



АРМЗ  
РОСАТОМ

# Концепция рудообразования и новые критерии выявления урановых месторождений ВИТИМСКОГО ТИПА

**Солодов Игорь Николаевич**

Доктор г.-м. наук

Директор программ инновационного и  
технологического развития АО «Росатом Недра»

**Нестерова Марина Викторовна**

Научный сотрудник ИГЕМ РАН



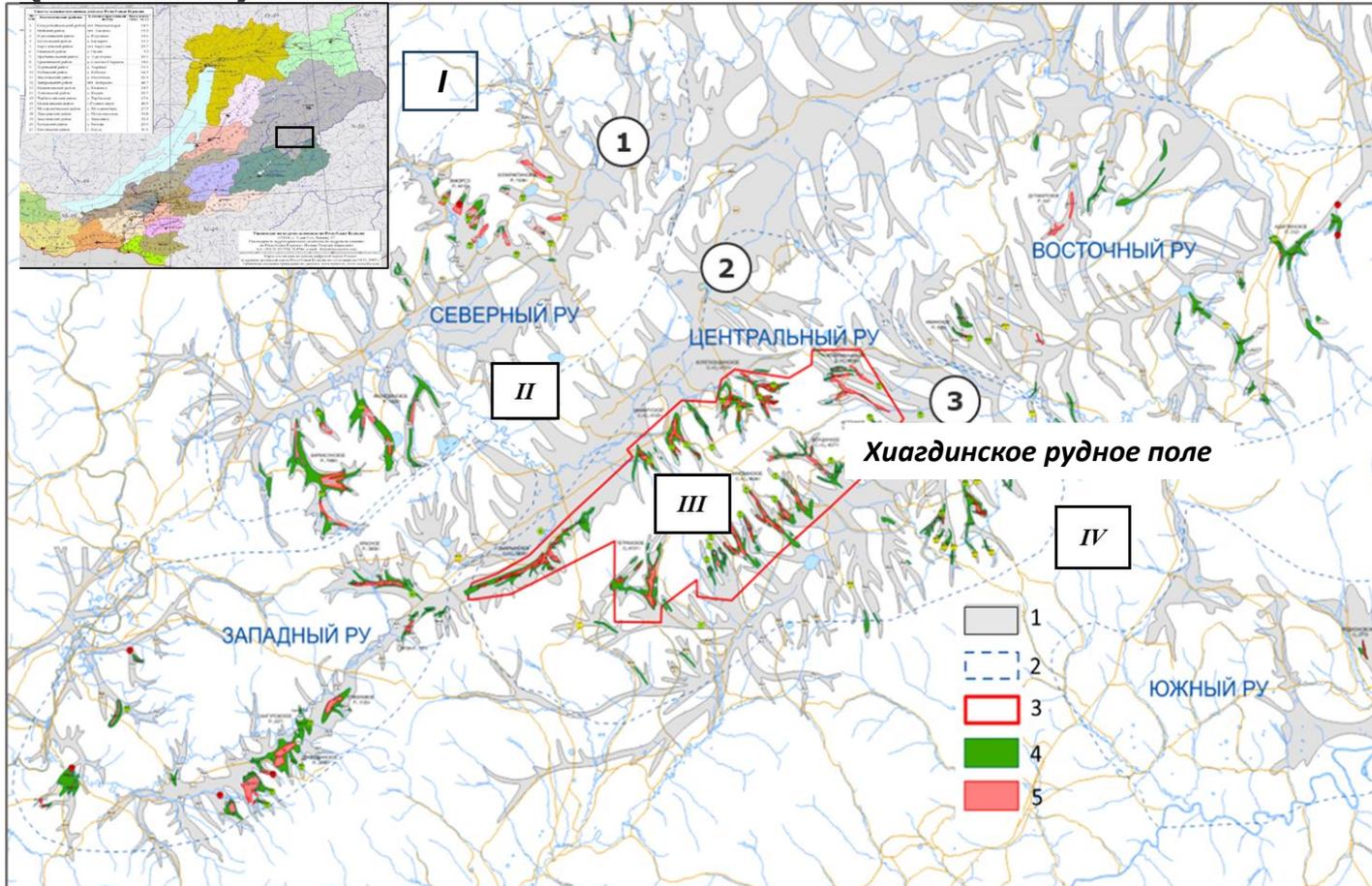
АРМЗ  
РОСАТОМ

# **1. Эксфильтрация (гидроинжекция) глубинных углекислых гидрокарбонатно- магниевых подземных вод**

# Витимский урановый рудный район (ВУРР)



АРМЗ  
РОСАТОМ



- ❑ Рудный район состоит из 5 рудных узлов, включающих 7 рудных полей и **80** рудных залежей с выявленными прогнозными ресурсами и запасами из них 40 палеодолин в ХРП
- ❑ **А** всего палеодолин около **250** – потенциал поисков
- ❑ В стадии отработки методом СПВ находятся месторождения Хиагдинского рудного поля (Центральный рудный узел)
- ❑ **Урановые руды** приурочены к палеодолинам – притоки стволowych палеорусел – 2-го и 3-го порядков

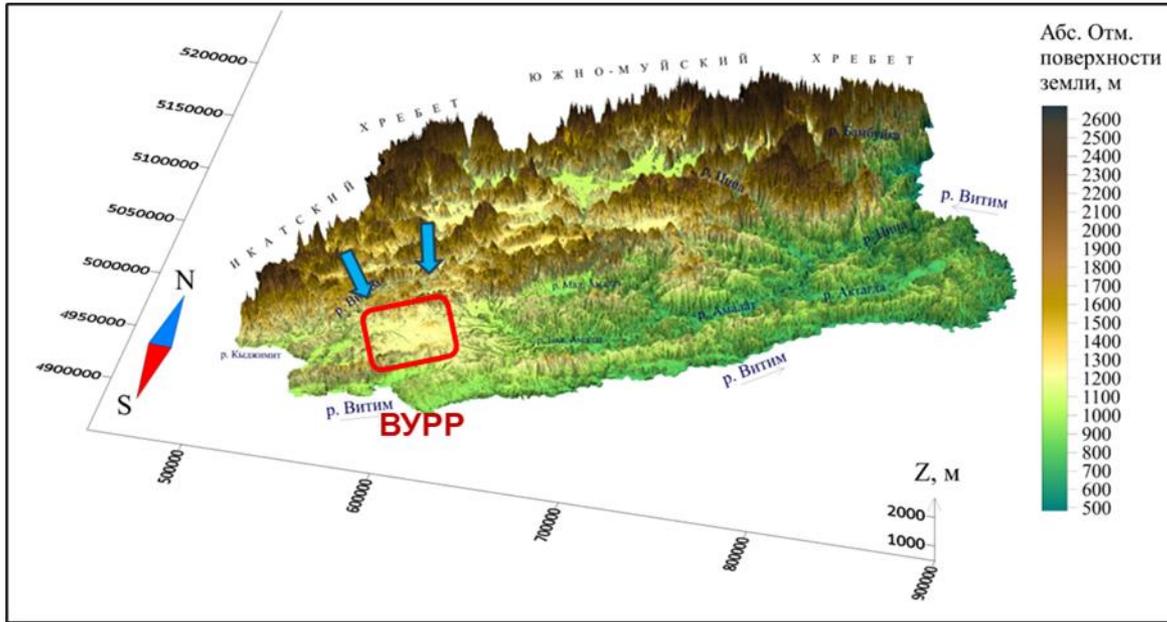
Поднятия: Северное (I), Центральное (II) Байсыханское (III) и Ингурское (IV)

Стволочные палеодолины 1-го порядка: Хойготская (1), Аталангинская (2) и Амалатская (3)

# Модель возникновения эксфильтрации глубинных углекислых подземных вод и их разгрузки в рудоносные горизонты на месторождениях ХРП

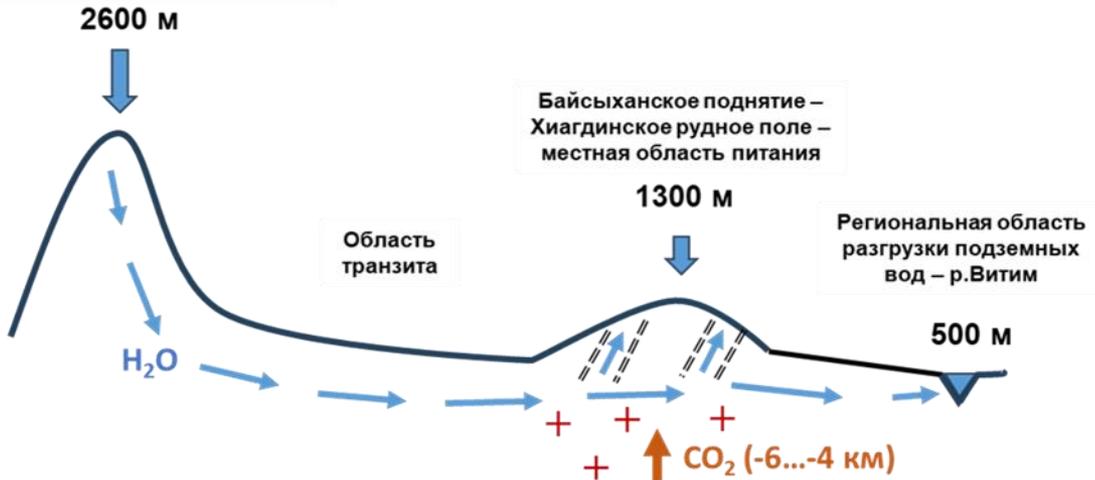


АРМЗ  
РОСАТОМ

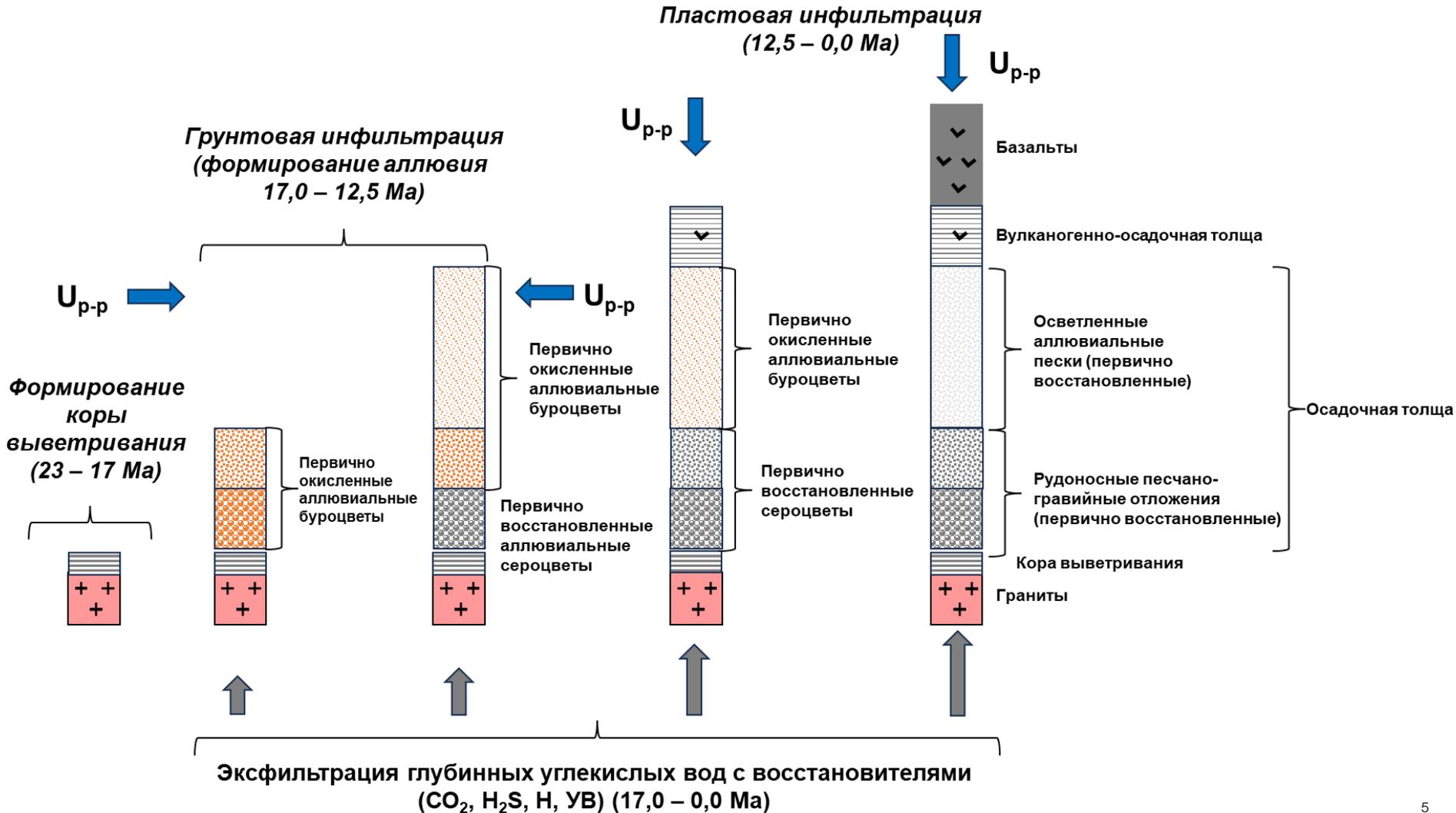


1. Механизм восхождения подземных вод из гранитного фундамента типичен для альпийских складчатых систем и схож с механизмом эксфильтрации в районе Рудных гор в Карловых Варах и Кавказских минеральных вод
2. Метеогенное происхождение и длительная миграция глубинных подземных вод доказана изотопными исследованиями урана, водорода и кислорода

Икатский хребет – региональная область питания и создания напора в подземных водах ВУРР



# Упрощенная схема эволюции инфильтрационно-эксфильтрационной рудообразующей системы



# Постоянный и неподвижный восстановительный геохимический барьер

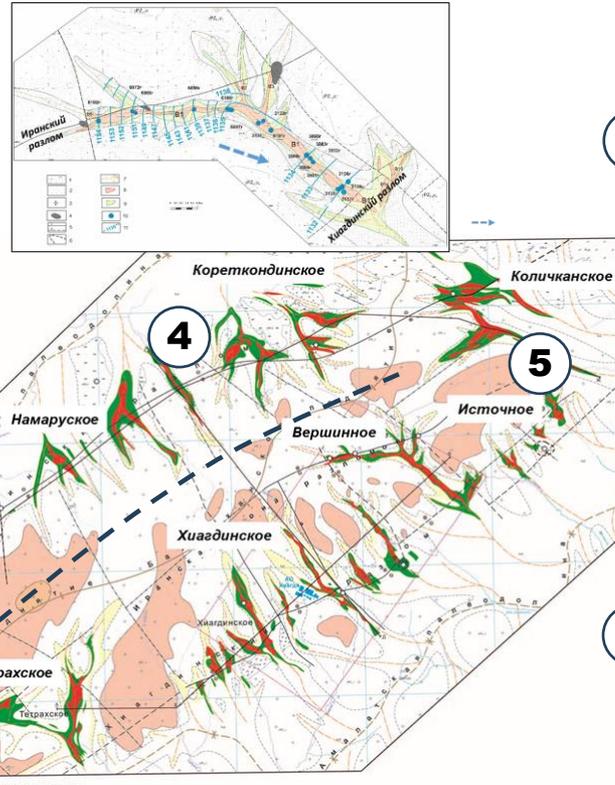


ИГЕМ  
РОСАТОМ

**1** Рельеф фундамента сформировался в конце олигоцена до начала формирования аллювиальных отложений

**2** В рудоносные аллювиальные отложения всегда поступали инфильтрационные кислородсодержащие метеорные воды

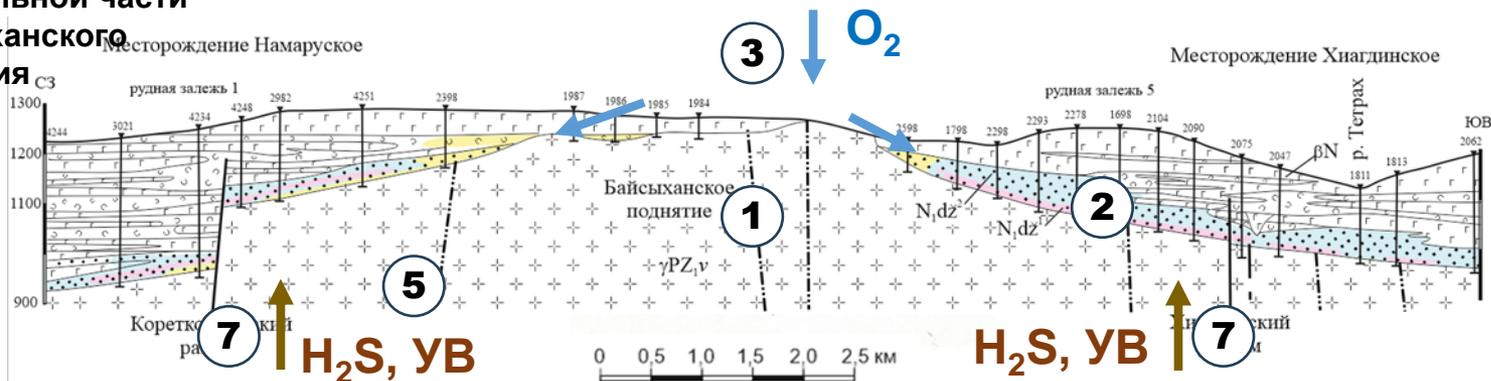
**3** Всегда существовала область питания подземных вод в рудоносных горизонтах в центральной части Байсыханского поднятия



**4** Рудные залежи расположены вблизи осевой линии (3) поднятия и сближены с областью питания

**5** Рудные залежи пространственно совмещены с источником урана в рудах – в витимканских лейкократовых гранитах

**7** Постоянно восходящие из фундамента глубинные углекислые подземные воды с эпигенетическими восстановителями препятствовали окислительному разрушению урановых руд

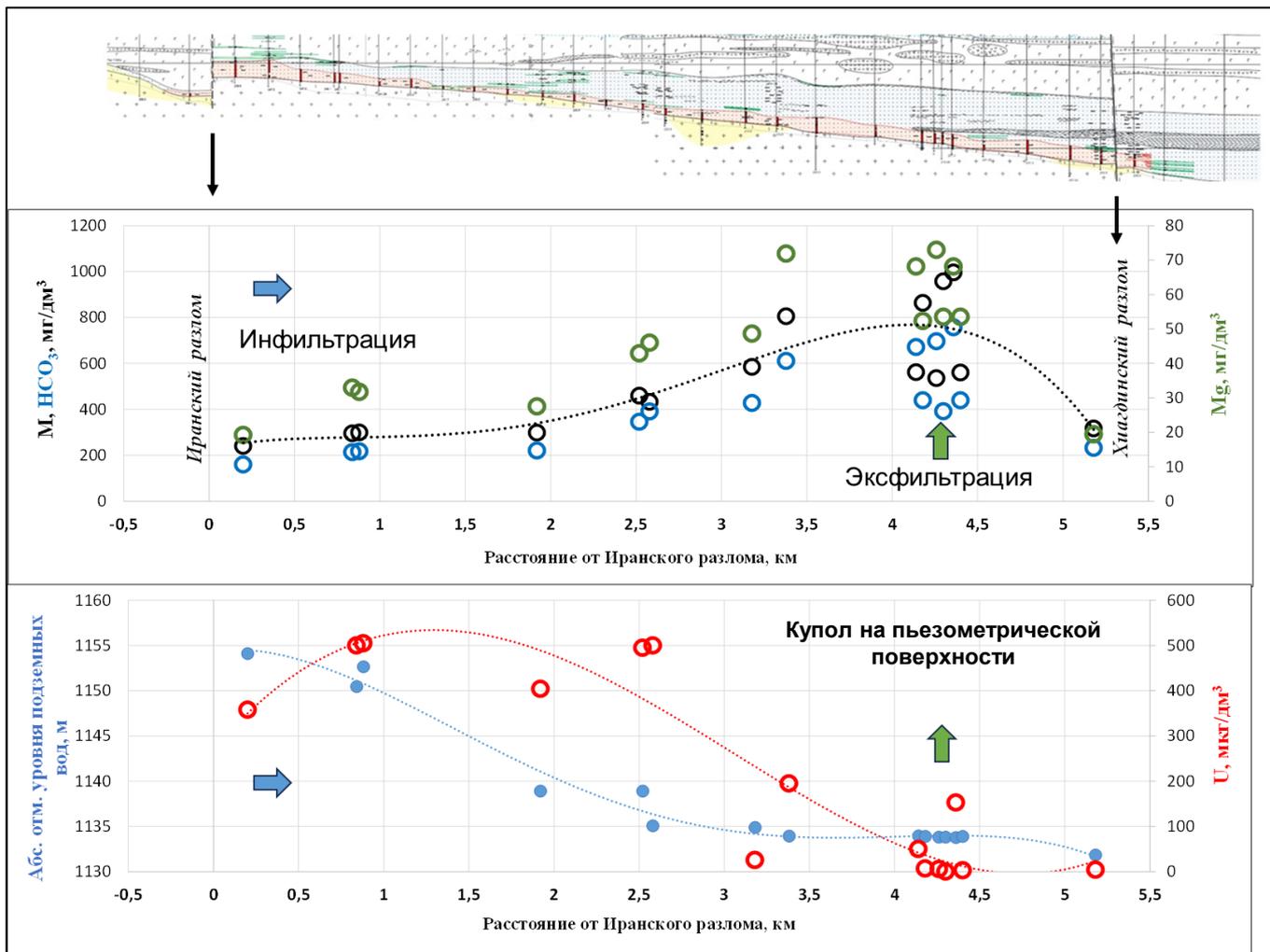


**6**

# Гидродинамические и гидрогеохимические доказательства существования современной эксфильтрации углекислых подземных вод



АРМЗ  
РОСАТОМ



1. Гидрогеологическими методами выявлены гидродинамическая и гидрогеохимическая аномалии
2. Гидродинамика: в зоне восстановительного геохимического барьера пьезометрическая поверхность выполаживается и появляется небольшой купол
3. Гидрогеохимия: в зоне восстановительного геохимического барьера – гидрокарбонатно-магниева аномалия
4. В обычных пластовых гидрогеологических горизонтах на коротком расстоянии 5,5 км не происходят столь контрастные изменения химического состава подземных во



АРМЗ  
РОСАТОМ

## **2. Контрастный восстановительный геохимический барьер (Eh -400... -300 мВ) связан с углеводородами**

# Сквозное проникновение углеводородов (УВ) в геологическом разрезе месторождений Хиагдинского рудного поля

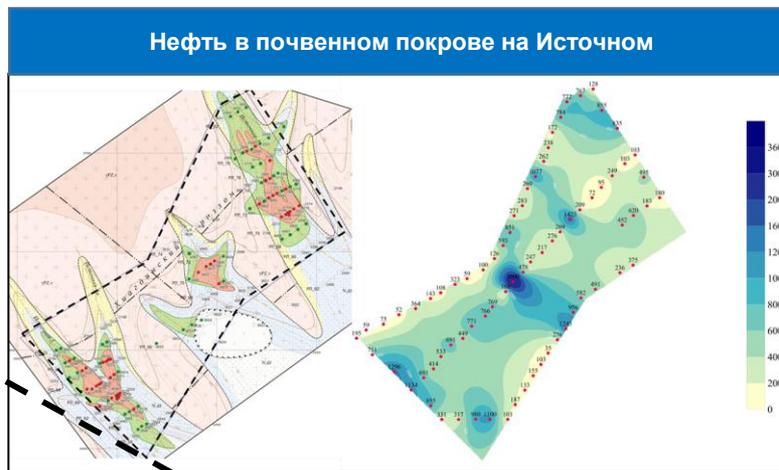


АРМЗ  
РОСАТОМ

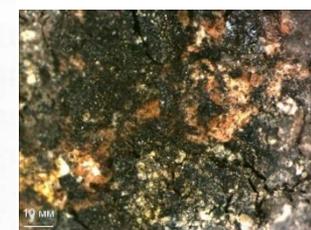
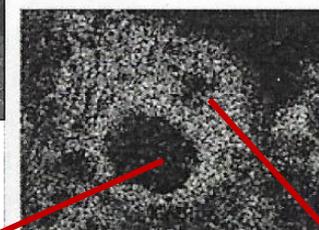
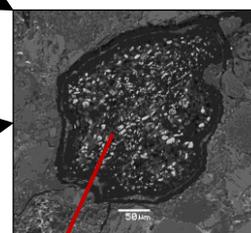


АРМЗ  
РОСАТОМ

Литологическая колонка	Мощность, м	Краткое описание пород
	20-30	<b>Почвы</b>
	20-40	<b>Базальты</b>
	5-30 50-70 20-30	<b>Вулканогенно-осадочная толща</b>
	10-70 5-40	<b>Рудоносный осадочный горизонт</b>
	0-40	<b>Кора выветривания гранитов</b>



**Совпадение УВ-аномалий с контурами рудных тел – новый критерий выявления месторождений витимского типа**



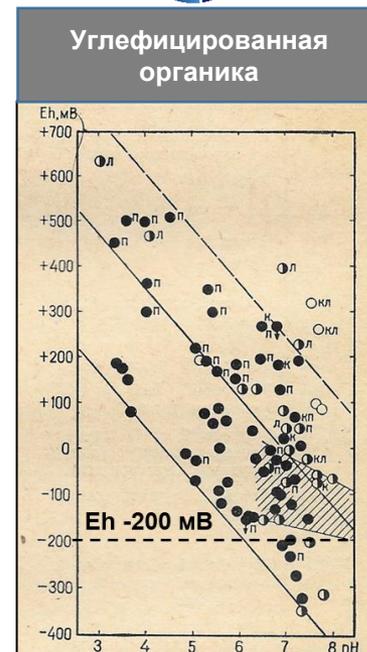
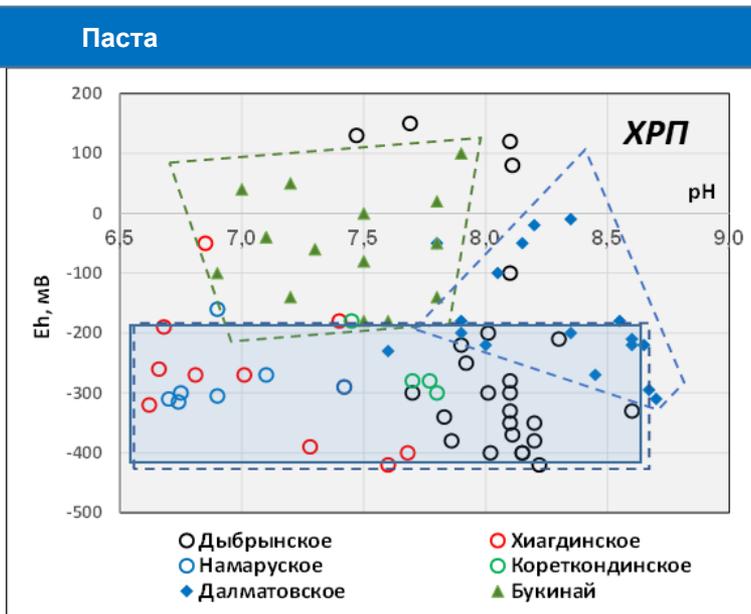
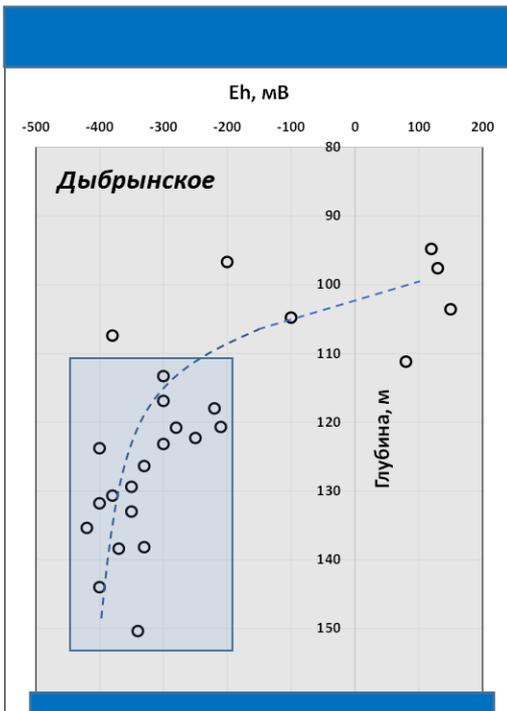
**Углеродистое вещество**

**Фосфаты U(IV)**

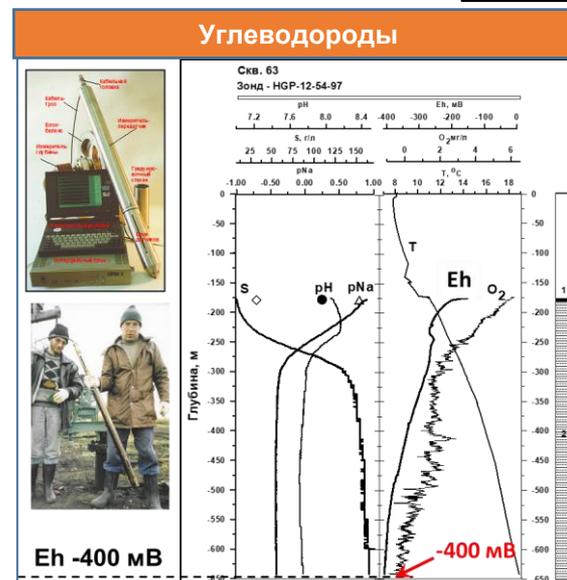
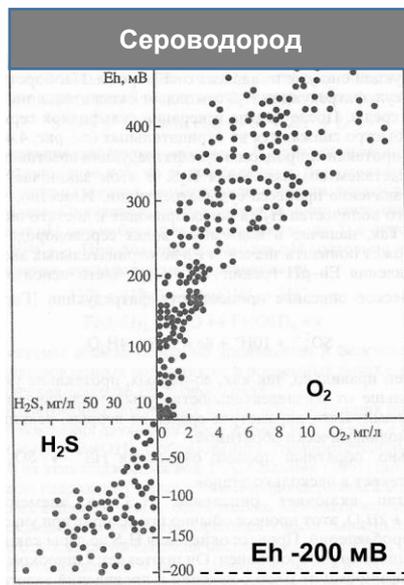
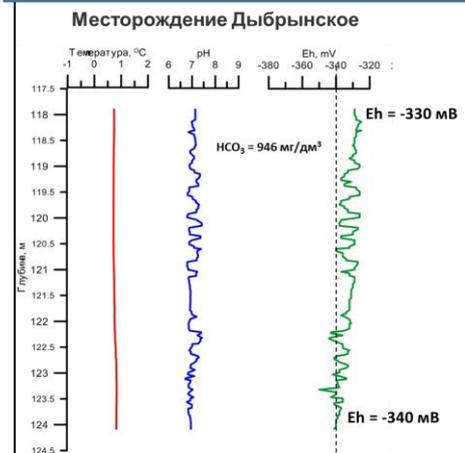
# Высокая восстановленность литологической среды – Eh -420...-200 мВ



АРМЗ  
РОСАТОМ



## Гидрогеохимический каротаж



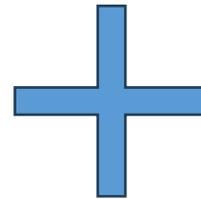
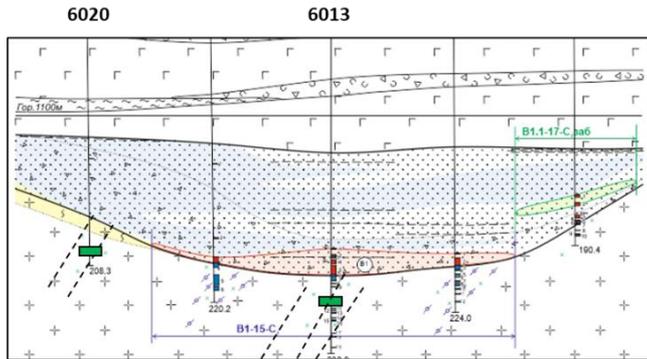
Только растворенные углеводороды способны понизить Eh до -400 мВ

Наиболее вероятно – низкое значение Eh до -420 мВ –  
создает пара – углеводороды + водородные бактерии

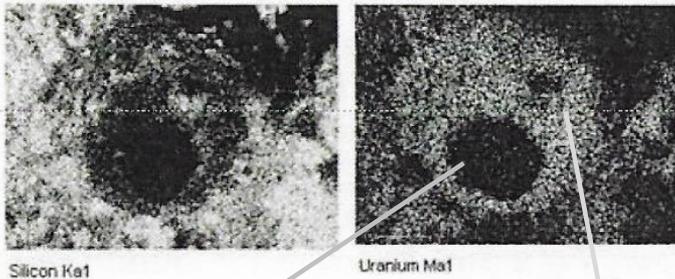
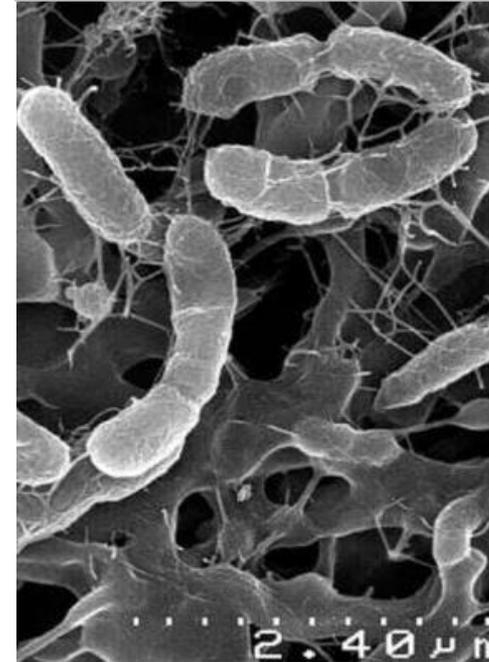


АРМЗ  
РОСАТОМ

### Углеводороды



### Водородные бактерии



Углеродистое  
вещество

Фосфаты урана  
(нингиоит)

Углеводороды поступают в рудоносный  
горизонт в составе восходящих из  
фундамента углекислых подземных вод

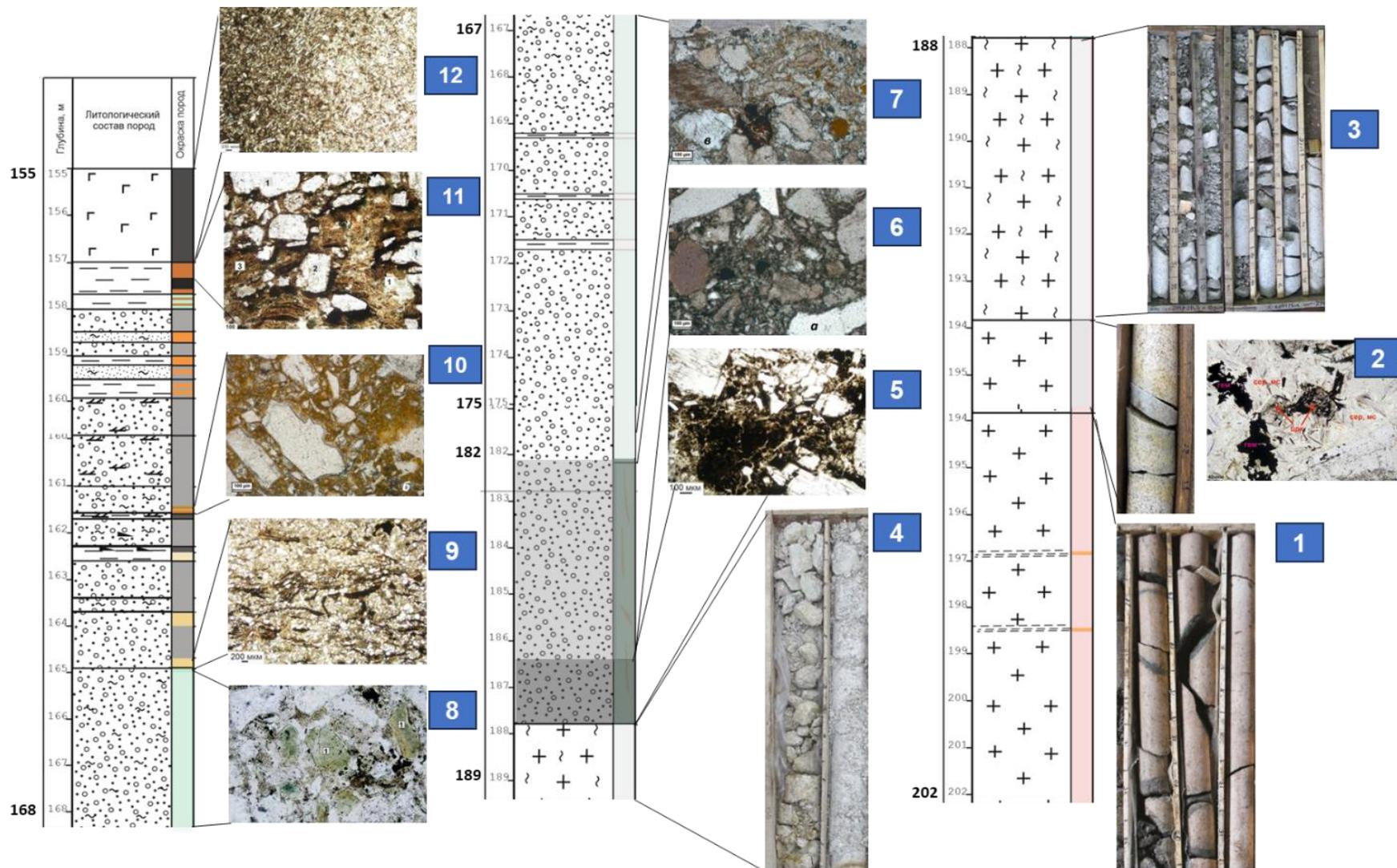
По данным Г.А.Тархановой



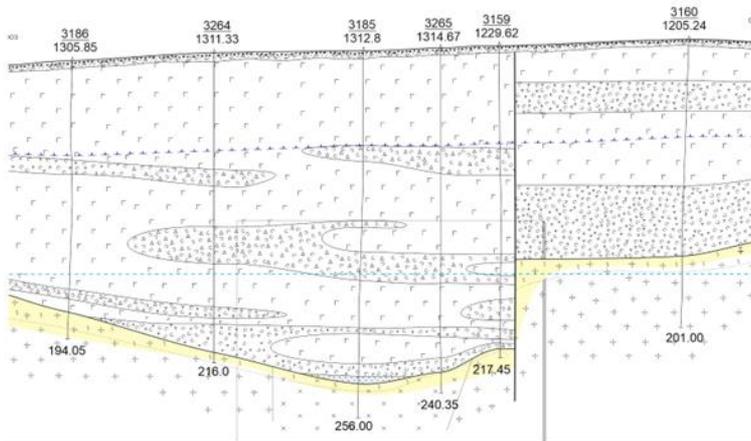
АРМЗ  
РОСАТОМ

# **3. Осветление кристаллических пород и осадочных отложений проявлено во всем геологическом разрезе**

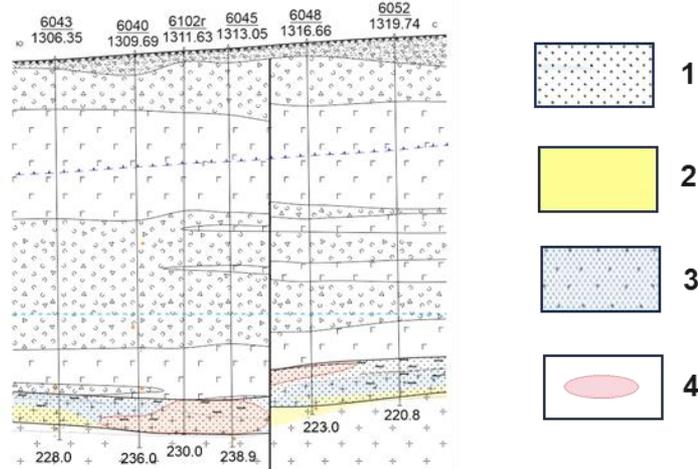
# Сквозное освещение гранитов, аллювиальных отложений, вулканогенно-осадочных образований и базальтов



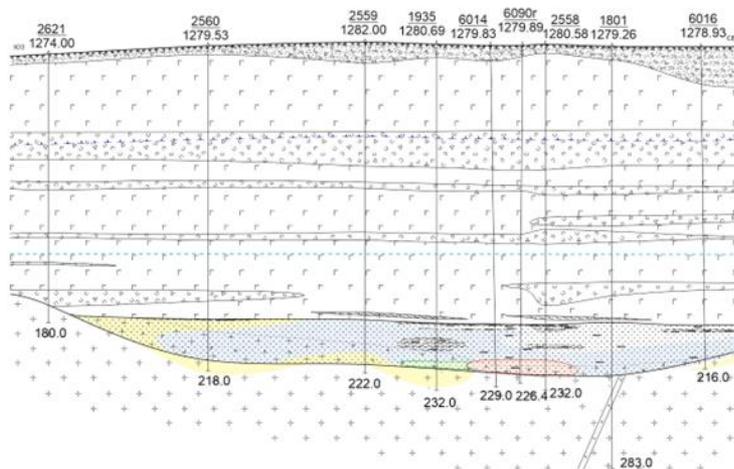
**РЛ 121 (верховье, зона разлома)**



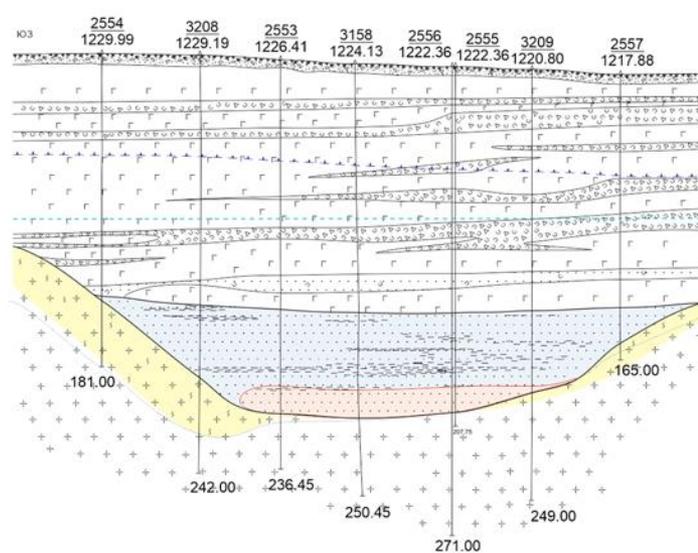
**РЛ 117 (верховье, зона разлома)**



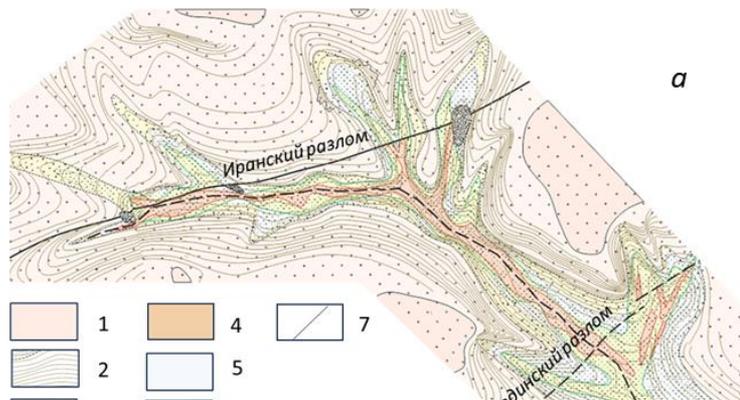
**РЛ 110 (верховье, ниже разлома)**



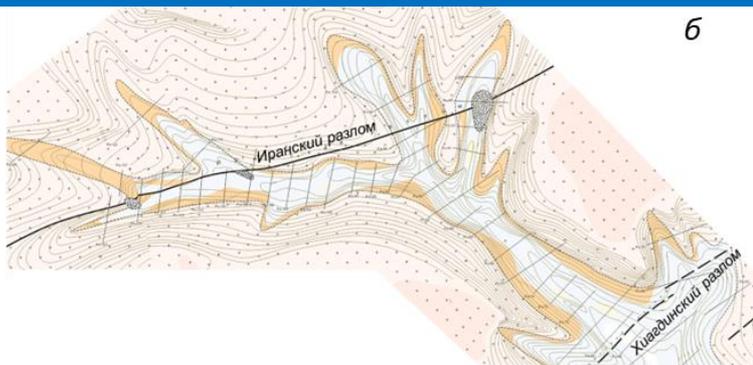
**РЛ 83 (центральная часть палеодолины)**



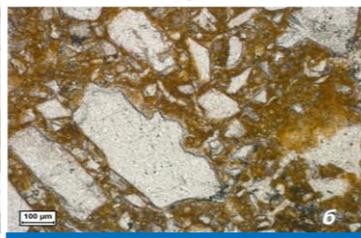
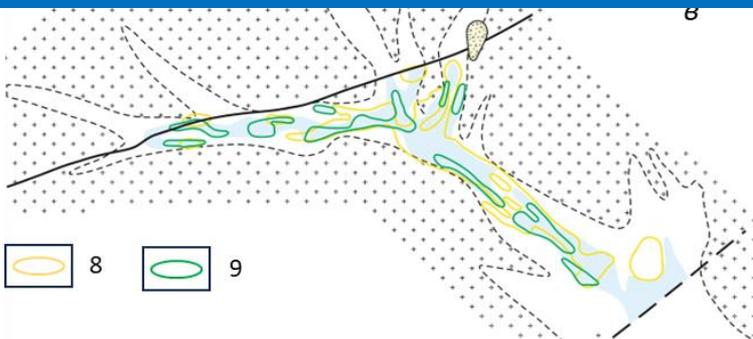
# Осветление отложений в плане и последовательность этого процесса



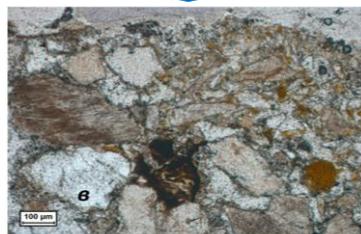
Осветление рудовмещающих отложений



Осветление вулканогенно-осадочной толщи



Восстановленные буроцветы



Обеление



1. Восстановление – подготовительный этап
2. Собственно осветление – выщелачивание углекислотой Fe и петрогенных элементов

Окисление  $O_2 \rightarrow Fe(II)$  до  $Fe(III)$ .  
Локальное образование  $H_2SO_4$

Восстановление H и  $H_2S \rightarrow Fe(III)$  до  $Fe(II)$ .

Выщелачивание  $H_2CO_3 \rightarrow Fe(II)$ , K, Na, Ca, Mn, Si, P.  
Сидеритизация



- 1 Граниты баргузинского и витимканского комплексов – объемный источник урана с содержанием U  $n \cdot 10^{-4}$  %
- 2 Палеодолины и овражно-балочная сеть врезаемые в кристаллический фундамент на склонах поднятий
- 3 Миоценовые ( $N_{2-3}$ ) делювиально-пролювиальные и аллювиальные терригенными отложениями с углефицированными растительными остатками в качестве концентратора урана, заполняющие палеодолины
- 4 Углеводороды нефтяного ряда в почвенном покрове
- 5 Углекислые гидрокарбонатно-магниевые подземные воды с эпигенетическими восстановителями урана в рудоносных горизонтах
- 6 Осветленные вплоть до обеления миоценовые аллювиальные отложения – будущие рудовмещающие

# Выводы



1. На палеодолинных месторождениях витимского типа концентрирование урана происходит в постоянно действующем и неподвижном восстановительном геохимическом барьере.
2. Восстановителями урана выступают сингенетические (углистые растительные остатки) и эпигенетические (сероводород и углеводороды) твердые и растворенные вещества. Вторая группа восстановителей является преобладающей.
3. Эпигенетические восстановители в составе углекислых подземных вод поступают (разгружаются) в рудоносные горизонты по тектонически ослабленным зонам в тальвегах палеодолин в результате восходящего из фундамента потока – эксфильтрации (гидроинжекции).
4. Воздействие эпигенетических восстановителей на терригенные рудовмещающие отложения переводит оксидное железо и марганец в растворимое низковалентное состояние, а выщелачивание этих и других петрогенных элементов углекислыми водами сопровождается осветлением и обелением осадочных пород.
5. Процессы грунтового и пластового окисления являются рудоподготовительными, переводя уран в подвижное состояние и перенося его в растворенном состоянии в область неподвижного восстановительного геохимического барьера – в область концентрирования.
6. Рудоформирующим является постоянный и неподвижный восстановительный геохимический барьер.
7. Палеодолинные месторождения урана витимского типа следует, согласно предложению С.Ф. Винокуров называть «инфильтрационно-эксфильтрационными» [4].
8. Изучение рудообразования и, в частности осветления, на близсовременных месторождениях урана витимского типа позволяет использовать установленные закономерности для реконструкции этого процесса на древних месторождениях урана Урало-Енисейского ураноносного пояса.



АРМЗ  
РОСАТОМ

# Спасибо за внимание

19.11.2024