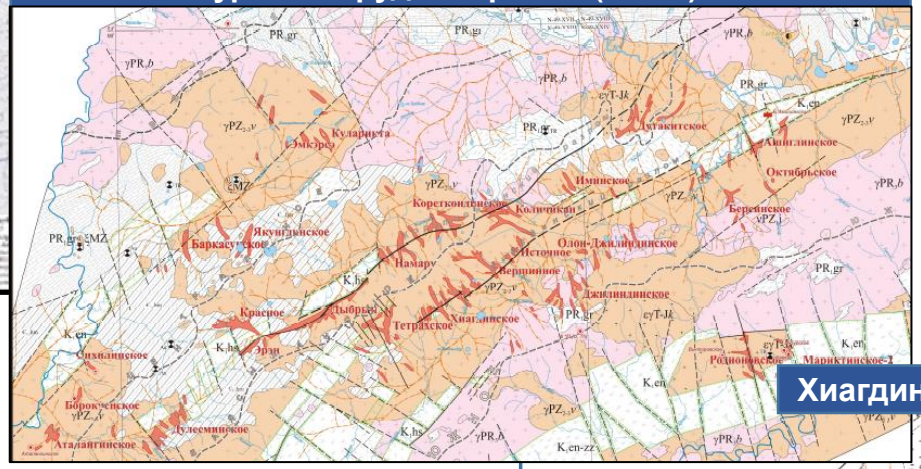
АРМЗ РОСАТОМ

Витимский урановый рудный район на административной карте Республики Бурятия



Ресурс ВУРР –
255 тыс.т урана

Витимский урановорудный район (ВУРР)

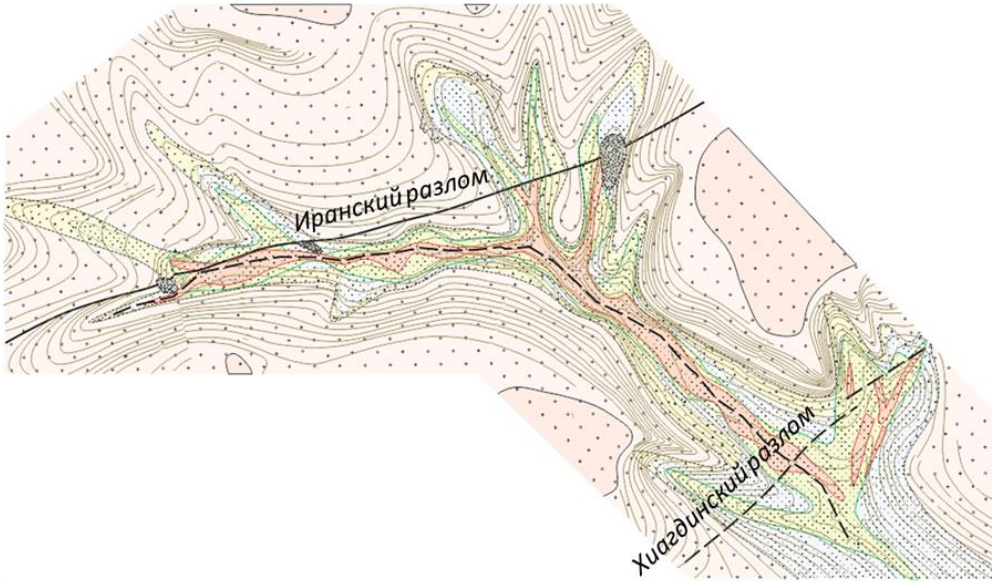


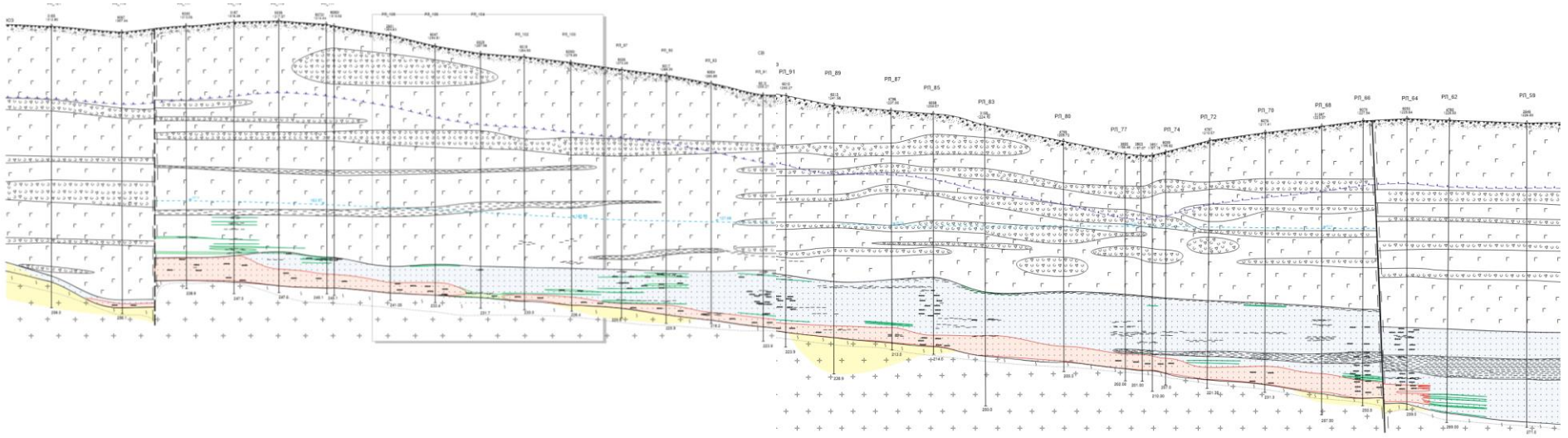
Запасы ХРП –
47 тыс.т урана

Хиагдинское Рудное поле (ХРП)

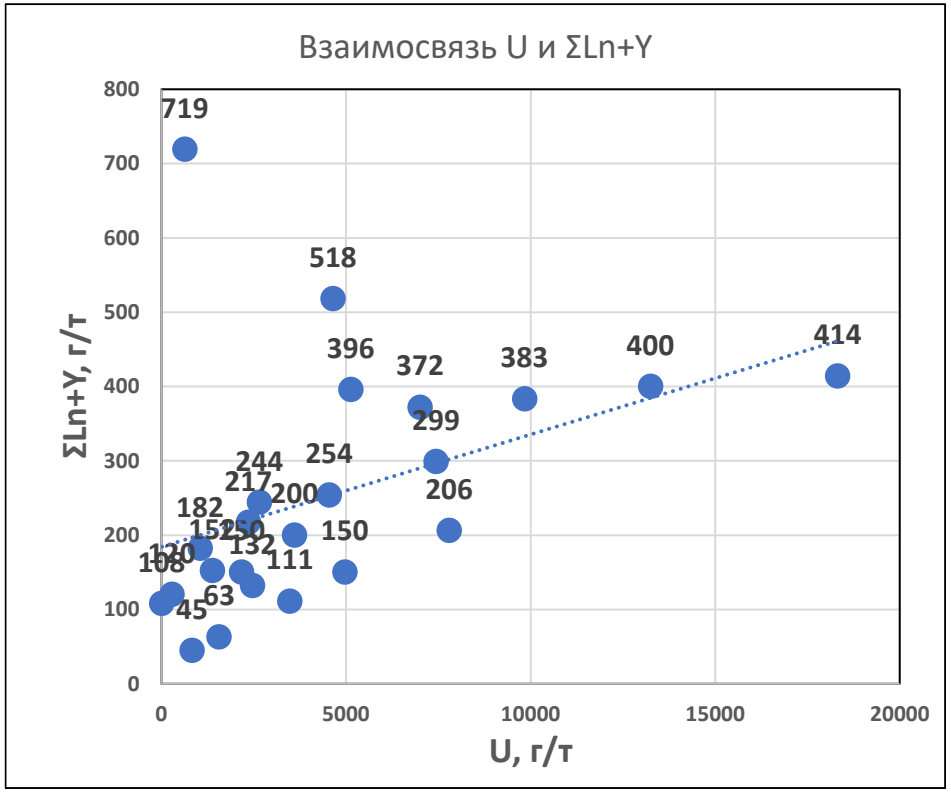
Из 8-ми месторождений ХРП 5-ть месторождений отрабатываются СПВ – Хиагдинское, Вершинное, Источное, Количиканское и Дыбрынское

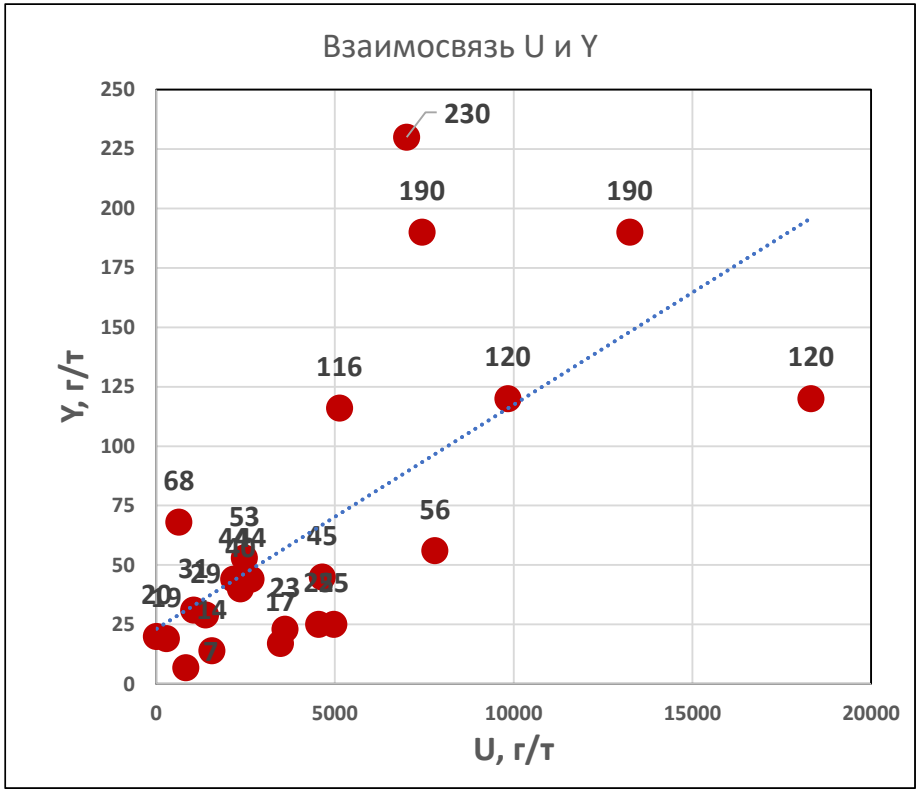
Месторождение Вершинное – объект исследований. Запасы урана – 6 тыс.т





Содержание РЗЭ в рудах



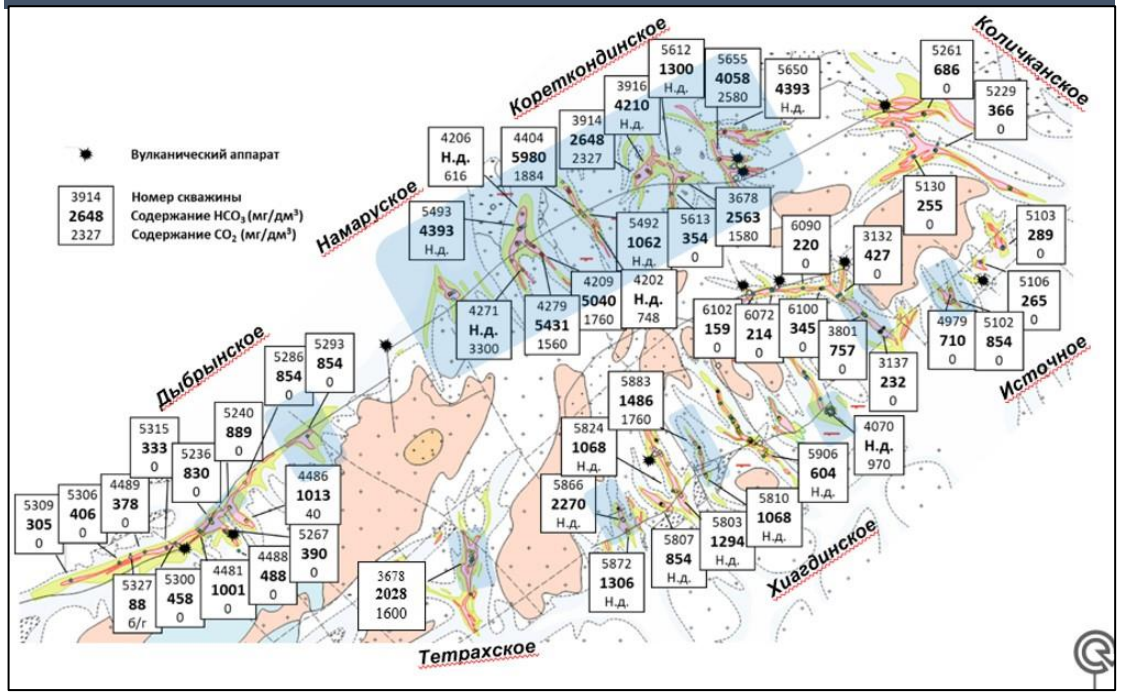


1. Неявная связь содержания Ln+Y и урана в рудах
2. Содержание Ln+Y изменяется от 45 до 719 г/т, среднее – 270 г/т
3. Содержание Y изменяется от 10 до 230 г/т, среднее – 45 г/т

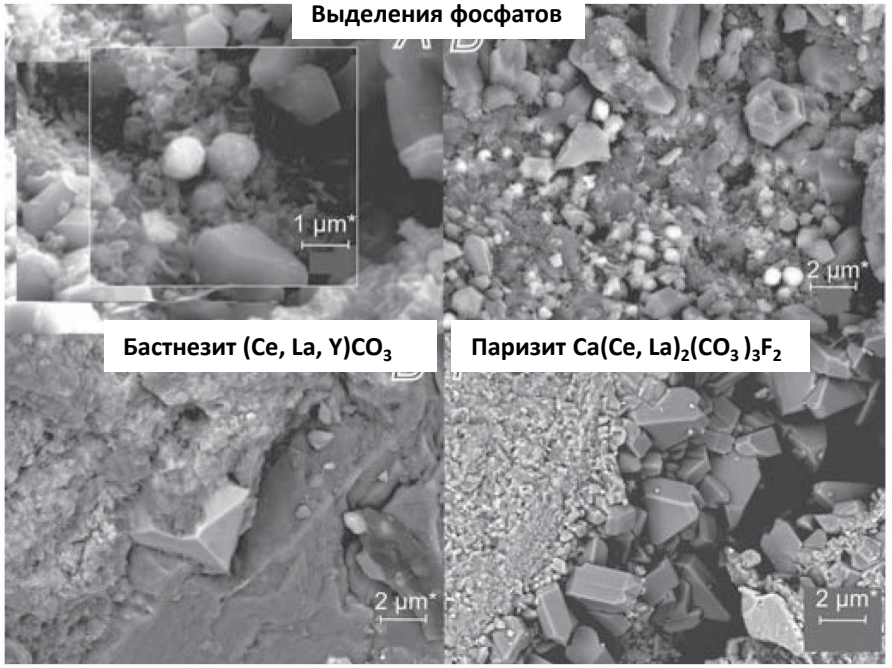
Источники РЗЭ в продуктивных растворах.
1. Углекислые подземные воды (1/2)

АРМЗ
РОСАТОМ

Распространенность углекислых подземных вод в ХРП



Минеральные новообразования из углекислых вод

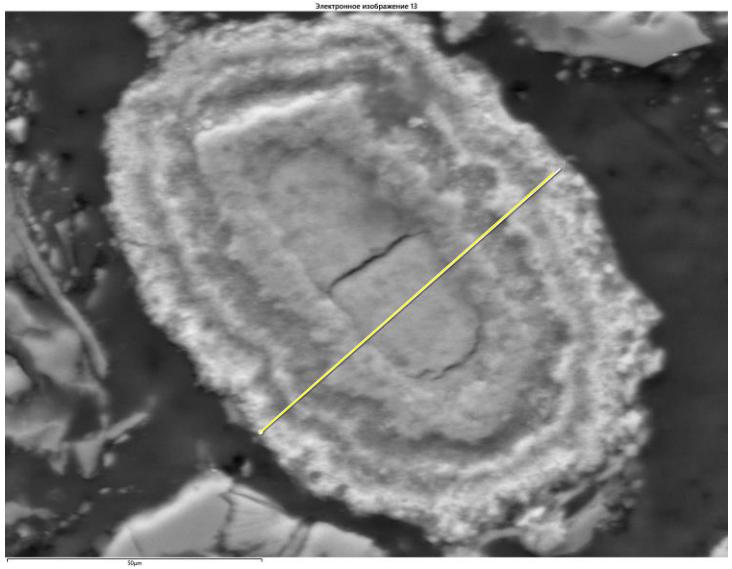


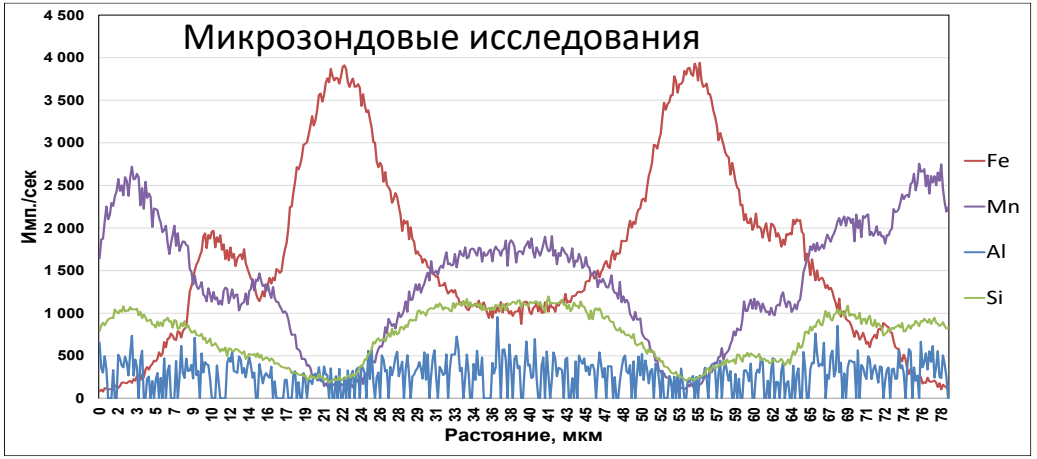
Содержание РЗЭ в углекислых гидрокарбонатных водах колеблются в пределах — от 0,60 до 25 мкг/л

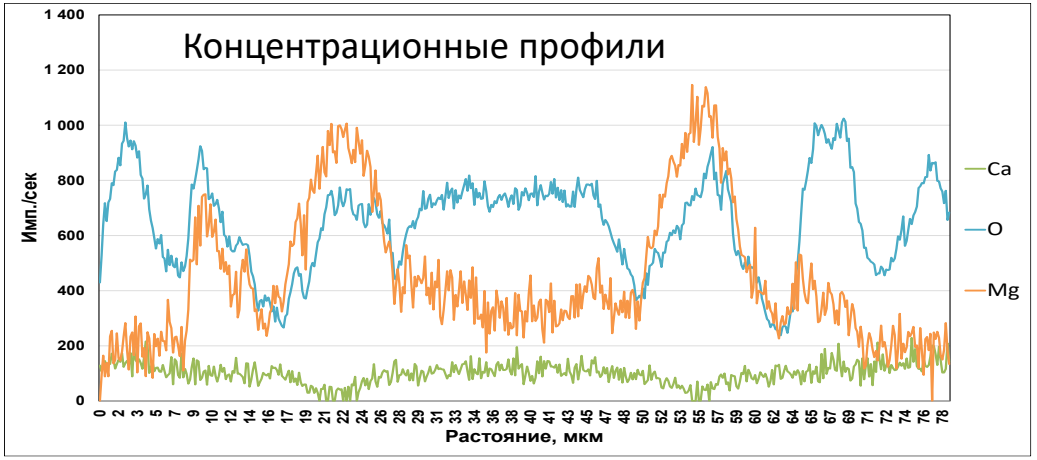
Источники РЗЭ в продуктивных растворах.

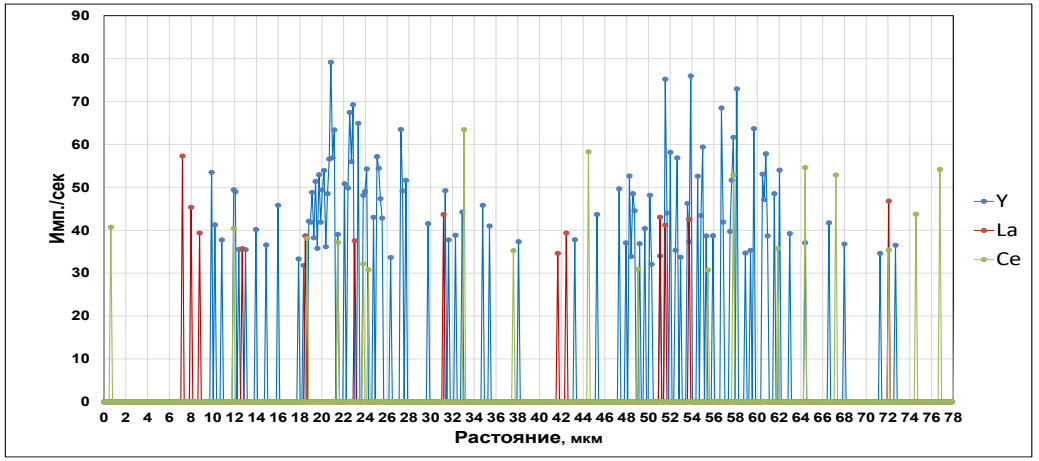
1. Углекислые подземные воды. Сорбированные РЗЭ (2/2)

Прозрачно-полированный шлиф. Николи X





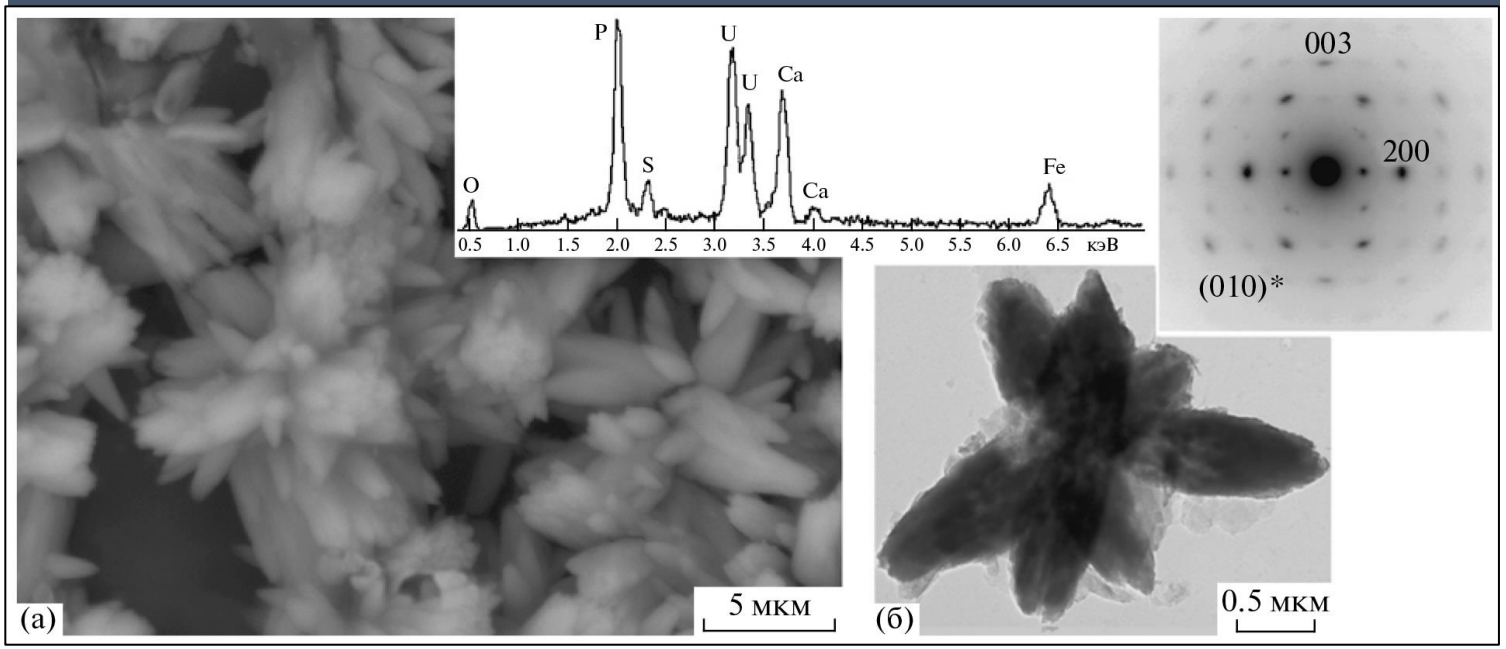




Источники РЗЭ в продуктивных растворах.
2. Основной урановый минерал в рудах – нингиоит содержит РЗЭ до 10%

АРМЗ РОСАТОМ

Сростки кристаллов нингиоита



Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Карташов П.М. УРАНОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПАЛЕОДОЛИННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВИТИМА // Разведка и охрана недр, №12, 2018, с. 24-30

1. Основной урановый минерал во всех типах руд месторождений ХРП диагностирован как РЗЭ-содержащий Ca-фосфат четырехвалентного урана – нингиоит $CaU(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$
2. Суммарно РЗЭ в нингиоите – 10 мас.%
3. Ce до 6 мас.%
4. Соотношение РЗЭ – Ce> Y> La> Nd> Pr

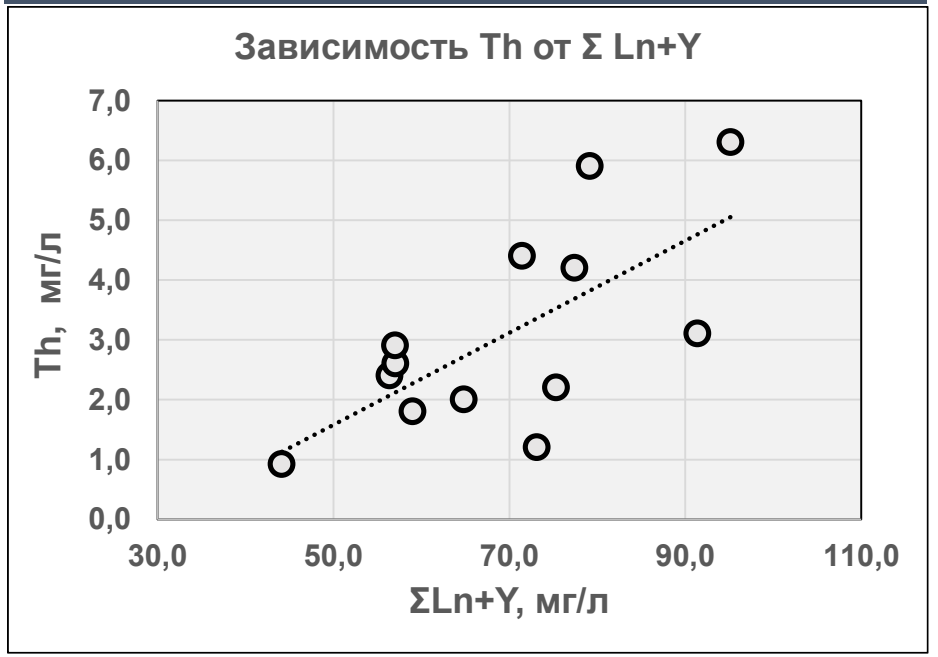
Источники РЗЭ в продуктивных растворах.
3. Фосфаты в рудах - акцессории

Монацит
(Ce, La, Nd, Th)PO_4

Ксенотим
$Y(PO_4)$

Апатит
$Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$

Зависимость ΣLn+Y от Th, Продуктивный раствор

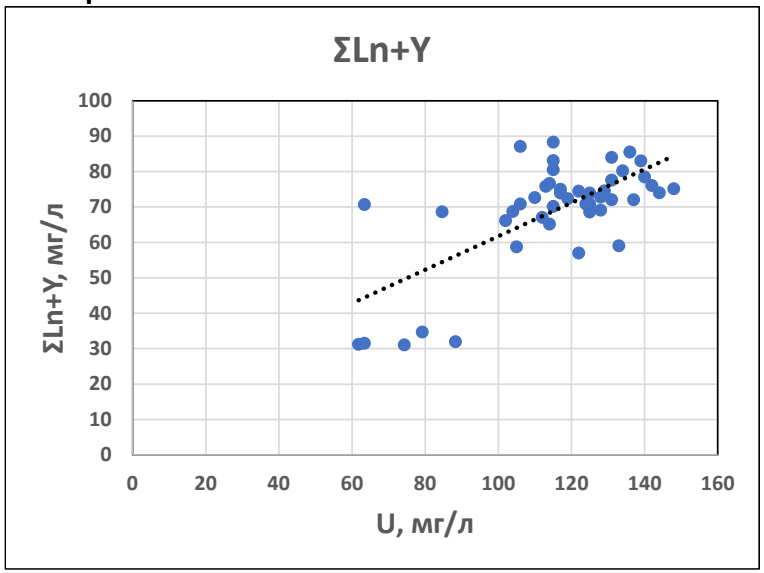


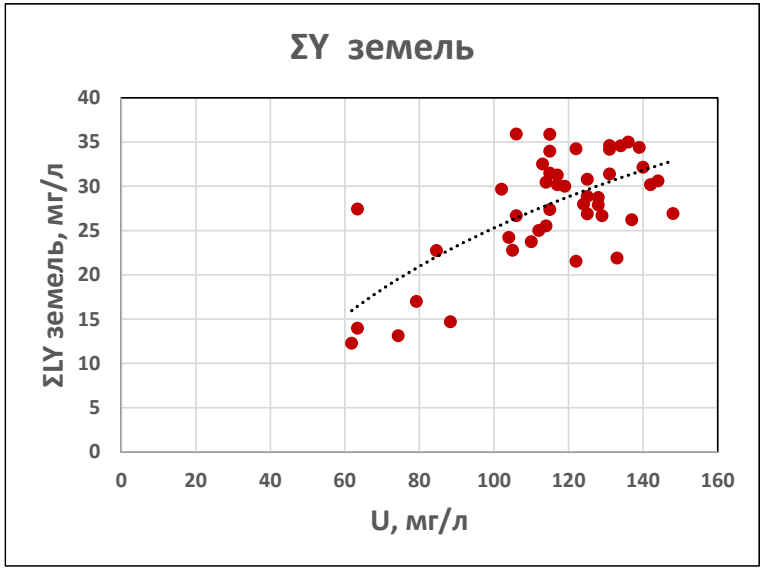
Один из основных источников РЗМ в продуктивных растворах – монацит – торий-содержащий минерал

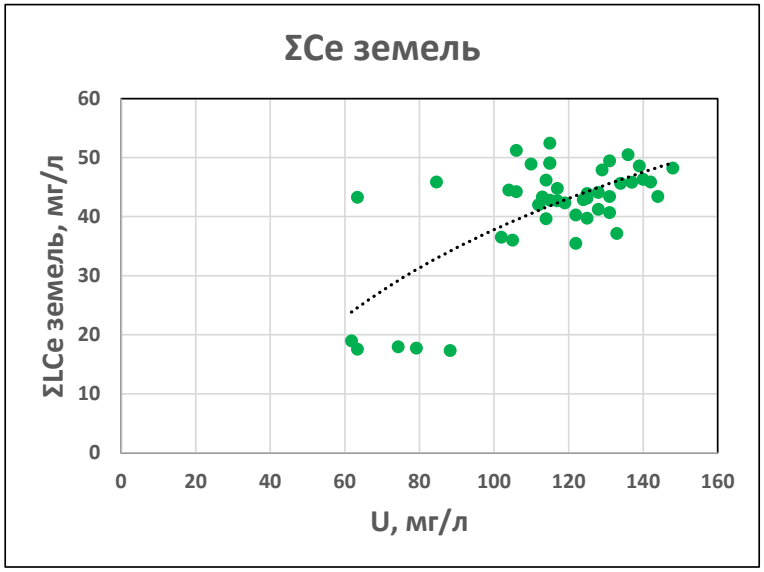
Результаты опробования продуктивных растворов на РЗМ в 2020 г (4/4)

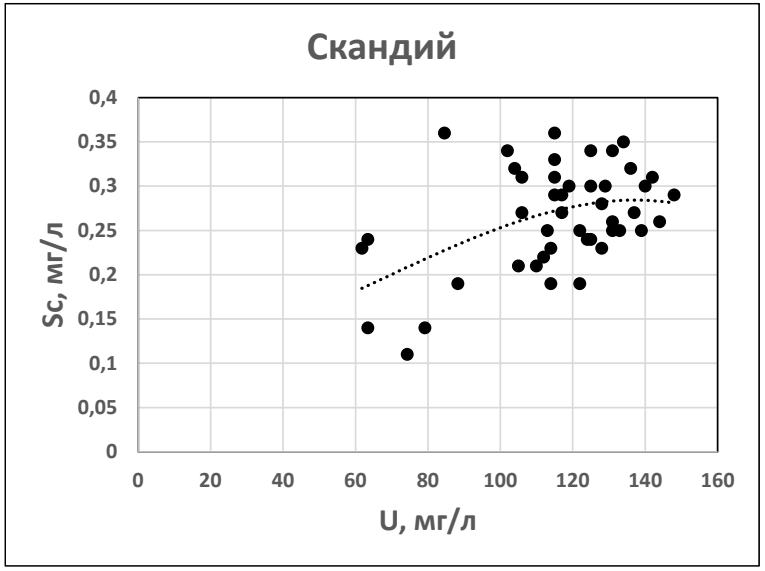
Зависимость скандия, ΣLn+Y, суммы иттриевых и цериевых земель от содержания урана в продуктивных растворах

АРМЗ РОСАТОМ



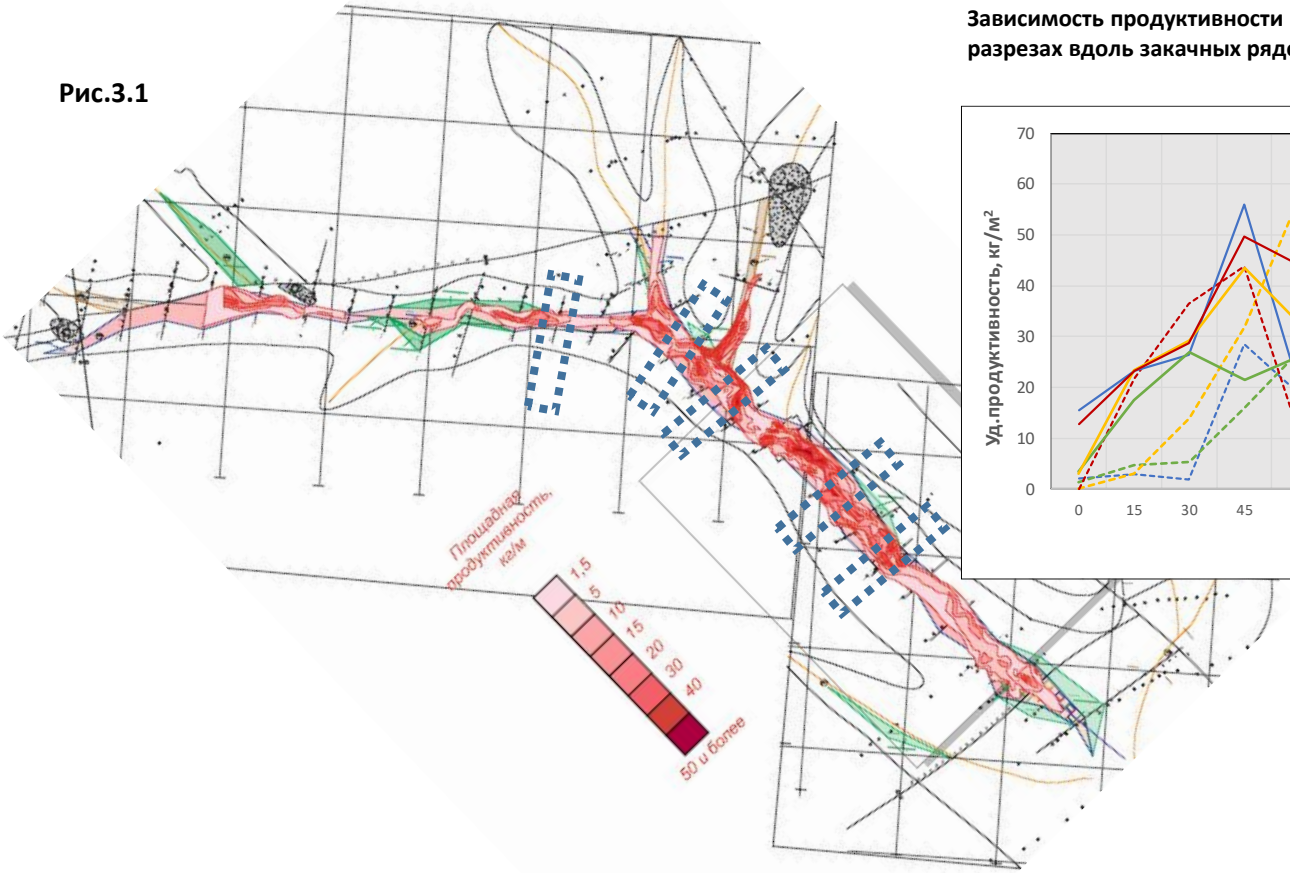






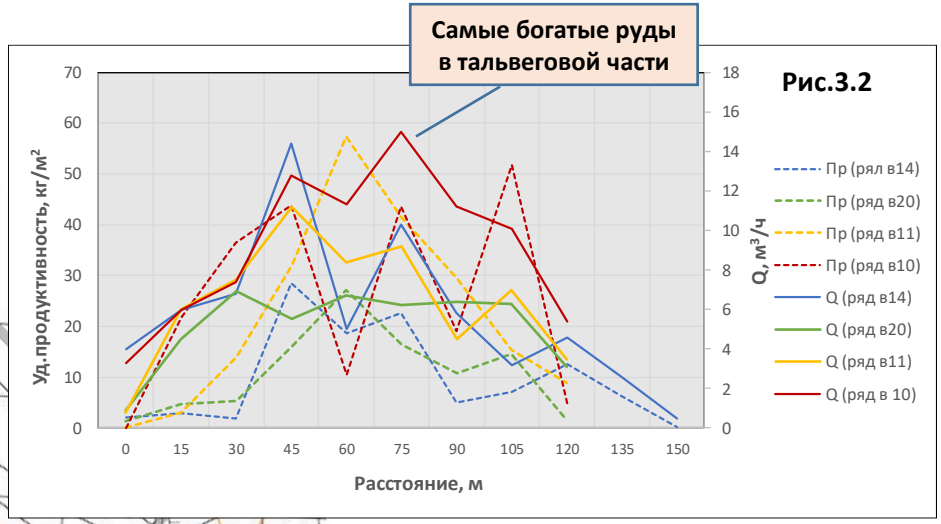
Результаты опробования продуктивных растворов на РЗЭ (2020 г) (1/4)

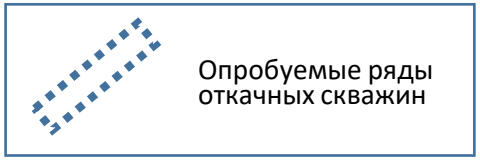
Рис.3.1



Зависимость продуктивности руд от производительности скважин в поперечных разрезах вдоль закачных рядов

Рис.3.2



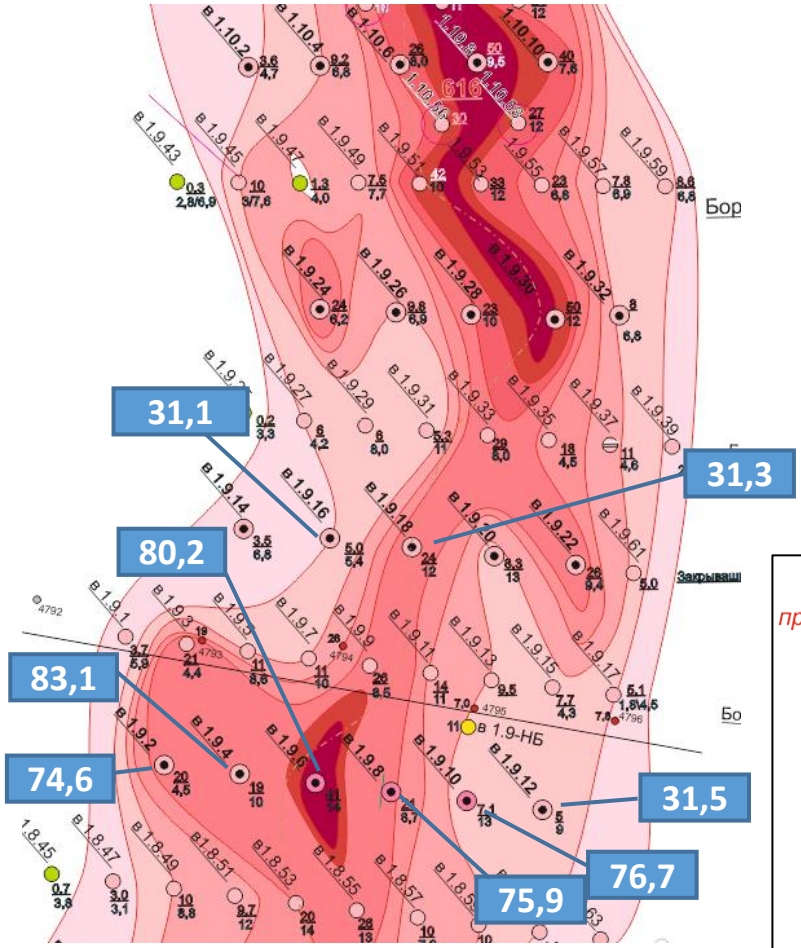


- Руды на залежи В1 месторождения Вершинное характеризуются высокой контрастностью (рис.3.1)
- Наиболее богатые руды приурочены к тальвеговой части палеооврага и достигают 58 кг/м^2 (рис.3.2)
- **Нами сделано предположение, что содержание РЗМ в продуктивных растворах, также как и урана должно быть минимальным в бедных рудах и максимальным – в богатых**

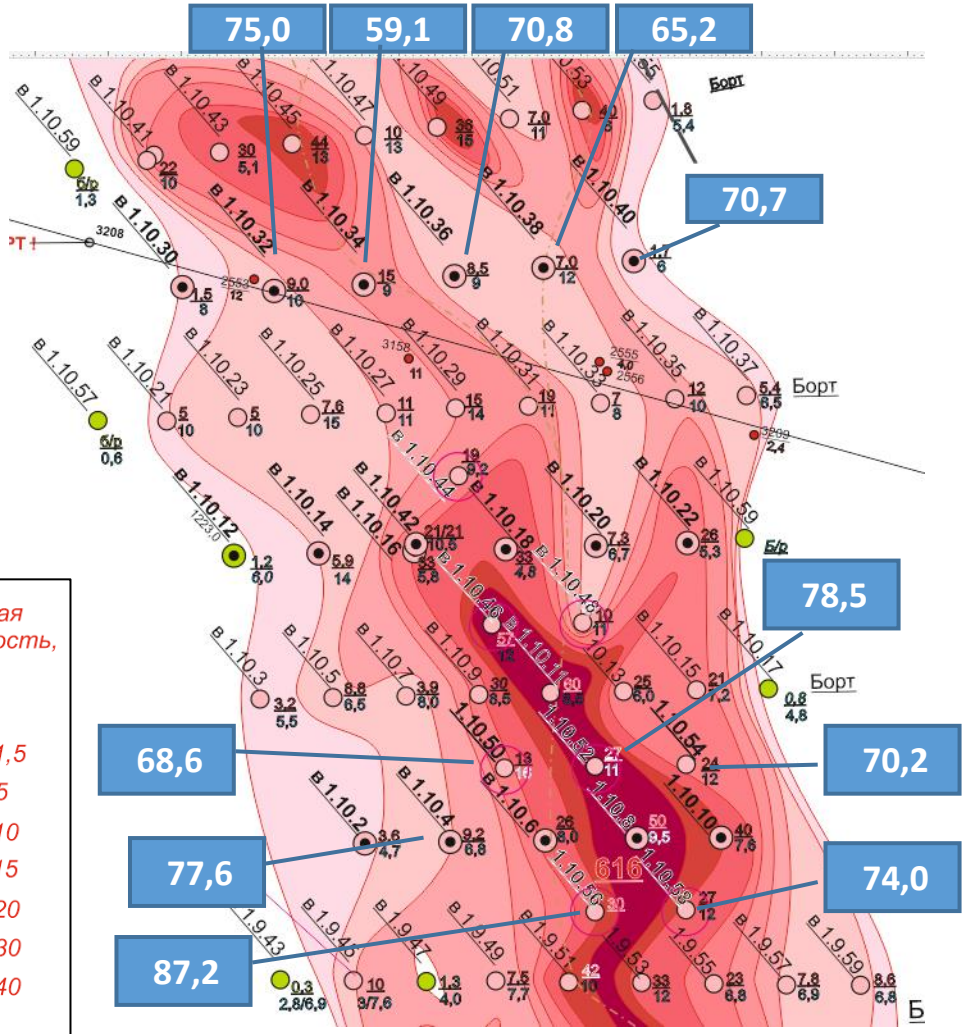
Результаты опробования продуктивных растворов на РЗМ (2020 г) (2/4) (на картах - содержание ΣLn+Y в мг/л)

АРМЗ РОСАТОМ

Блок 9



Блок 10

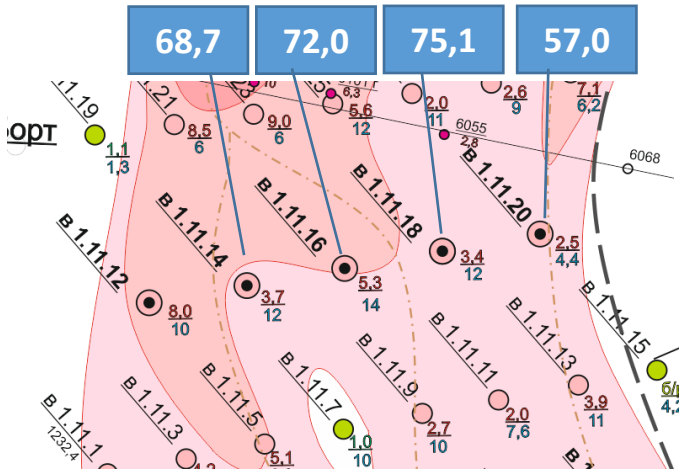


Результаты опробования продуктивных растворов на РЗМ (2020 г) (3/4)

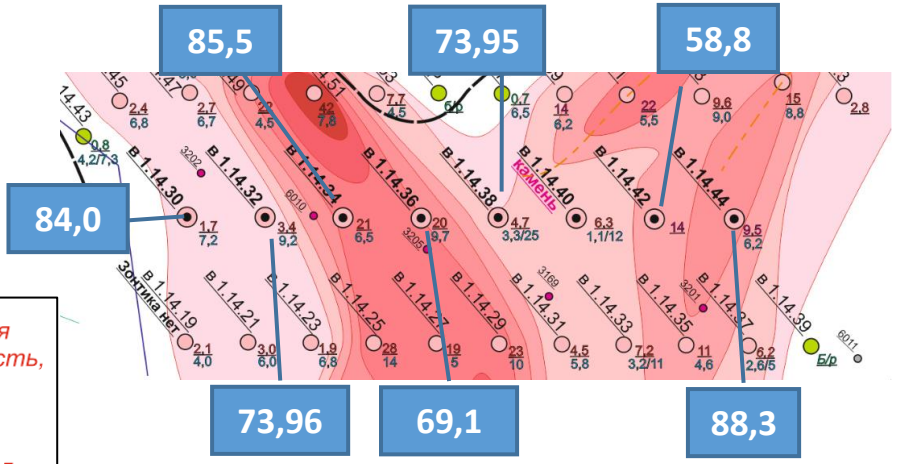
(на картах - содержание в ПР ΣLn+Y в мг/л)

АРМЗ РОСАТОМ

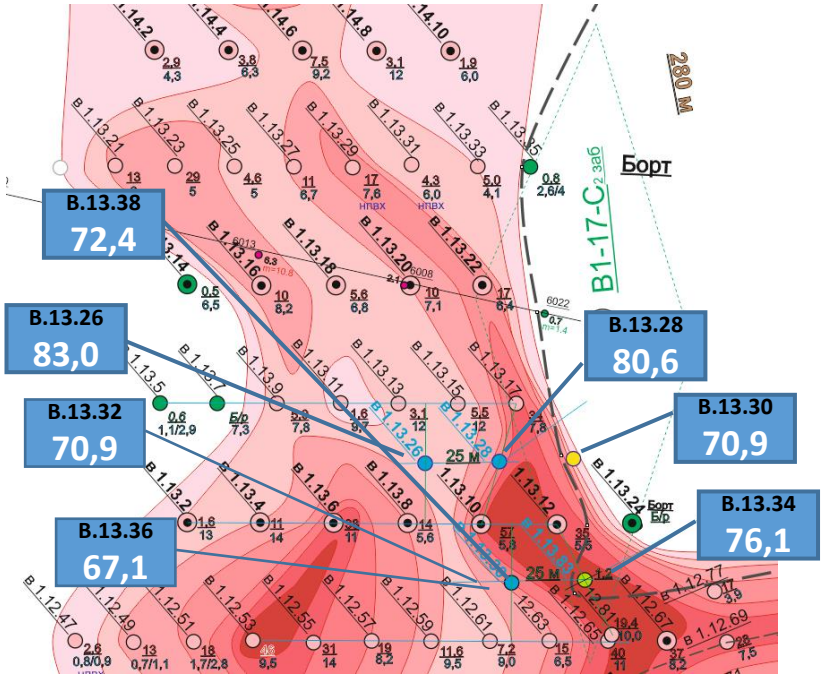
Блок 11



Блок 14



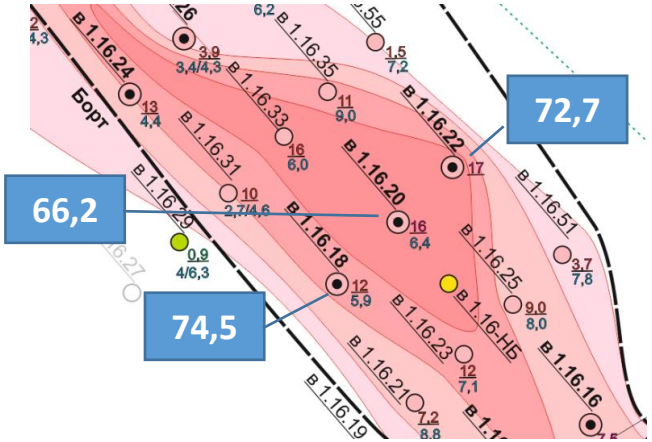
Блок 13



Площадная продуктивность, кг/м

1,5
5
10
15
20
30
40
50 и более

Блок 16



Разработка технологии извлечения РЗМ-актиниевого концентрата из продуктивных растворов с помощью мобильных установок (1/2)

АРМЗ РОСАТОМ

1. Отсутствие производств РЗМ в России

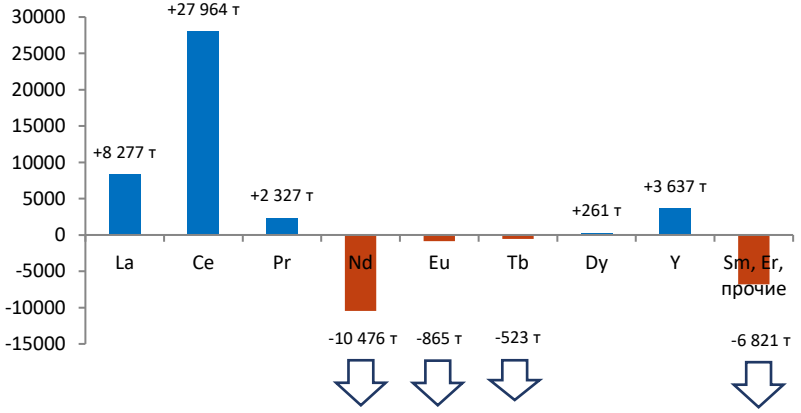
Доля России на мировым рынке на уровне 1,5% (концентраты)

4,4% разделенных РЗМ от внутреннего производства

0,1% доля от мирового производства (разделенные)

Производство от 2,5 до 3,0 тыс. тонн в год коллективных карбонатов РЗМ

2. Дисбаланс производства РЗМ



3. Статистика ВОЗ:

14,1 млн. новых случаев раковых заболеваний в мире на 2016 год (из них: Европа – 3,4 млн., США – 2,8 млн.)

Лечение препаратом на основе Ra-223 показано порядка 1,7 млн. пациентам в Европе и 1,4 млн. в США.

^{227}Ac 21,8 лет ^{227}Th ^{223}Ra

Радий-223 хлорид (Xofigo)

препарат с альфа-излучающим изотопом Ra-223 для терапии рака костной ткани (остеосаркомы).

Первый альфа излучатель который прошел III фазу клинических исследований и был одобрен FDA для применения в клинической практике.

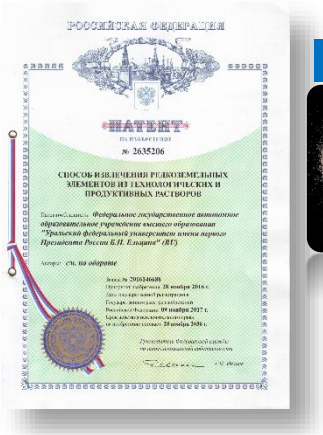
Разработка технологии извлечения РЗМ-актиниевого концентрата из продуктивных растворов с помощью мобильных установок (2/2)

АРМЗ РОСАТОМ

Технология получения первичного концентрата РЗМ

Технология получения коллективного концентрата РЗМ из растворов ПВ урана исследована в укрупненном масштабе в АО «Хиагда».

Способ экстракционно-хроматографического получения концентратов актиния-227, неактивного концентрата РЗЭ с дальнейшим получением концентрата неодима, концентрата среднетяжелой группы РЗМ непосредственно в АО «Хиагда».
Такой подход позволит снизить затраты на получение индивидуальных оксидов РЗМ за счет отсутствия предварительных операций группового экстракционного разделения.



Карбонаты РЗЭ

	Массовая доля, %
Массовая доля оксида кальция (CaO), не более	1,0
Массовая доля оксида железа (Fe_2O_3), не более	0,1
Массовая доля оксидов РЗМ ($\Sigma РЗМ_2O_3$), не менее	**50**
Массовая доля воды (H_2O), не более	50

Карбонаты РЗЭ могут использоваться для производства:

- **групповых и индивидуальных оксидов РЗЭ**
- **чистых металлов**
- **сплавов на основе РЗМ**

Экстракция

Первичный концентрат РЗЭ

Хроматография

Удельная активность первичных концентратов составляет 10^6 – 10^7 Бк/кг при допустимом уровне 10^3 Бк/кг

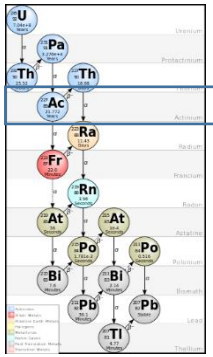
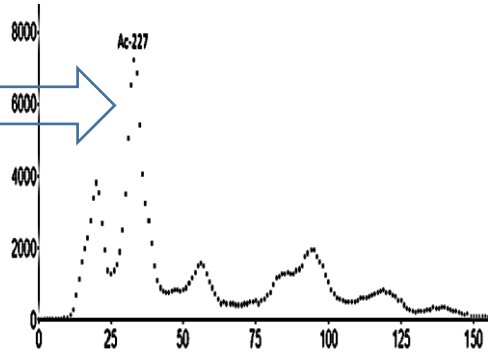


Схема распада ряда U-235



Спектр концентрата РЗЭ исходный

Характеристика дезактивированного концентрата РЗЭ

- Удельная активность концентрата, не более 10^3 -10^4 Бк/кг.
- Массовая доля оксидов РЗМ ($\Sigma РЗМ_2O_3$) в концентрате, не менее 55 масс.%
- Доля оксидов РЗМ (средней и тяжелой групп), не менее 20 масс.%

Спасибо за внимание

Солодов Игорь Николаевич, доктор г.-м. наук

03.12.2025