



АРМЗ  
РОСАТОМ

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МСБ УРАНА, ПРИГОДНОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ СПВ

**Солодов Игорь Николаевич**

Директор программ инновационного и технологического развития  
АО «Атомредметзолото», доктор г.-м. наук

**Василевский Петр Юрьевич**

Начальник лаборатории ВНИПИПТ, кандидат г.-м. наук

**Нестерова Марина Викторовна**

Научный сотрудник ИГЕМ РАН



APM3  
РОСАТОМ

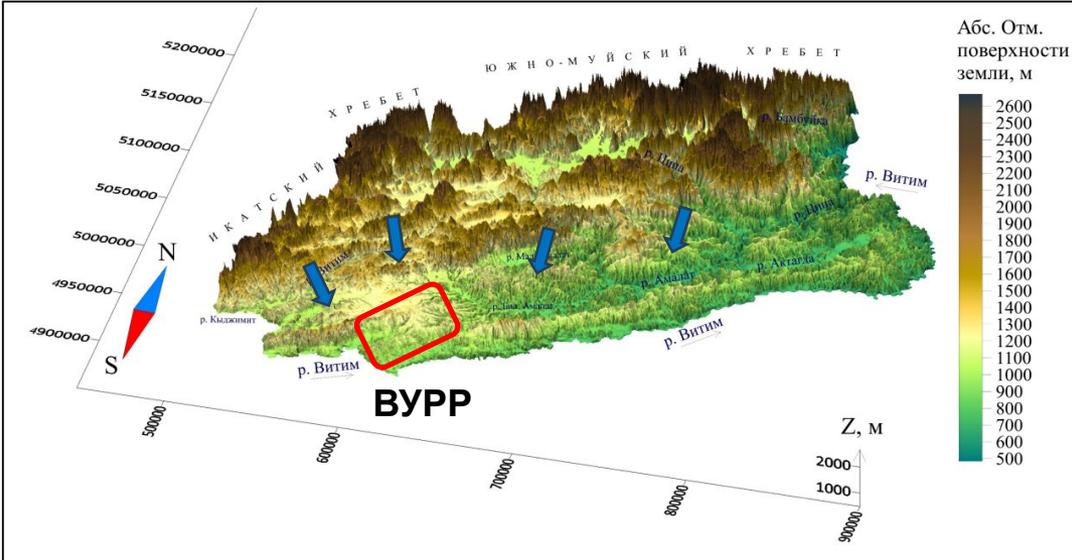
**1.1.**

# **Прогноз добычи урана и обеспеченность запасами АО «Хиагда»**

# Предварительная геофильтрационная модель Витимского УРР (по материалам ВНИПИПТа)

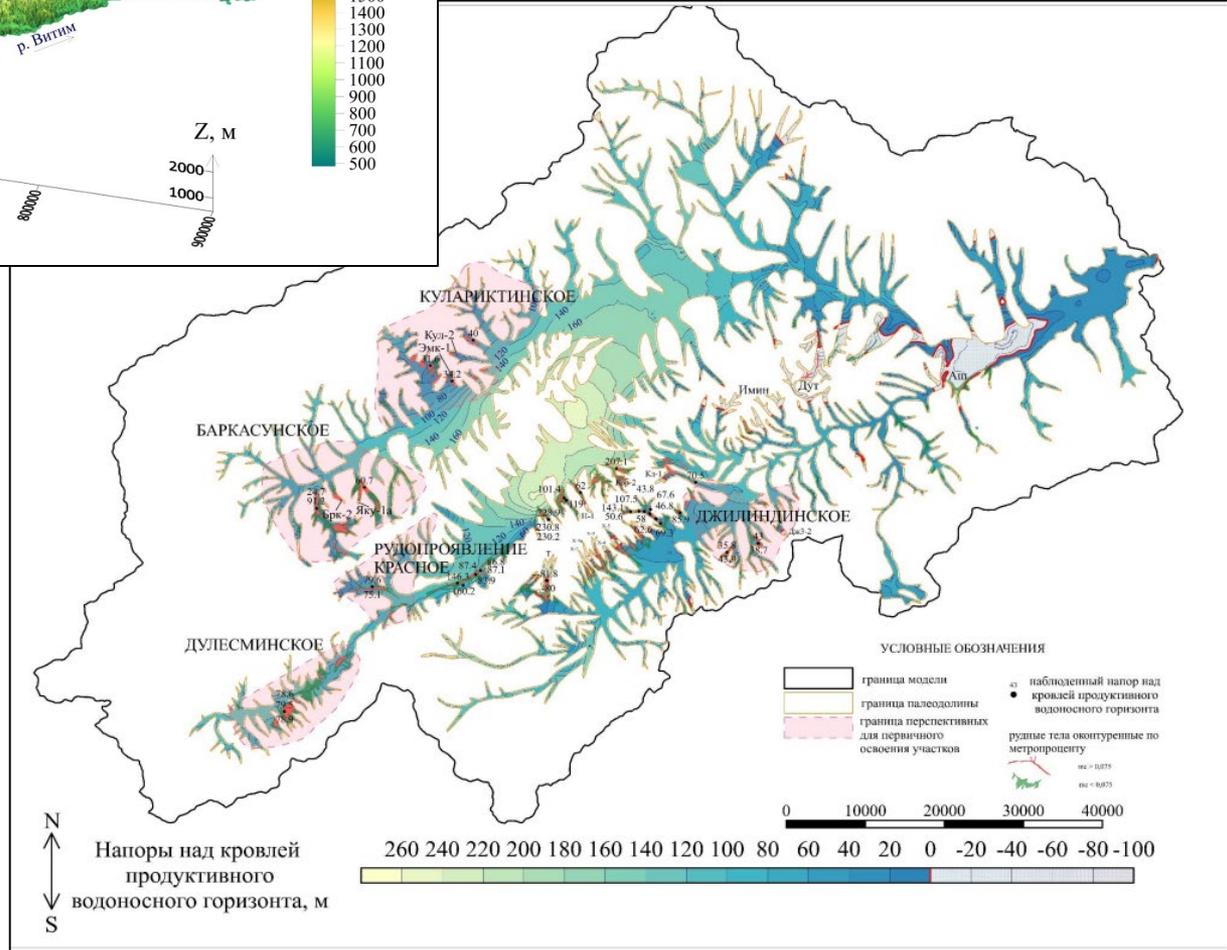


АРМЗ  
РОСАТОМ



**Перспективные участки выделены розовым цветом**

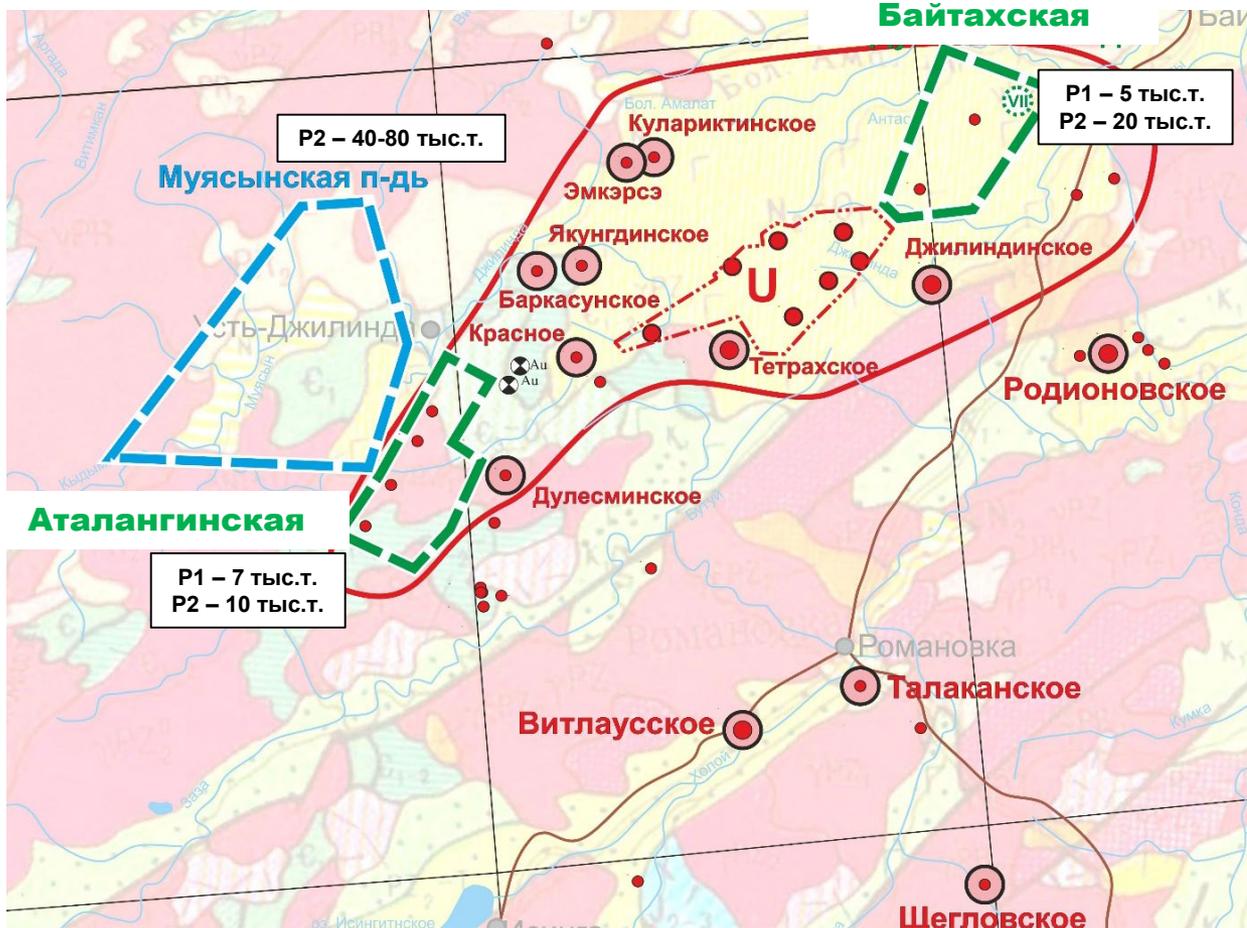
**Перспективные участки – участки рудоносных водоносных горизонтов с напорным режимом фильтрации подземных вод**



# Перспективные площади ГРР на уран в Витимском урановом рудном районе (по материалам ВИМСа)



АРМЗ  
РОСАТОМ



- Витимский УРР
- Хиагдинское РП
- Площади проведения прогнозно-минерагенических работ
- Площади проведения поисковых работ
- Объекты проведения разведочных работ
- Месторождения
- Рудопроявления

**Объекты, подготовленные для проведения разведочных работ:**

Дулесминское, Красное, Баркасунское, Эмкэрсэ, Кулариктинское, Джилдинское

**Площади для проведения поисковых работ:**

Аталангинская, Байтахская

**Площади для проведения прогнозно-минерагенических работ:**  
Муясинская

Витимский УРР может стать главным центром добычи урана России. Возможно существенно увеличить добычные мощности АО «Хиагда» либо создать серию новых предприятий по добыче урана высокотехнологичным способом СПВ

# Ресурсы и запасы



ДАЛУР  
РОСАТОМ

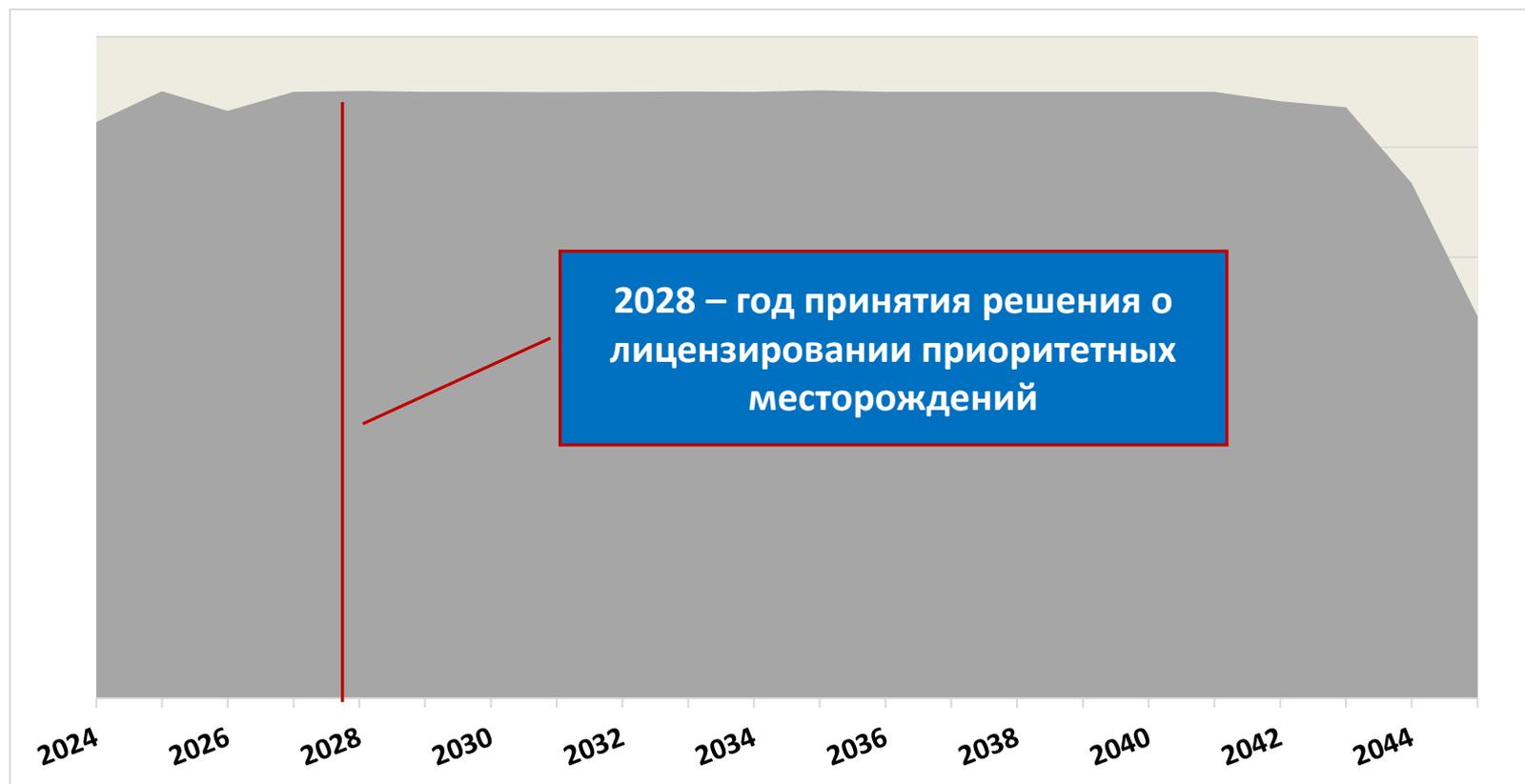
Рудное поле	Месторождение (в отработке СПВ)	Месторождение, палеодолина, площадь (перспективные)	Исходные ресурсы и запасы, т				Остаточные ресурсы и запасы (на 01.01.2024) по форме 5ГР			
			P2	P1	C2	C1	P1	C2	C1	
Хиагдинское	Хиагдинское				3983	6866		3085	509	
	Вершинное				273	4304		273	994	
	Источное				711	1344		428	615	
	Колчанское				2411	4119		2411	4119	
	Дыбынское				1164	5470		1164	5470	
		Тетрахское				6121			6121	
		Кореткондинское				1203	3518		1203	3518
		Намаруское				1584	4536		1584	4536
					Итого			<b>16269</b>	<b>19761</b>	
Кулариктинское		Эмкарсэ-1			1900			1900		
		Эмкарсэ-4			275			275		
		Эмкарсэ-5			1678			1678		
		Эмкарсэ-7			562			562		
		Кулариктинская-1			260			260		
		Кулариктинская-2			224			224		
		Кулариктинская-3			852			852		
Баркасунское		Баркасунская-1			1711			1711		
		Баркасунская-1а			4316			4316		
		Баркасунская-1б			1130			1130		
		Баркасунская-2			439			439		
		Якунгдинская-1			1532			1532		
Дулесминское		Дулесминская			2496			2496		
		Стволовая Аталангинская			1130			1130		
		Сангурокская			227			227		
		Красная-1			3668			3668		
		Эрен аталангинская			167			167		
Джилиндинское		Джилиндинская-1			1548					
		Джилиндинская-6			399			399		
		Олон-Джилиндинская-1			338			338		
Перспективные площади		Муясынская	40000							
		Аталангинская	10000	7000				7000		
		Байтахская	20000	5000				5000		
<b>Итого</b>			<b>70000</b>	<b>35304</b>	<b>18998</b>	<b>30157</b>	<b>35304</b>	<b>32538</b>	<b>39522</b>	
<b>Всего</b>			<b>154459</b>				<b>107364</b>			

1. После 2032 г начинается падение производства урана
2. Рудопроявления:  
Осиновское (P2 6000 т, 750 м), Рижское (P1 471 т), Шумихинское, Курганское, Лопаткинское, Ялымское, Приютное, Руслово, Камышное
3. Наиболее перспективные месторождения в Казахстане – Тобольское и Тенизское

# Добыча урана в АО «Хиагда» в 2021-2045гг.



ДАЛУР  
РОСАТОМ



В 2030 году необходимо принять решение о лицензировании перспективных участков, проведении ГРП и строительстве предприятий СПВ



APM3  
РОСАТОМ

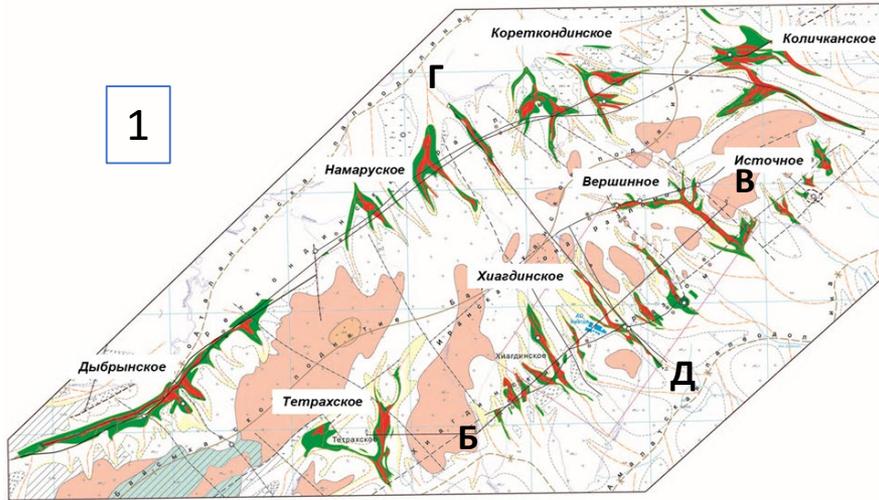
**1.2.**

# **Новые представления о происхождении урановых месторождений Хиагдинского рудного поля Витимского УРР**

# Хиагдинское рудное поле



АРМЗ  
РОСАТОМ



1

- Неогенные образования**
1. Базальты массивные и пористые.
  2. Туфы, туфобрекчи.
- Породы фундамента неогеновых образований**
- Лейкокраповые и биотитовые граниты, диориты, грано-сиениты витимканского интрузивного комплекса (gPZ, v).
  - Гнейсовидные граниты, гранодиориты баргузинского интрузивного комплекса (gPR, b).
- Тектонические нарушения, установленные в неогене (1) и в фундаменте (2), предполагаемые в неогене (3) и в фундаменте (4).**
- ① Номера палеодолин.

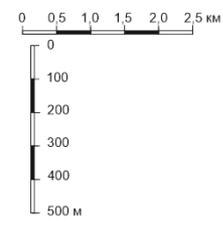
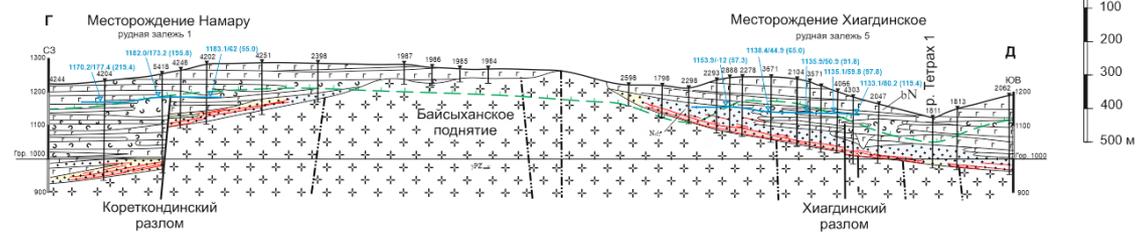
- 2316  
1 Проекции буровых скважин на вертикальную плоскость, их номера.
- 1 — Рудные тела, оконтуренные по бортовому содержанию урана 0,01% с метропроцентом:  
2 — 1 - менее 0,075 м%, 2 - более 0,075 м%
- 1 2 3 Геохимический характер осадков: 1-первично-сероцветные; 2 - полуокисленные (обеленные); 3 - окисленные (лимонитизированные).
- Граница многолетнемерзлых пород (бергштрих направлен в сторону мерзлой толщи).
- Уровень порово-пластовых вод в рудоносных палеодолинах:  
1134,0/62,7 (117,0) - абсолютная отметка уровня подземных вод; 62,7 - напор на кровлю продуктивного горизонта; 117,0 - напор на кровлю рудного тела.
- РСО, РСЦЛ  
МР31/М+К31/САТ  
Сведения о химическом составе порово-пластовых вод

Масштаб горизонтальный 1:50000  
вертикальный 1:10000

2

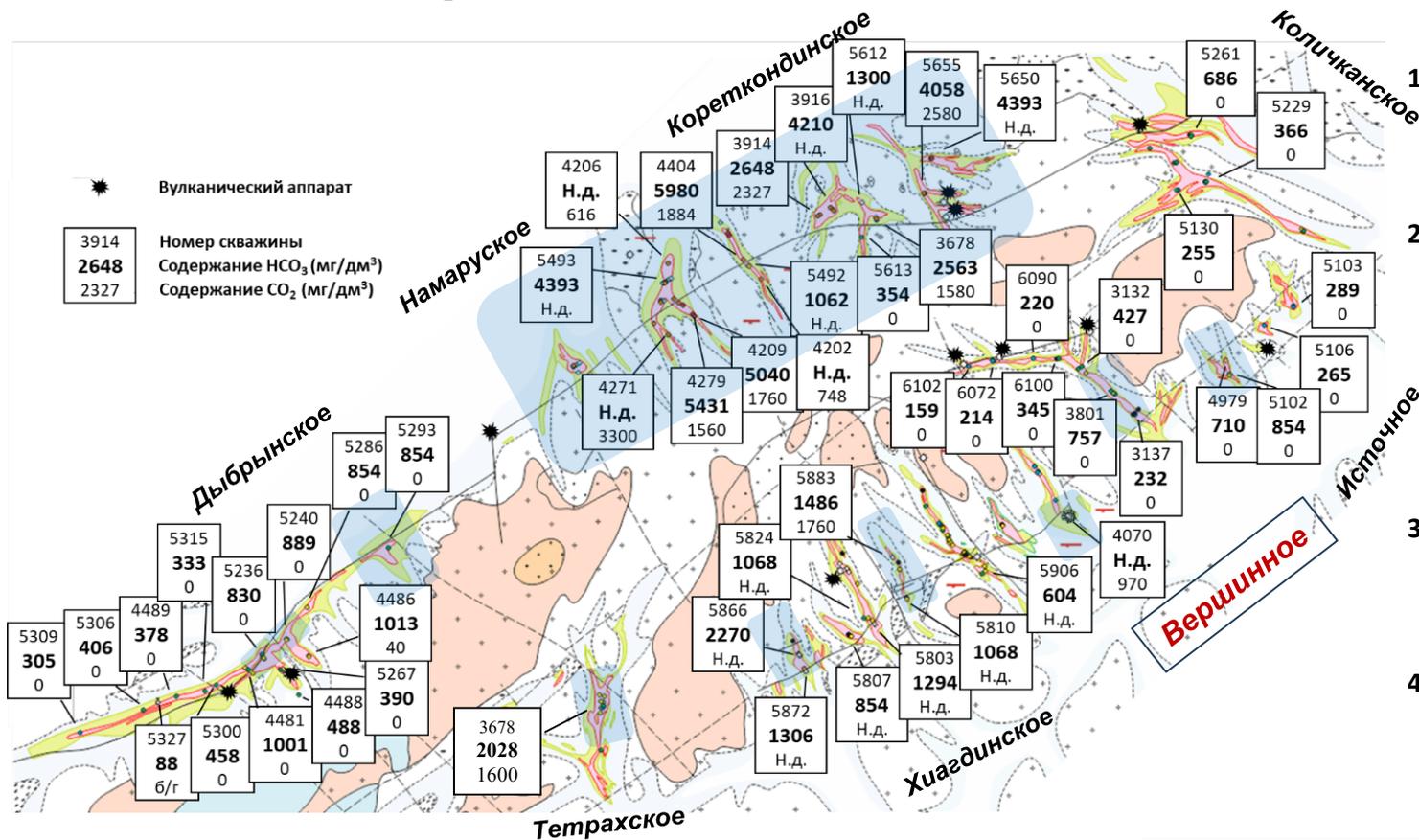


3

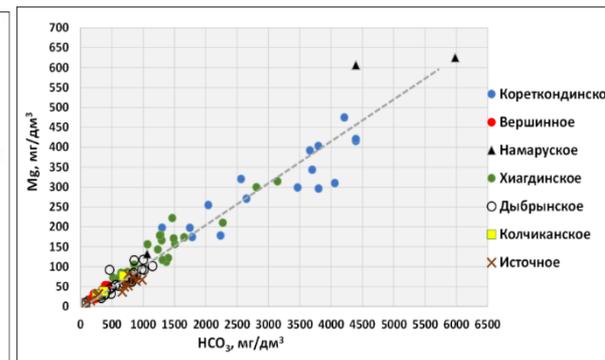
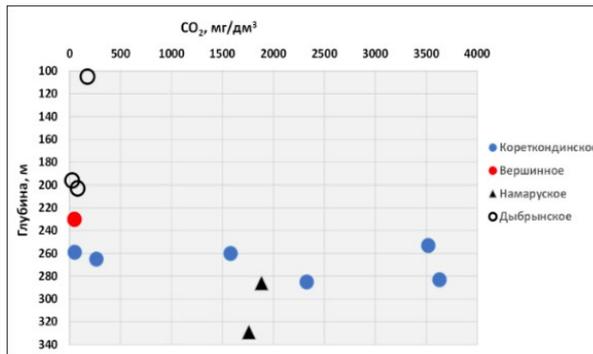
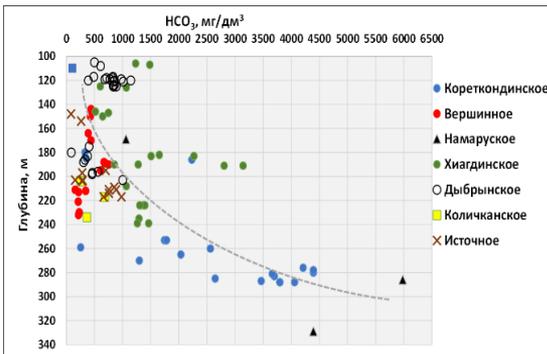


1. Байсыханское поднятие – урановые месторождения Хиагдинского рудного поля
2. Геолого-гидрогеологический разрез Б-В через речные палеодолины, заполненные осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями, в Ю-В части поднятия
3. Геолого-гидрогеологический разрез Г-Д через Байсыханское поднятие

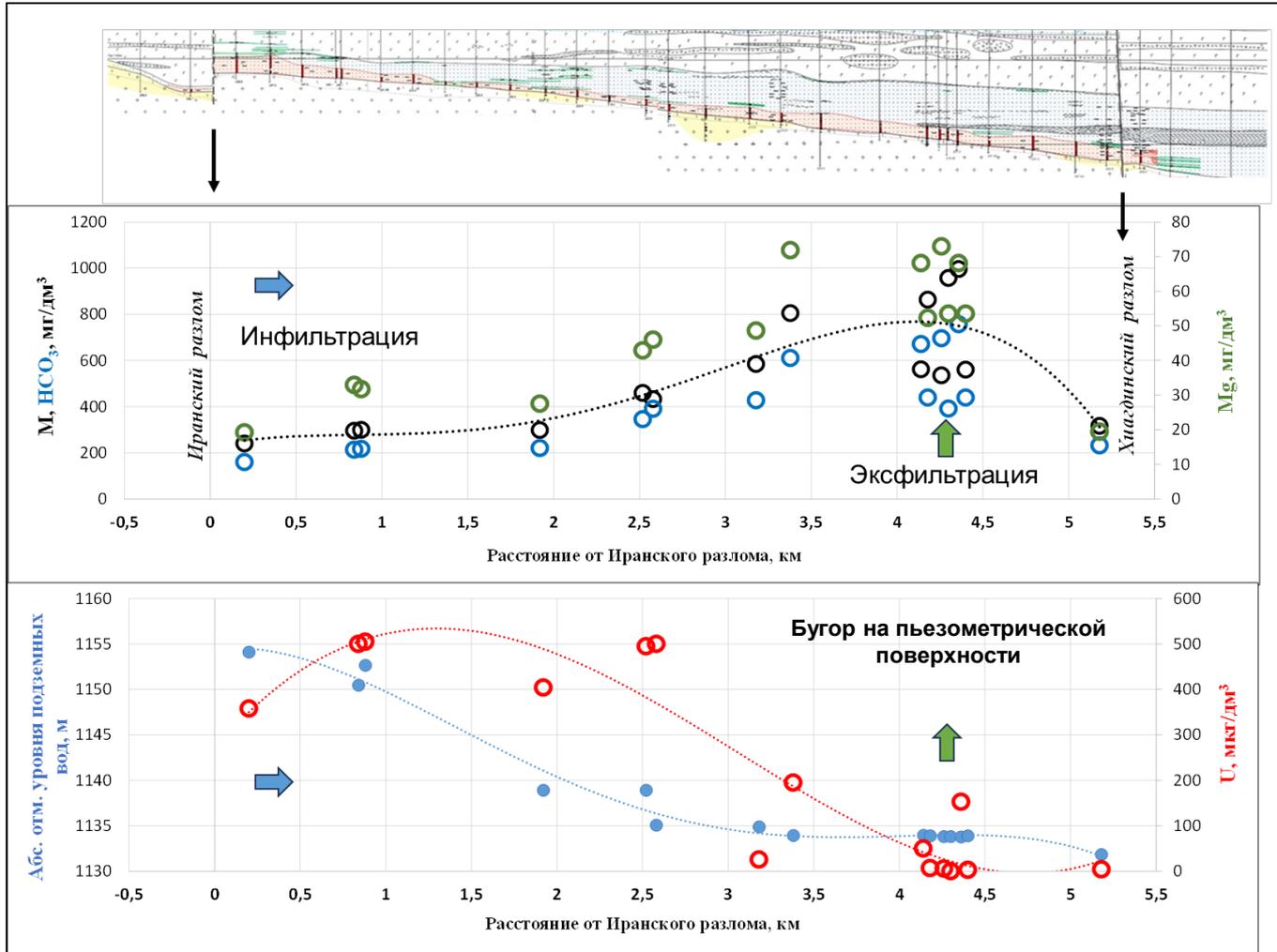
# Распространенность углекислых подземных вод на месторождениях ХРП



1. Байсыханское поднятие – часть Забайкальской провинции холодных углекислых подземных вод
2. Углекислые  $\text{HCO}_3^-$ -Mg подземные воды – метаморфогенные – процесс гранитизации, начавшейся в позднем палеозое и продолжающимся до сих пор
3. Содержание  $\text{CO}_2$  и  $\text{HCO}_3^-$  закономерно возрастают с увеличением глубины залегания подземных вод
4. Эксфильтрация предсказана по идеальной прямой зависимостью Mg от  $\text{HCO}_3^-$



# Гидродинамические и гидрогеохимические доказательства существования современной эксфильтрации углекислых подземных вод



1. Гидрогеологическими методами выявлены гидродинамическая и гидрогеохимическая аномалии
2. Гидродинамика: в зоне восстановительного геохимического барьера выполаживается пьезометрическая поверхность и формируется небольшой бугор
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

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



АРМЗ  
РОСАТОМ

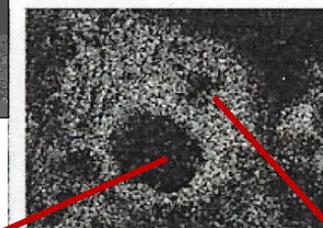
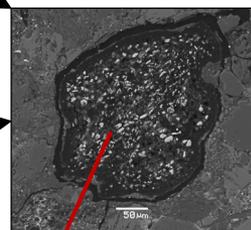


АРМЗ  
РОСАТОМ

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



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



**Углеродистое вещество**

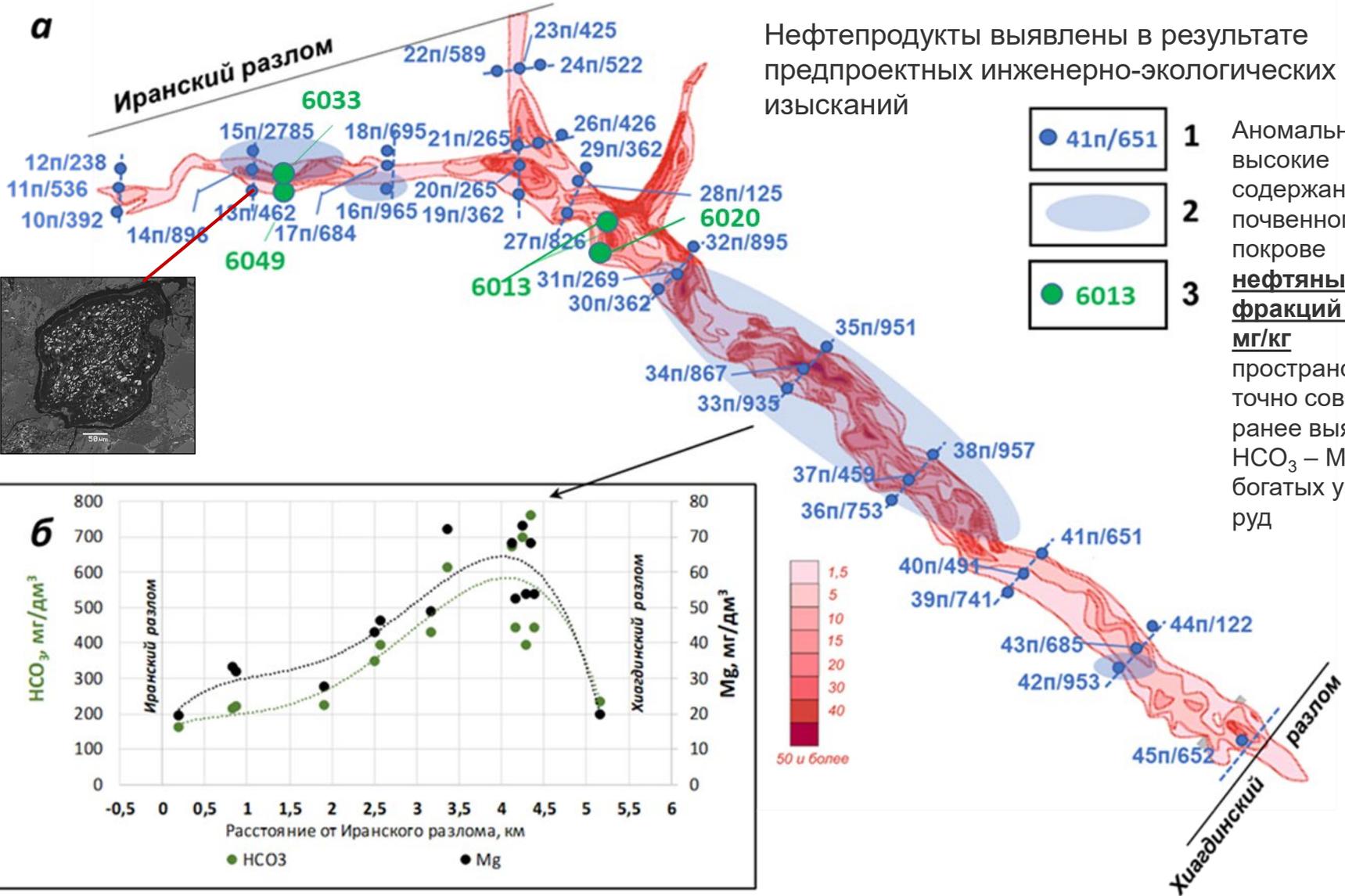
**Фосфаты U(IV)**

# Вершинное (нефть в почвах)

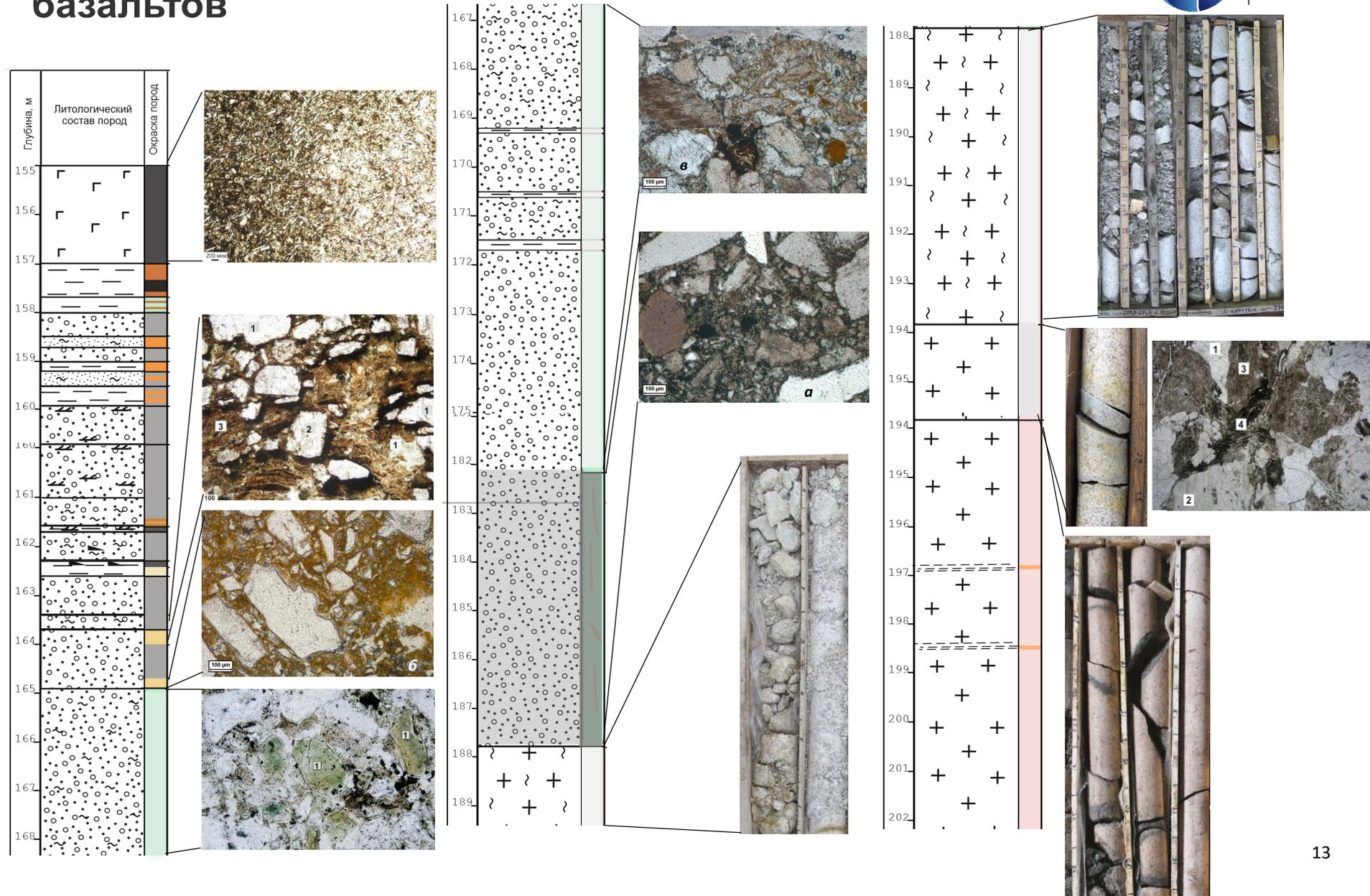


АРМЗ  
РОСАТОМ

а



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



# Исходные и измененные граниты ВИТИМКАНСКОГО КОМПЛЕКСА



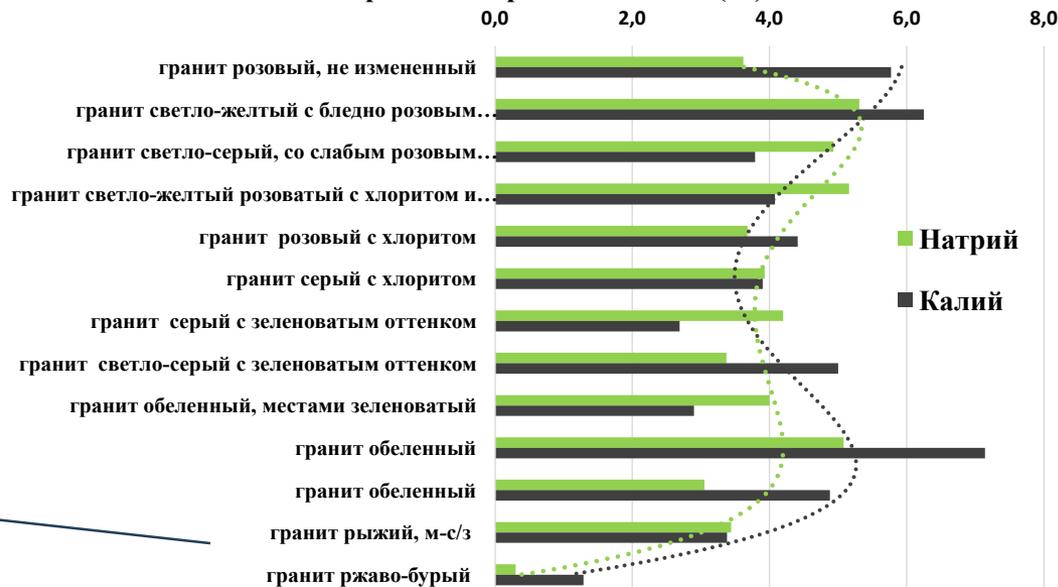
АРМЗ  
РОСАТОМ

Содержание в гранитах U (ppm)



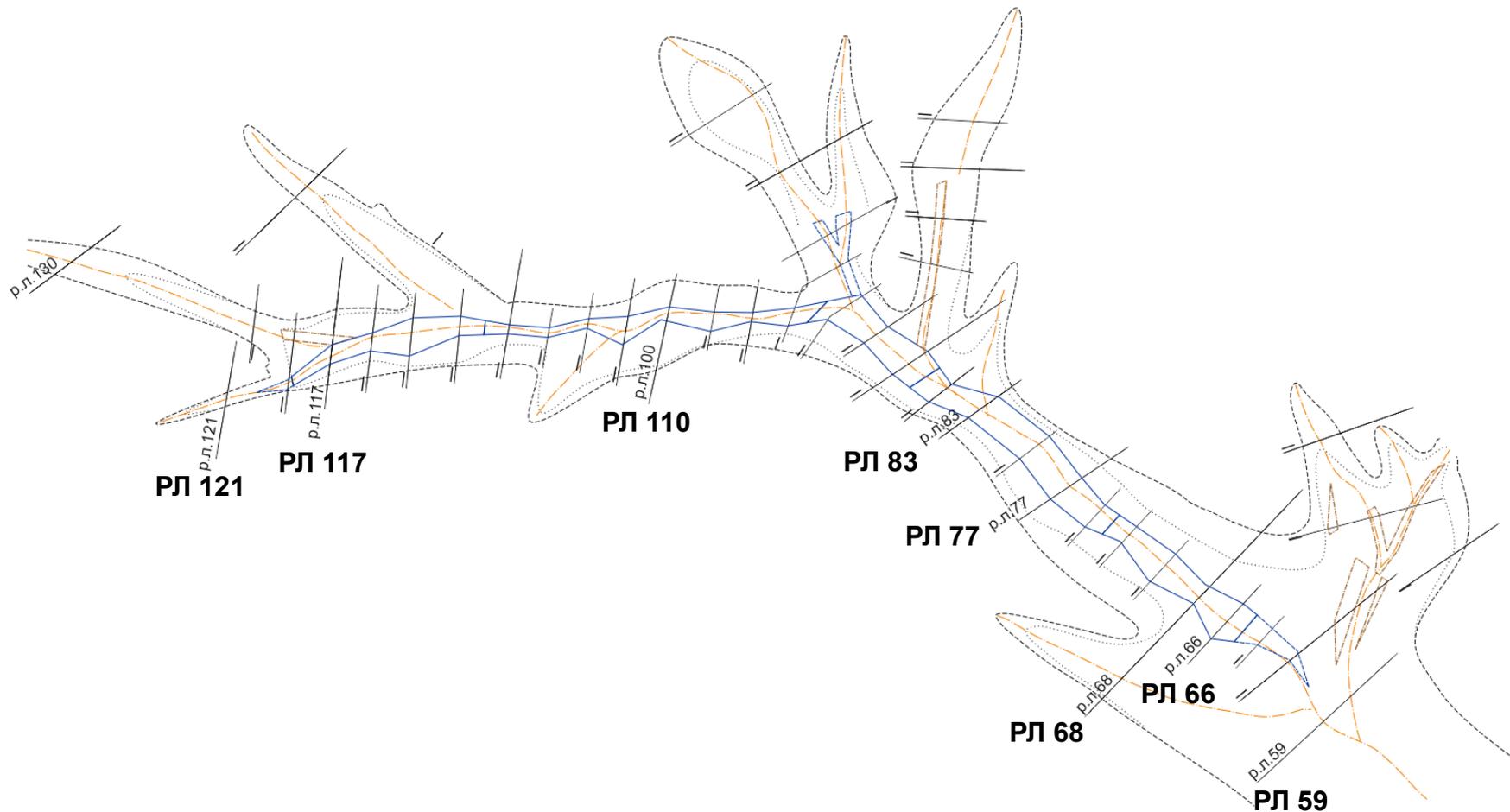
**Березитизация и  
хлоритизация**

Содержание в гранитах Na и K (%)



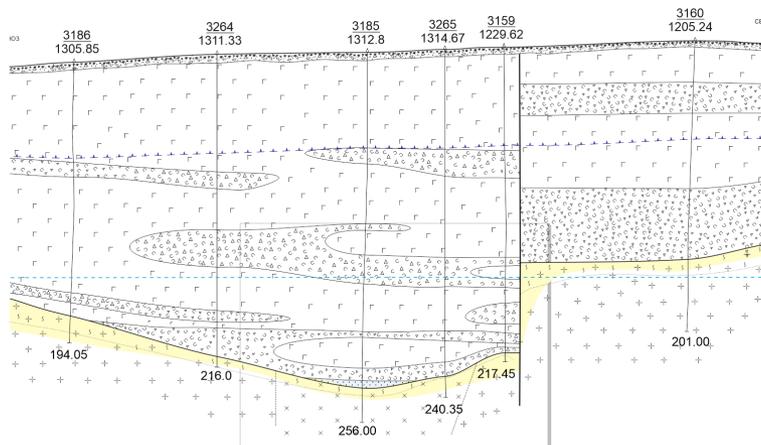
**Начальные глинистые  
изменения**

# Разведочные линии, выбранные в качестве примера обеления рудоносных отложений

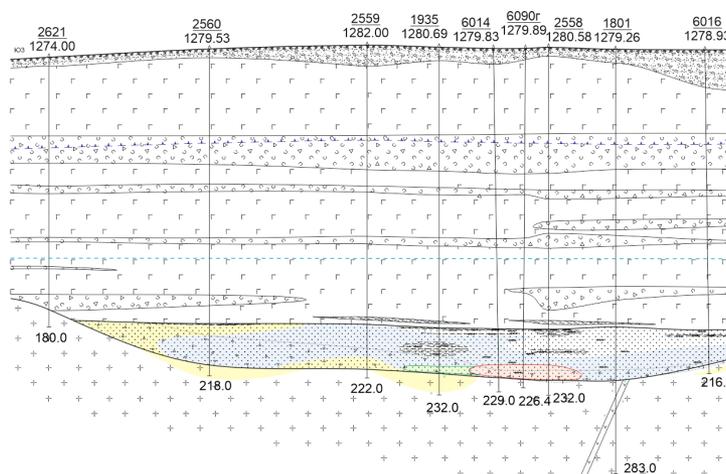




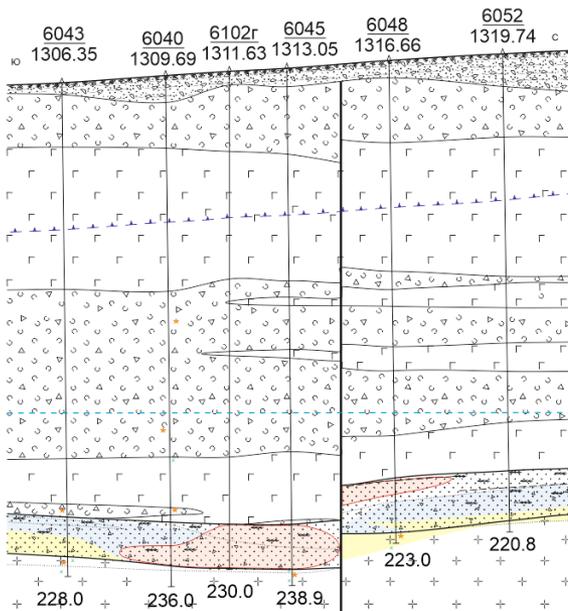
## РЛ 121 (верховье, выше разлома)



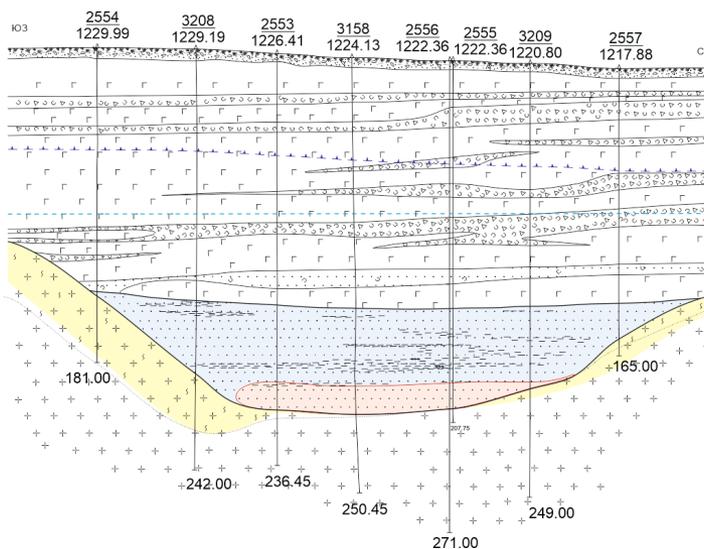
## РЛ 100 (верховье)



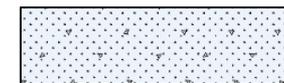
## РЛ 117 (верховье зона разлома)



## РЛ 83 (центральная часть залежи В1)

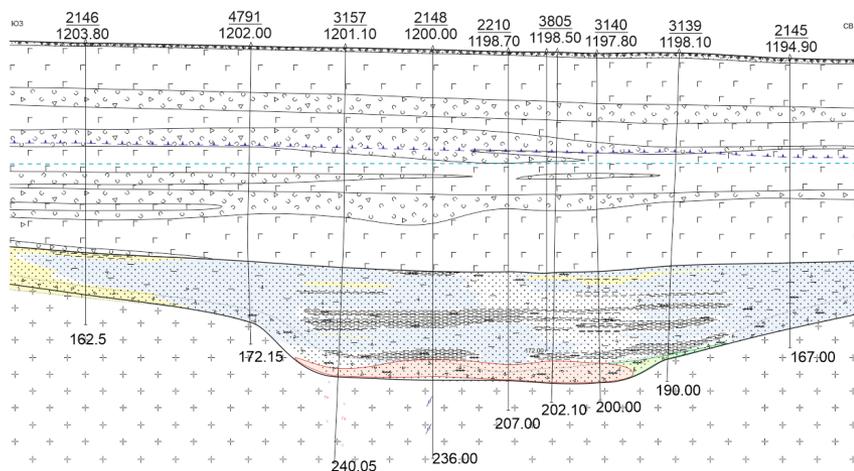


**Освещение**

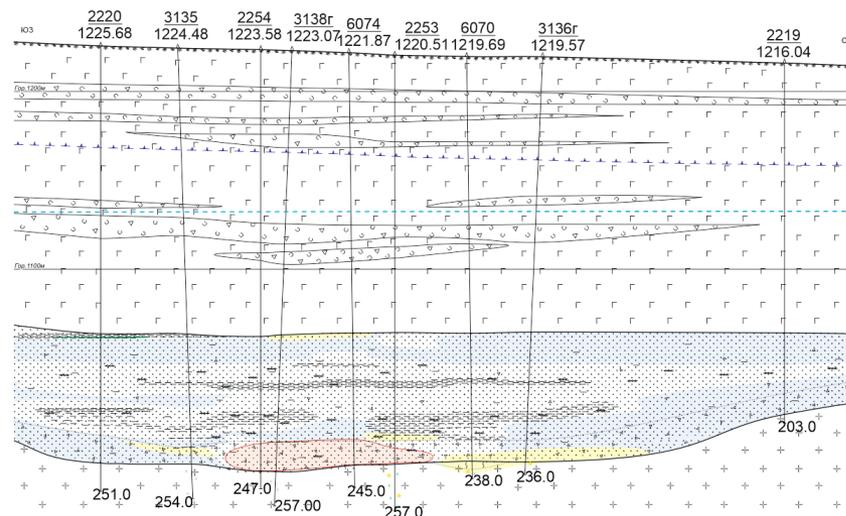




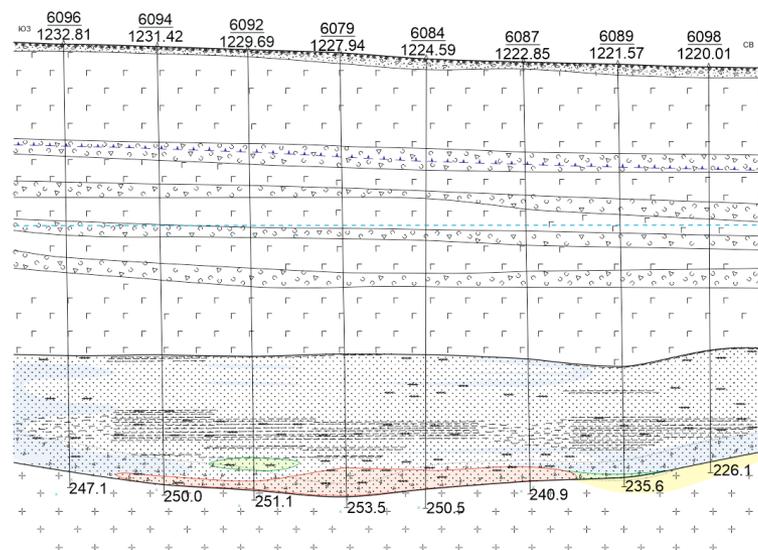
### РЛ 77 (центральная часть)



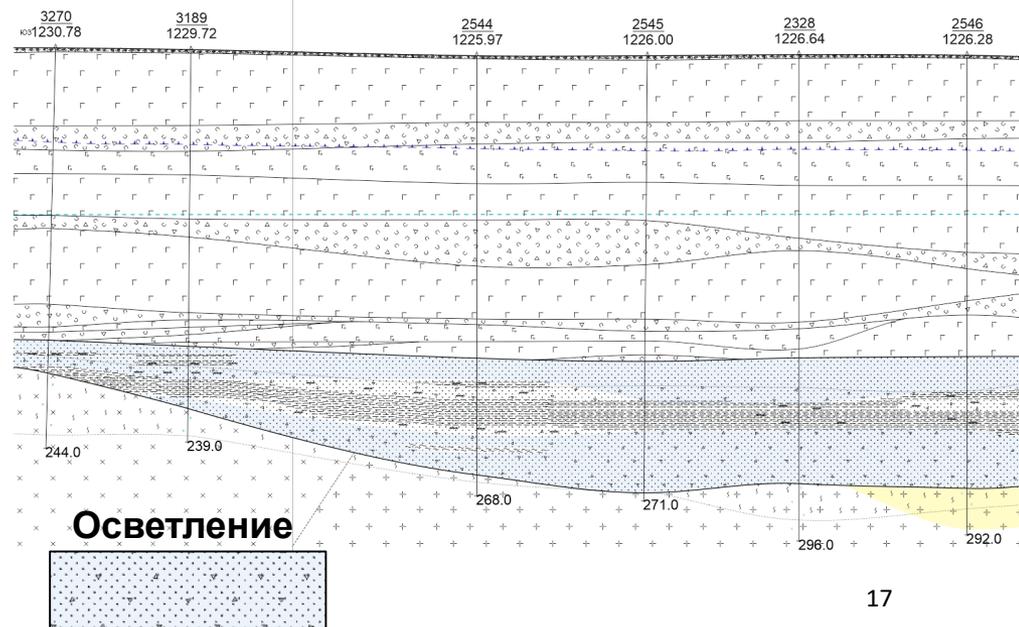
### РЛ 68 (низовье, выше разлома)



### РЛ 66 (низовье, зона разлома)



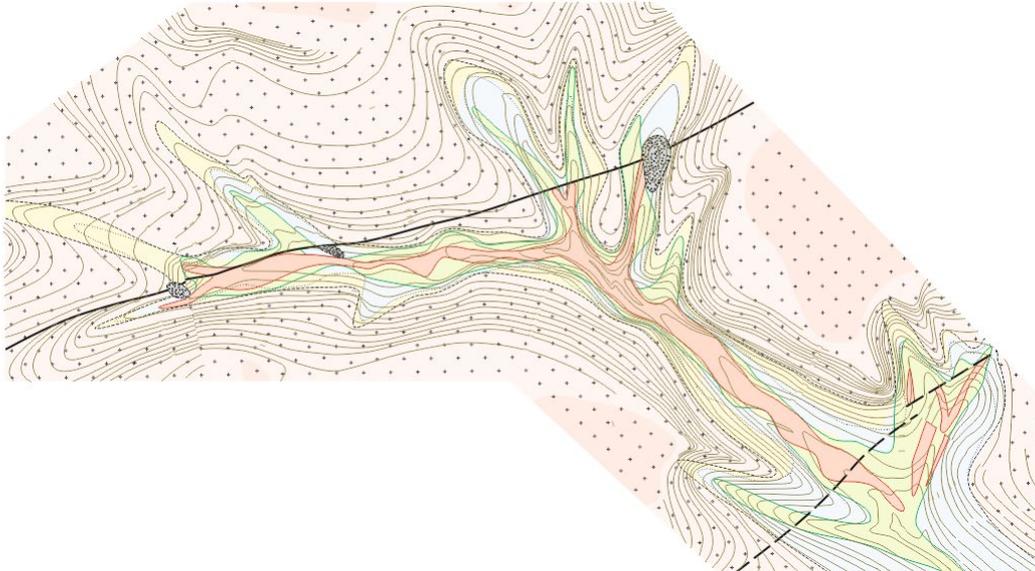
### РЛ 59 (низовье, ниже разлома)



# Осветление рудовмещающих отложений в речных палеодолинах месторождения Вершинное

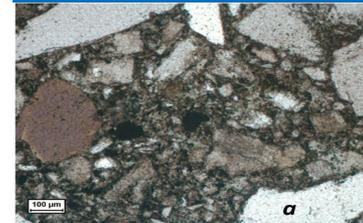
## Последовательность преобразования рудоносных отложений

Пространственная ассоциация рудного тела, окисленных и обеленных отложений в нижней джилдиндинской подсите

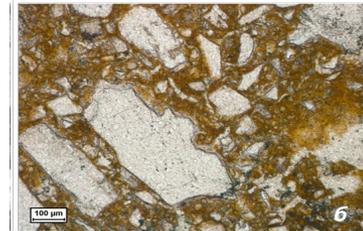


- ✓ Восстановительный эпигенез – **причина** – подготовительный этап перевода желтых песков в серые
- ✓ Выщелачивание углекислотой – **следствие** – осветление и обеление рудовмещающих отложений

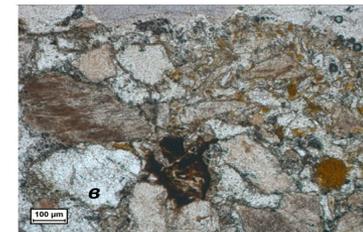
Первично восстановленные



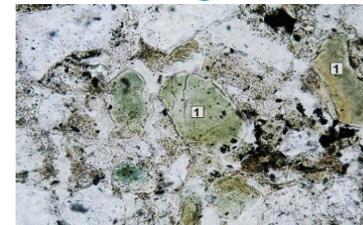
Окисление



Вторичное восстановление



Обеление

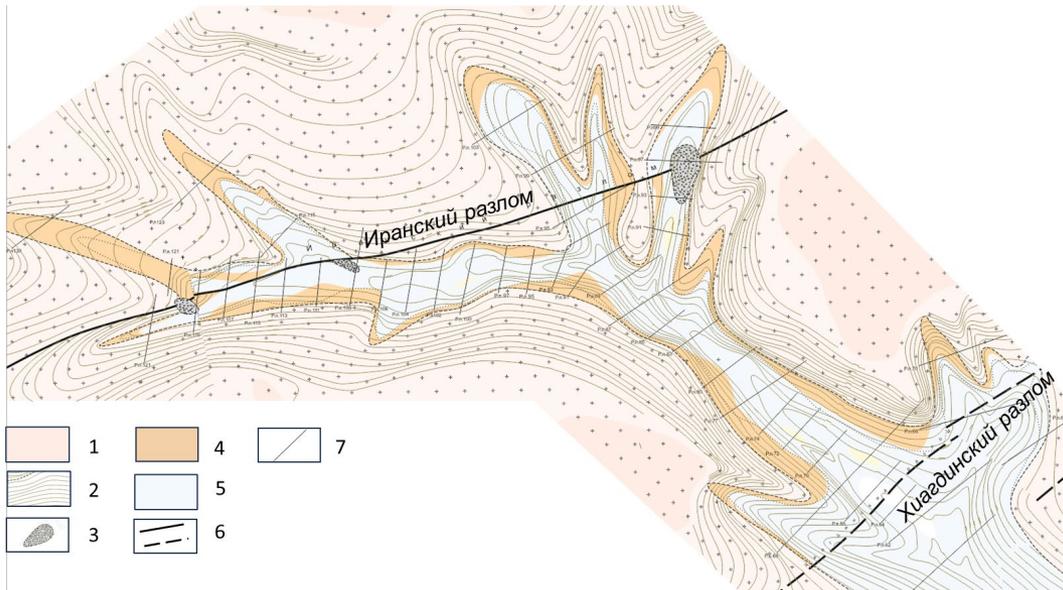


Окисление  $O_2 \rightarrow Fe(II) \rightarrow Fe(III)$ .  
Локальное образование  $H_2SO_4$

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

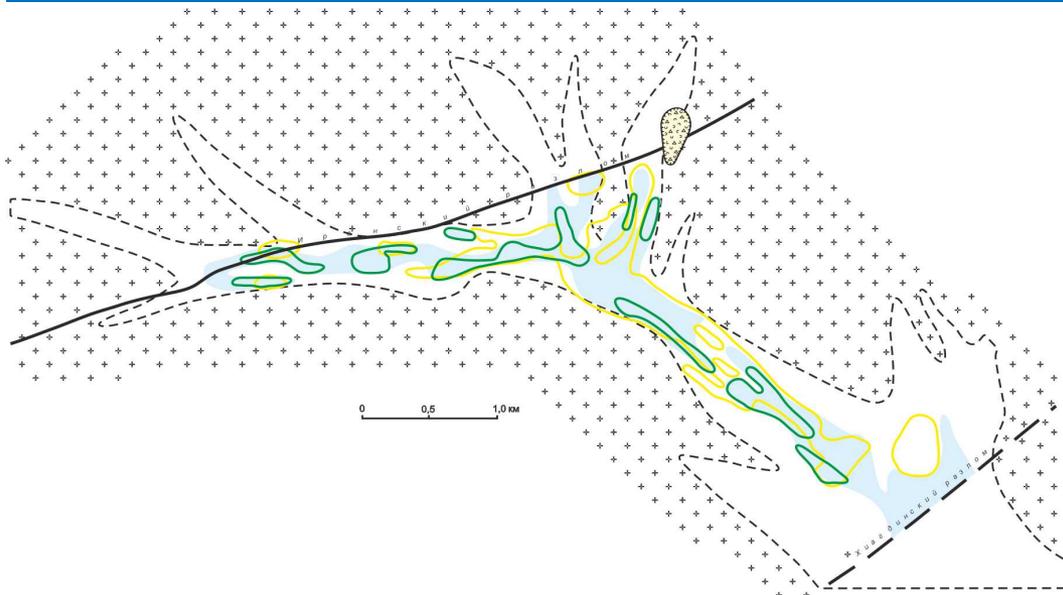
Выщелачивание  $H_2CO_3 \rightarrow Fe(II)$ ,  
K, Na, Ca, Mn,  
Si, P.  
Сидеритизация

## Осветление рудоносных отложений в тальвеге оврагов

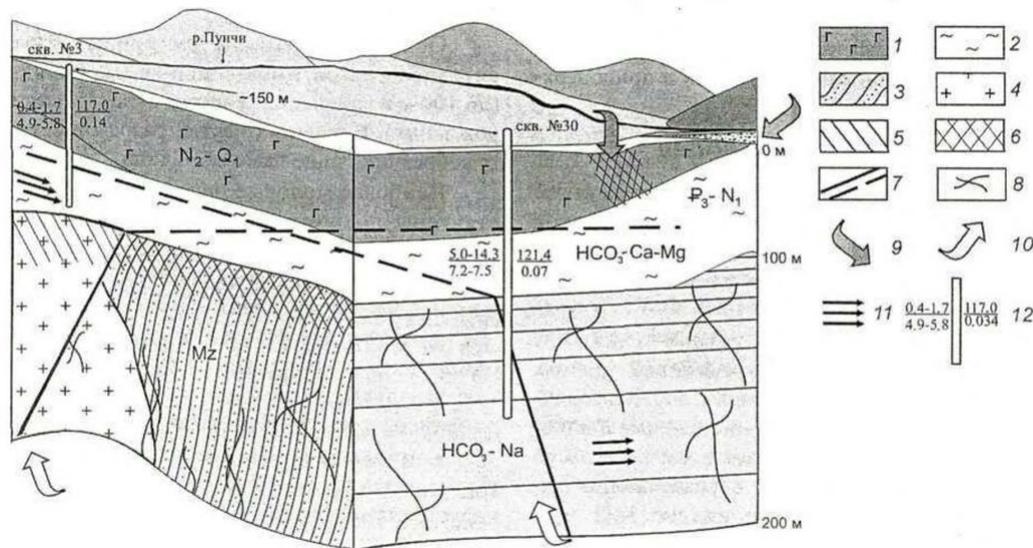


АРМЗ  
РОСАТОМ

## Осветление вулканогенно-садочной толщи верхней джилдинской подсвиты и рудопроявления урана



# Месторождение холодных углекислых минеральных вод месторождение Мухен (Хабаровский край) – геохимический аналог месторождений ХРП (по материалам Н.А.Харитоновой)



6. Физико-химическое моделирование показало, что  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  воды недосыщены по отношению ко всем карбонатным минералам **за исключением сидерита** (индекс насыщения кальцита (-2.5), арагонита (-2.6), доломита (-4.4), сидерита (0.7), стронцианита (-3.5)), гипса (индекс насыщения -3.6), (-3.6)), а также к плагиоклазам (индекс насыщения анортита (-5.7) и альбита (-2.0)), калиевому полевому шпату (-1.4), пересыщены кварцем (1.1) и глинистыми минералами (индекс насыщения каолинита - (7.9). Пересыщение по отношению к сидериту связано с высоким содержанием двухвалентного железа

1. Аналогичное геологическое строение месторождения Мухен – гранитный фундамент, водоносный горизонт сложен миоценовыми песчано-гравийными щебенистыми отложениями, сверху перекрытые базальтами
2. Тип месторождения – гидроинжекционный (эксфильтрационный)
3. Аналогичный химический состав подземных вод –  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ; минерализация до 1,7 г/л; повышенные содержания  $\text{Fe}^{2+}$  (до 13 мг/л),  $\text{Mn}^{2+}$  (до 0.6 мг/л),  $\text{Ba}^{2+}$  (до 0.2 мг/л),  $\text{SiO}_2$  (около 80 мг/л).
4. Осветление отложений водоносного горизонта
5. Результаты термодинамических расчетов: минеральные воды неравновесны к исходным породам и находятся в равновесии с глинистыми минералами; воды находятся на этапе первичного накопления Ca в воде и источником этого элемента являются кальцийсодержащие минералы водовмещающих пород; кремнезем удаляется из воды путем осаждения вторичного кварца, который заполняет трещины водовмещающих пород

# Программа научного сопровождения ГРР на месторождении Тетрахское

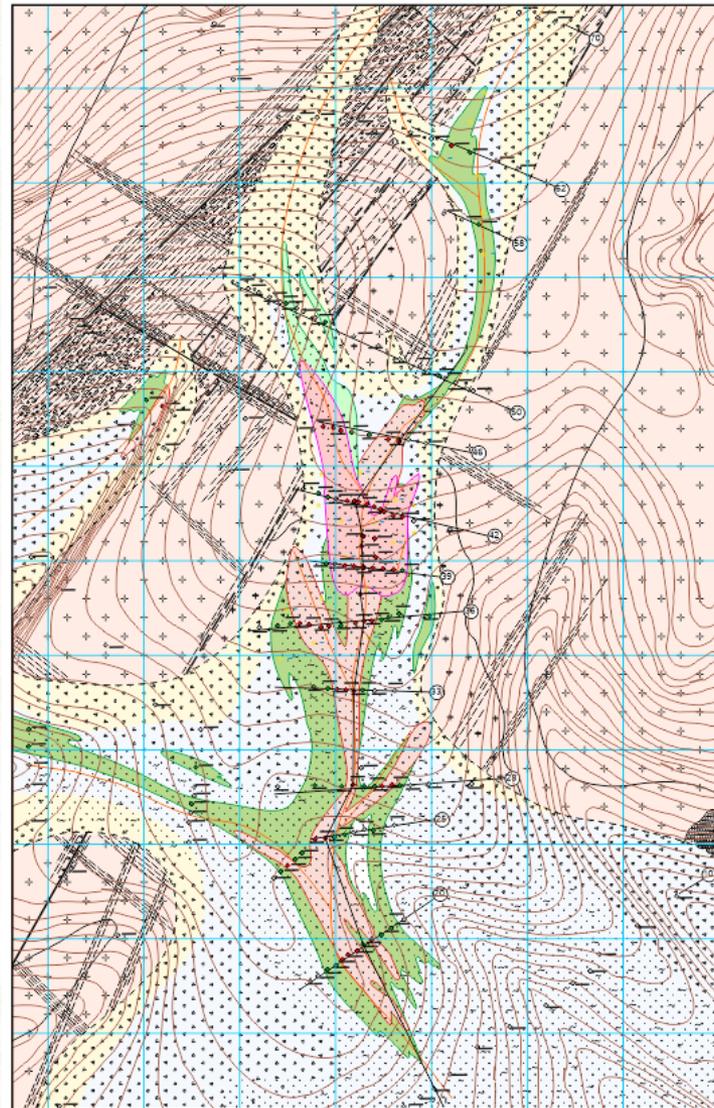


АРМЗ  
РОСАТОМ

## Карта рудоносности



## Геолого-структурная карта



- ❑ Месторождение представлено самой крупной рудной залежью Т1+Т1а
- ❑ [Залежь Т1 на поисковой стадии разведана сетью скважин 500-250 x 100-50 м
- ❑ Примыкающая к ней боковая залежь Т1а разведана по сети 570 x 50 м.
- ❑ Всего на месторождении пробурена 201 скважина общим объемом 32943 п.м.
- ❑ Созданная разведочная сеть скважин 600-250 x 100-25 м позволяет квалифицировать подсчитанные запасы по категории С<sub>2</sub>.
- ❑ В рамках подготовки ТЭО районных кондиций запасы урана переоценены и в авторском варианте по категории С<sub>2</sub> и составляют 6121 т (при бортовом mC ≥ 0,075 м%).



АРМЗ  
РОСАТОМ

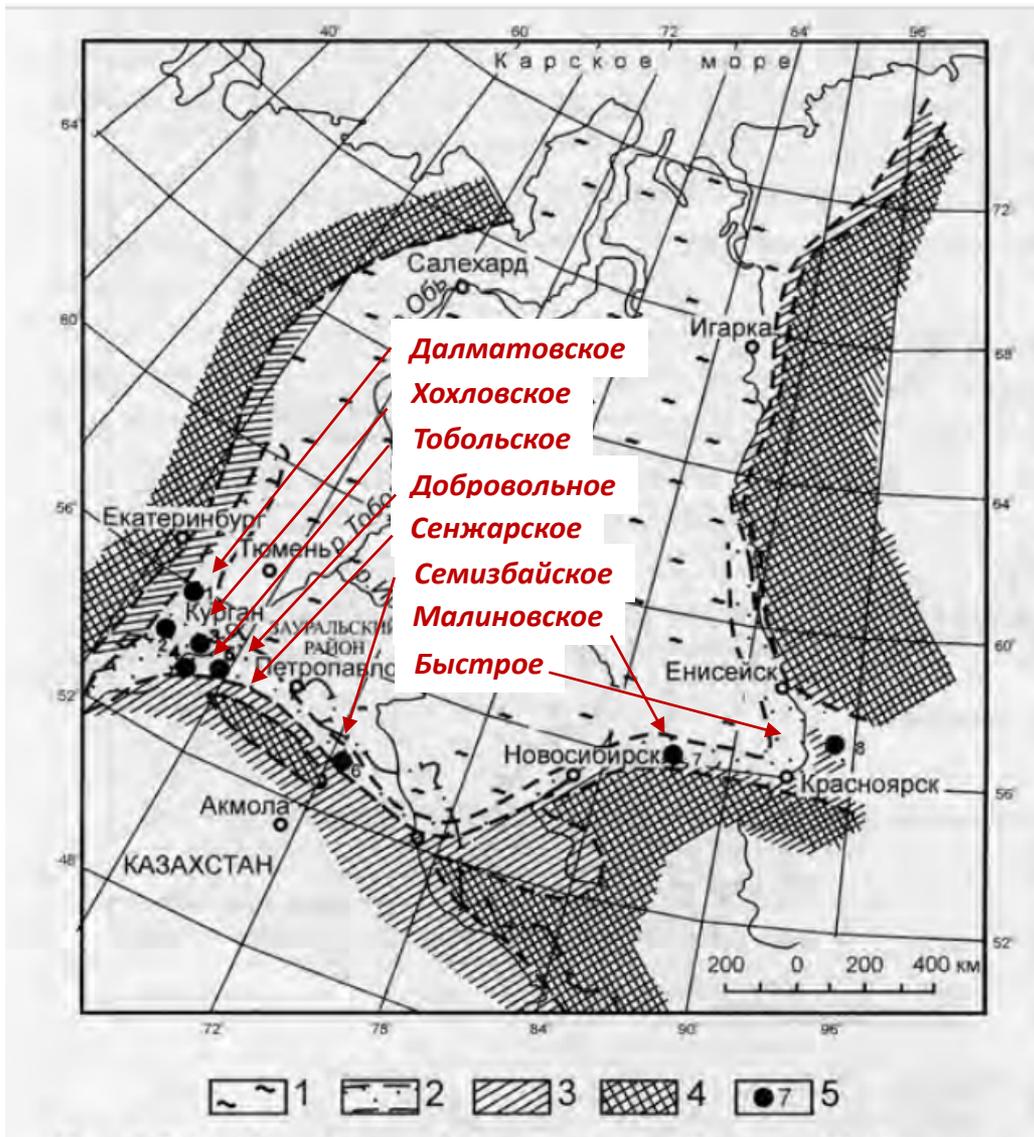
**1.3.**

**Мезозойские месторождения  
урана палеодолинного типа –  
геохимические аналоги  
месторождений ВУРР**

# Урало-Енисейский ураноносный пояс



АРМЗ  
РОСАТОМ

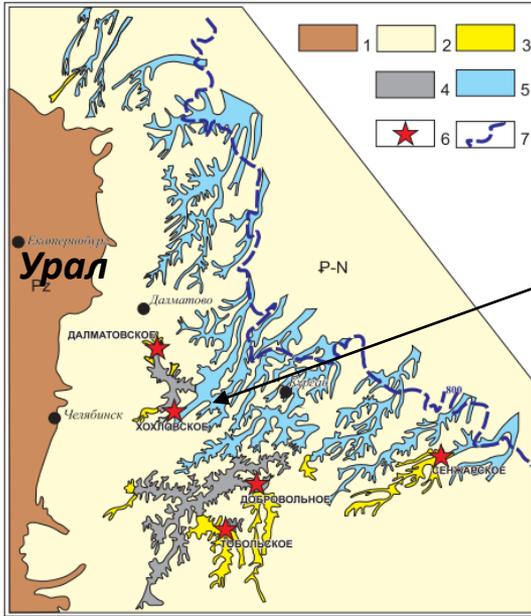


- Исследованиями Винокурова С.Ф., Кондратьевой И.А., Нестеровой М.В., Расуловой С.Д., Коченова А.В., Данковцева Р.Ф., Халезова А.Б., Лучинина И.Л., Мезенова И.А., Долбилина С.И. и др. установлено, но на всех месторождениях Урало-Енисейского ураноносного пояса имеет место осветление и обеление пород фундамента в зонах тектонических нарушений и рудовмещающих аллювиальных отложений, аналогичных изменениям на близосовременных урановых месторождениях Витима
- Необходимо провести реконструкцию этих геохимических процессов

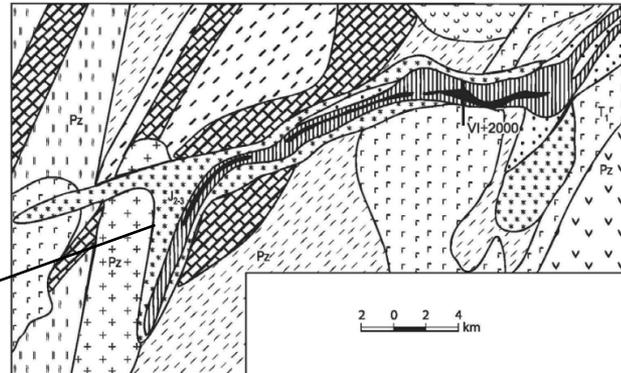
# Реконструкция геохимических процессов осветления рудовмещающих отложений



Зауральский урановый рудный район



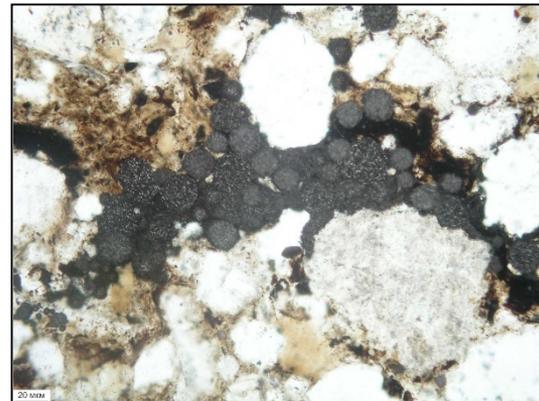
Месторождение Хохловское



Светло-серый песок



Обеленный песок



Таже ассоциация, что и на молодых месторождениях: осветленная матрица – сидериты – урановая минерализация



APM3  
РОСАТОМ

# 1.4. Обеспеченность запасами урана АО «Далур»

# Запасы и добыча урана в АО «Далур»

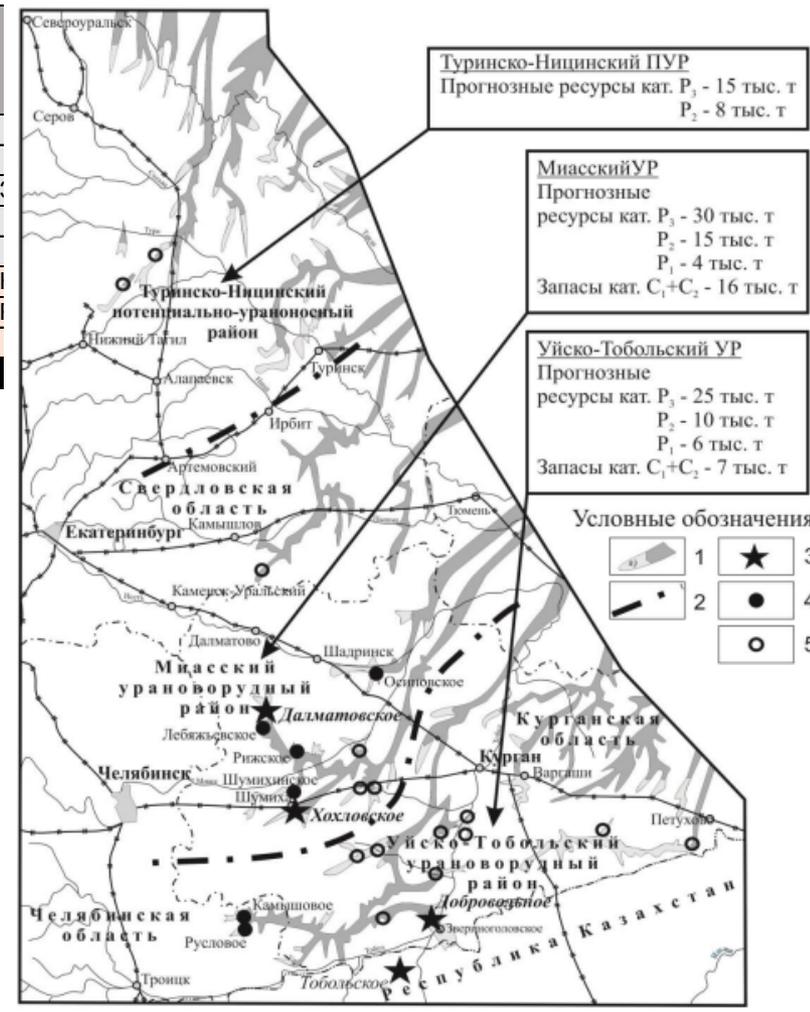


ДАЛУР  
РОСАТОМ

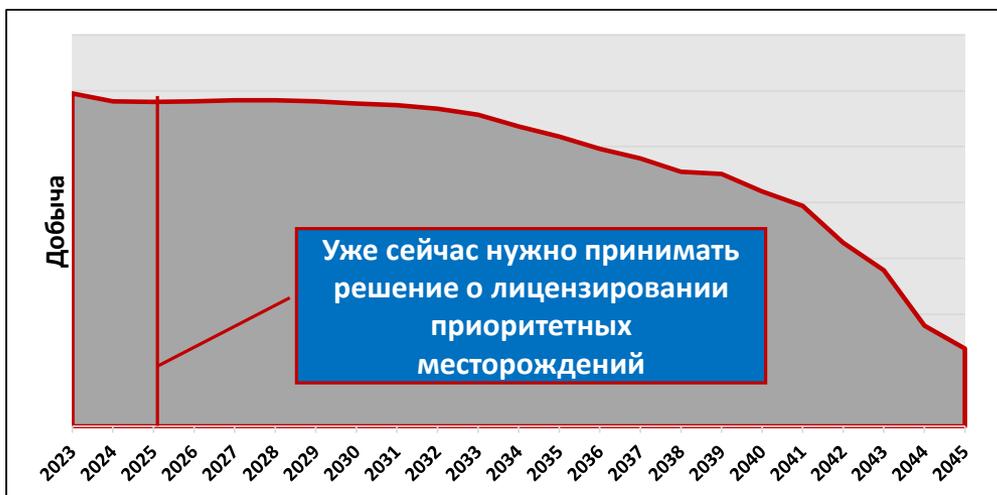
## Запасы и ресурсы

Месторождение	Исходные ресурсы и запасы					Остоточные и исходные $C_1+C_2+P_1+P_3$	Степень отработки (на 01.01.2024), %
	$P_3$	$P_1$	$C_1$	$C_2$	Итого		
Далматовское			7825	2370	10195	1773	82,6
Хохловское			4318	813	5131	3327	35,2
Добровольное			6738	339	7077	7077	0
Итого						12243	
Тобольское		4474			4474	4474	0
Тенизское	1918				1918	1918	0
Итого						6392	
<b>Всего</b>	<b>1918</b>	<b>4474</b>			<b>28861</b>	<b>18635</b>	

## Перспективы по А.В.Ладейщикову



## Добыча с 2023 по 2045 г



# Урановые рудопроявления Зауралья





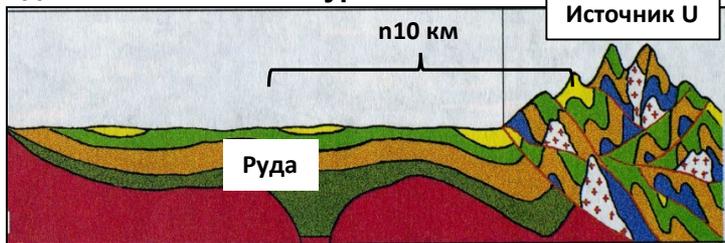
# Кардинальные отличия палеодолинных месторождений от классических пластово-инфильтрационных месторождений урана



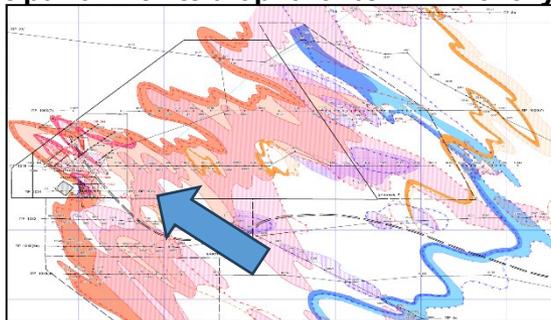
АРМЗ  
РОСАТОМ

## Пластово-инфильтрационные месторождения

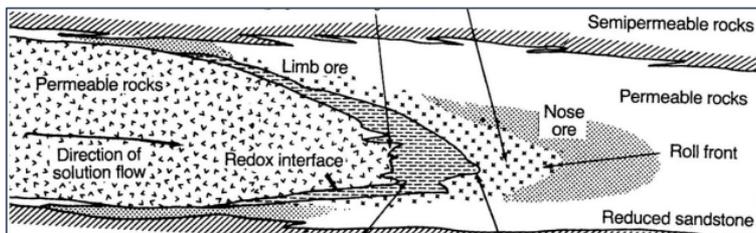
Удаленный источник урана



Урановые тела ортогональны потоку подземных вод



Серповидная форма урановых рудных тел

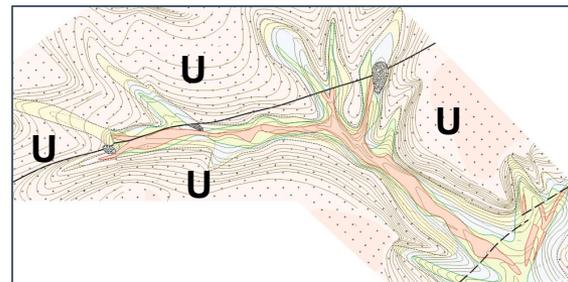


Восстановительный геохимический барьер формируется под действием сингенетических восстановителей

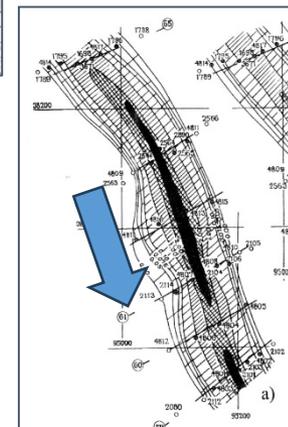
Подвижный геохимический барьер

## Палеодолинные месторождения

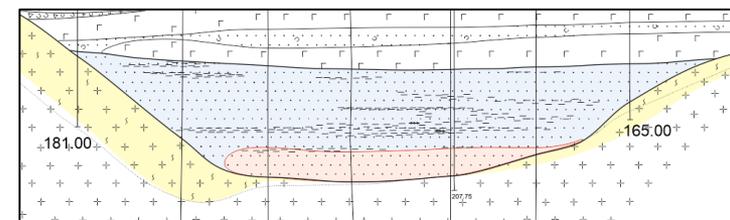
Местный источник урана



Урановые тела вытянуты вдоль потока подземных вод



Линзовидная форма рудных тел



Эпигенетические и сингенетические восстановители формируют геохимический барьер

Неподвижный геохимический барьер



# **Осветление пород – рудоформирующий, рудоконтролирующий и рудосохраняющий процесс**



АРМЗ  
РОСАТОМ

# Спасибо за внимание

## Солодов Игорь Николаевич

Директор программ инновационного и  
технологического развития АО «Атомредметзолото»,

Доктор геолого-минералогических наук,

+7 495 508 8808 доб. 196,

[INSolodov@armz.ru](mailto:INSolodov@armz.ru)



16.05.2024