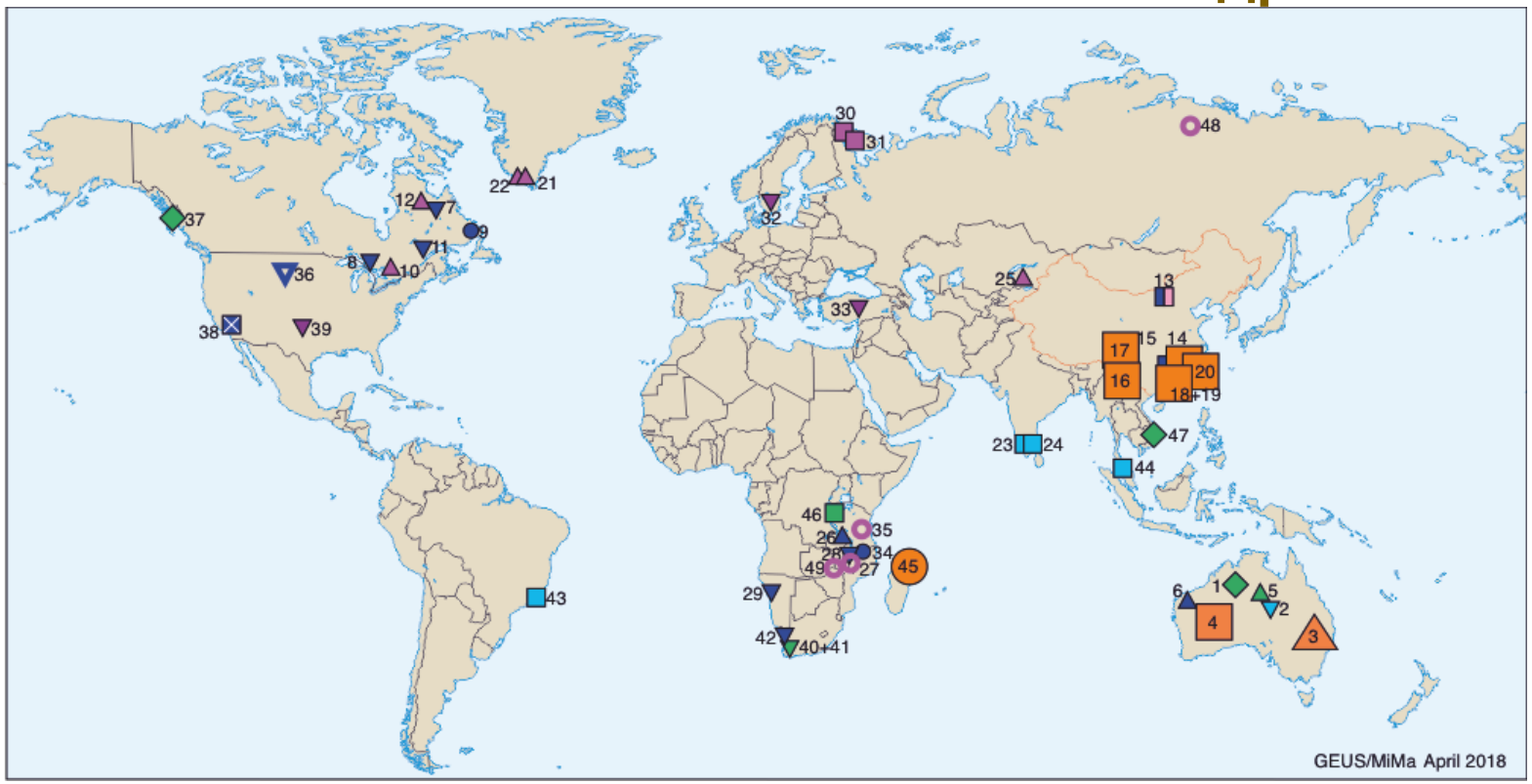
Министерство природных ресурсов и экологии РФ
Федеральное агентство по недропользованию
ФГБУ «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов»

Потенциал редкоземельных металлов в корах выветривания России.

Ключарев Д.С. Левченко Е.Н.
ФГБУ «ИМГРЭ»
Москва, Россия

Мировые минеральные ресурсы РЗМ, объёмы их добычи из недр



4 – месторождение Mount Weld
14-20 – «ионные» РЗМ руды Китая
45 –Alkane Resources Ltd (Тунги (Toongi))
Цирконий-редкоземельный проект Даббо

	Минеральные ресурсы, млн.т $\sum TR_2O_3$,	Доля в мировых ресурсах, % (место в мире)	Товарная добыча в 2023г, тыс.т $\sum TR_2O_3$,	Доля в мировой добыче, % (место в мире)
Китай	164	43,3 (1)	255	70,8 (1)
США	14	3,7 (7)	43	11,9 (2)
Мьянма	н/д		38	10,6 (3)
Австралия	28,8	7,6 (3)	16,8	4,7 (4)
Индия	6,9	1,8 (9)	2,9	0,8 (5)
Россия	28,5	7,5 (4)	2,6	0,7 (6)
Вьетнам	71,2	18,8 (2)	0,6	0,2 (8)

Минерально-сырьевая база РЗМ России

Распределение запасов РЗМ между субъектами Российской Федерации (млн.т ΣTR_2O_3) и их основные месторождения

	на 01.01.2022 г.		на 01.01.2023 г.		на 01.01.2024 г.	
Запасы	**A+B+C$_1$**	**C$_2$**	**A+B+C$_1$**	**C$_2$**	**A+B+C$_1$**	**C$_2$**
количество, тыс.т РЗО (изменение к предыдущему году)	**16 887,1 (–12,9%)**	**11 893,5 (-4,1%)**	**16 805,6 (-0,5%)**	**11 859,7 (-0,3%)**	**16669,5 (-0,8%)**	**11 860,5 (+0,01%)**
доля распределенного фонда, %	48,6	15	48,2	14,7	47,8	14,7
на 01.01.2024 г.						
Прогнозные ресурсы	**P$_1$**		**P$_2$**		**P$_3$**	
количество, тыс. т РЗО	7 745,5		435		384,7	

Источник: ГБЗ РФ

Объекты РЗМ кор выветривания России

Условные обозначения

- Карбонатно-глинистые коры выветривания по карбонатным породам
- Бокситы (латеритные коры выветривания алюмосиликатных пород)
- Ионно-черчитовые перемещенные коры выветривания алюмосиликатных пород
- Каолинит-гидрослюдистые инфильтрационно-остаточные КВ
- Ионно-сорбированые в КВ алюмосиликатных пород
- Редкоземельные гидротермалиты и аргиллизиты
- Месторождения, учтённые Государственным балансом

РЗМ содержащие коры выветривания новых территорий России

В пределах новых территорий РФ выявлен ряд редкоземельных месторождений и рудопроявлений, локализованных в юго-восточной части Украинского щита (Приазовский мегаблок).

Наиболее изучены (подсчитаны запасы) **Новополтавское (Черниговское)** и Азовское месторождения, а также Анадольское рудопроявление (объекты 1, 2, 3 на схеме).

Новополтавское (Черниговское) апатит-редкометальное месторождение карбонатитов

Подсчитанные запасы составляют: апатитовые руды кор выветривания + плотные руды + редкометалльно-апатитовые руды + запасы, связанные с апатитом – 1 003 млн т, из них 52,225 млн т P_2O_5 при среднем содержании в рудах 9,5%; 3,454 млн т $\sum TR_2O_3$ при среднем содержании в рудах 1,15% (1,19% $\sum TR_2O_3$ для кор выветривания и 1,46% $\sum TR_2O_3$ для плотных руд)

	Геолого-промышленный тип	Главные рудные минералы	**Запасы РЗМ, содержание ΣTR_2O_3 в рудах, %**
Новополтавское (Черниговское) месторождение	апатит-редкометалльные карбонатиты и коры выветривания по ним	для ниобия – минералы группы пирохлор- гатчеттолита, цериевый фергусонит и колумбит; для редкоземельных – монацит и апатит, отчасти ортит	$\sum TR_2O_3$ = 3,454 млн т при среднем содержании в рудах 1,15%
Азовское месторождение	цирконий-редкоземельные руды	циркон, бритолит, ортит (алланит).	ΣTR_2O_3 = 408 003 т при среднем содержании в рудах 1,18 %,
Анадольское (Тавловское) рудопроявление	редкоземельные руды	ортит (алланит).	$\sum TR_2O_3$ цериевой группы – 14 230,0 т при среднем содержании в рудах $\sum TR_2O_3$ **6,863%.**

Источники: открытые данные [https://dzen.ru/a/Z71pfGIFk2rHaoK2]. [https://ru.ruwiki.ru/wiki / Новополтавское_редкометалльно-апатитовое_месторождение]. [https://ukraina.ru/20250204/1060804083.html].

Рудопоявление «Толстянка». Редкоземельные коры выветривания

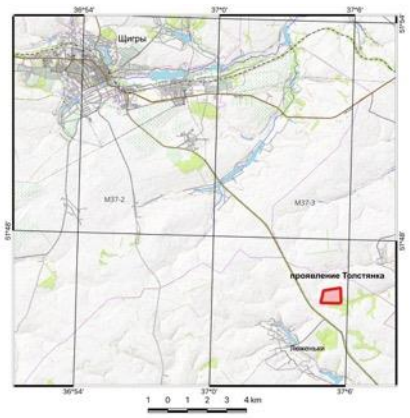
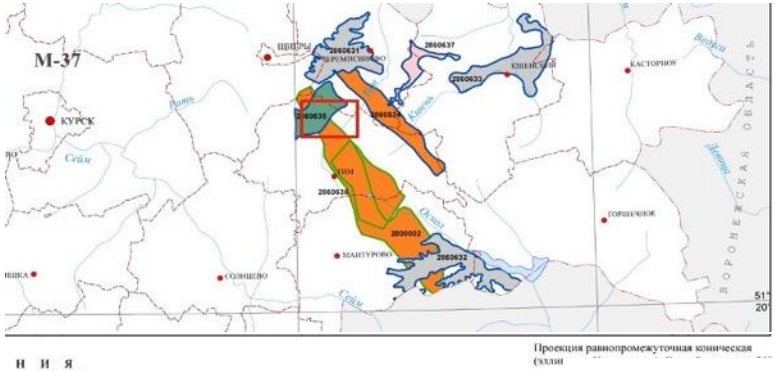


Схема расположения участка «Толстянка»

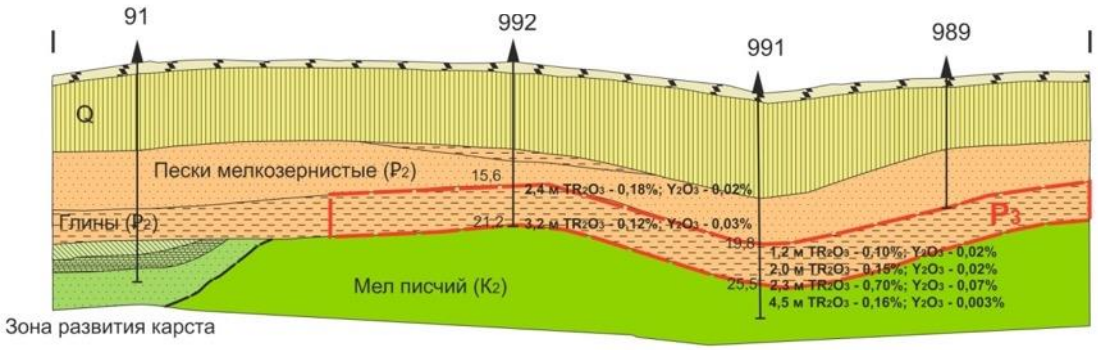
Участок «Толстянка» расположен на северной окраине деревни Толстянка в Тимском районе Курской области, в 1км на восток от автодороги Тим-Щигры и в 12 км к северу от автотрассы Курск-Воронеж

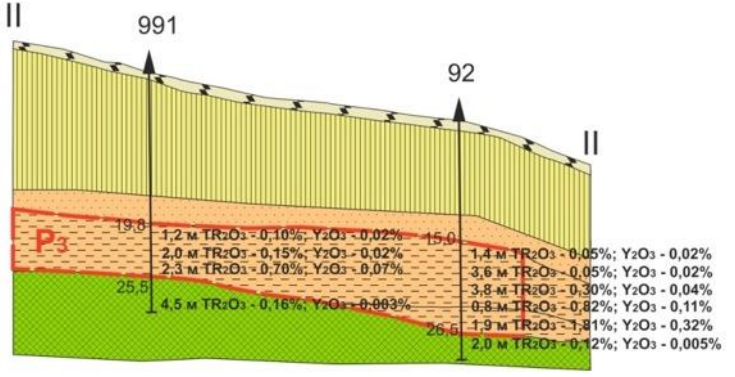
Схема перспективных площадей с ресурсами P_3



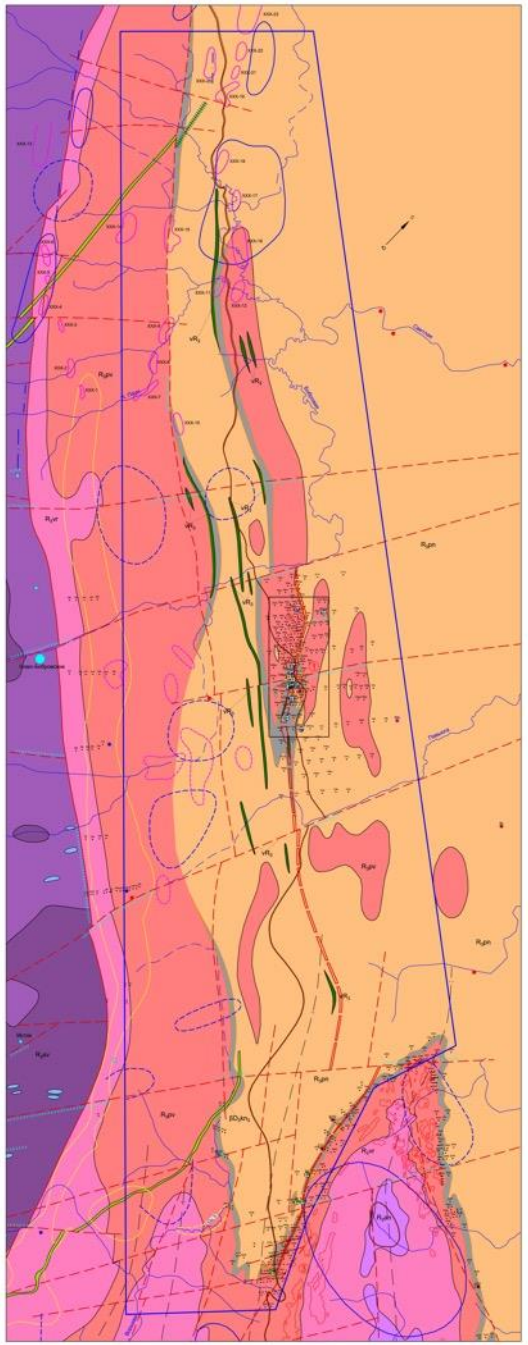
Апробированная оценка прогнозных ресурсов рудопроявления «Толстянка» категории P_3 составляют 46,9 тыс. т ∑РЗО при среднем содержании ∑РЗО – 0,2 %.

Элемент	Содержание РЗЭ, ppm		
	929	9210	9211
Y	**119,335**	**247,517**	**823,229**
La	150,196	225,384	999,700
Ce	**405,070**	**717,408**	**2701,694**
Pr	51,071	125,596	303,624
Nd	**210,267**	**565,837**	**1266,624**
Sm	46,525	127,770	273,989
Eu	10,445	23,594	58,224
Gd	40,005	78,771	229,801
Tb	5,783	10,900	32,243
Dy	30,757	55,915	173,439
Ho	5,338	9,913	31,449
Er	13,576	24,523	78,901
Tm	1,823	3,352	10,773
Yb	10,125	19,548	62,736
Lu	1,267	2,553	8,874
Сумма РЗМ	**1101,583**	**2238,581**	**7055,3**

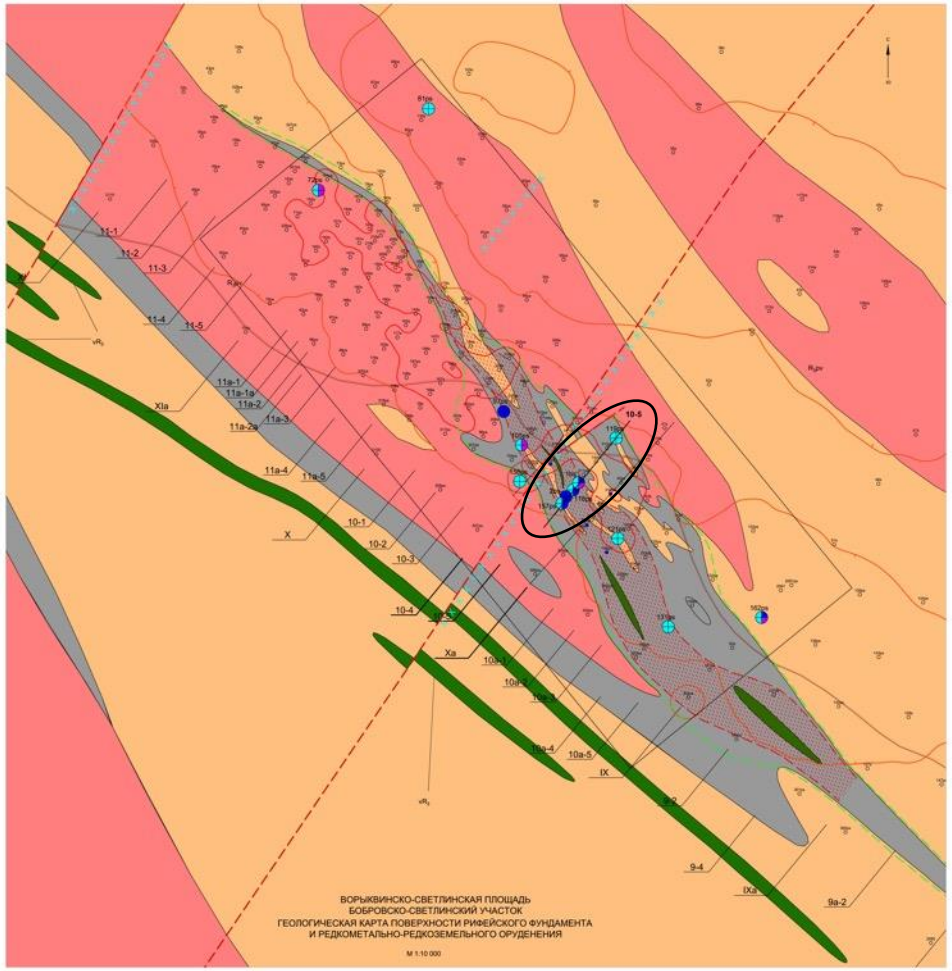


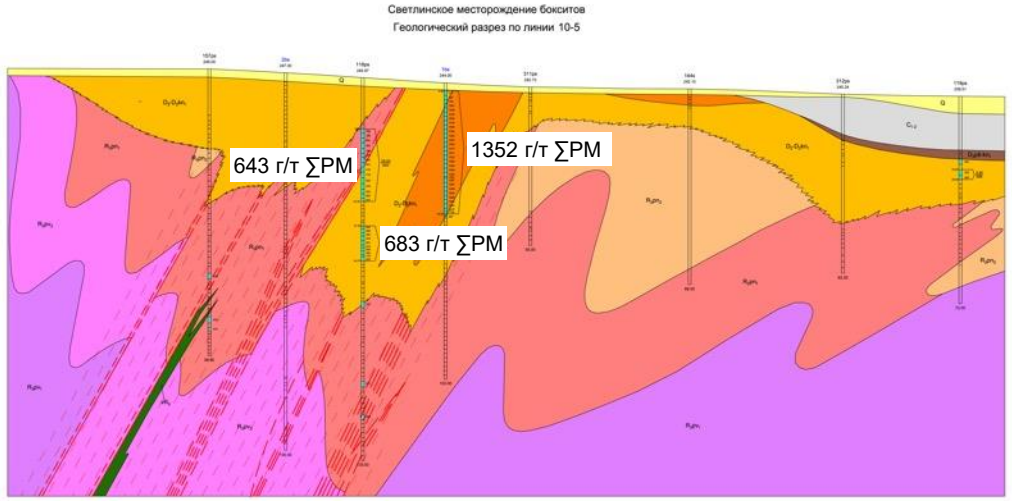


РЗМ содержащие бокситы Ворыкыинско-Светлинской площади (Тиманский кряж)

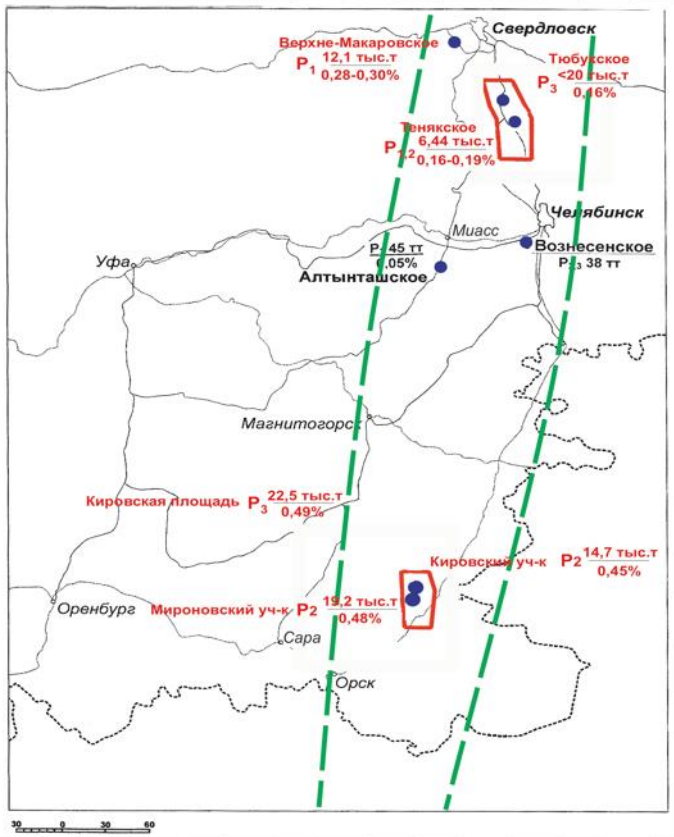


Площадь развития кор выветривания 4,3 км^2
Средняя мощность 16,7 м при среднем содержании 1043 г/т
Содержания Σ TR_2O_3 в бокситах составляют от 270 до 7030 г/т при среднем 1490 г/т.
Содержания Σ TR_2O_3 во вмещающих породах варьируют от 160 до 4700 г/т, среднее 1100 г/т.
Содержания иттрия по рудным зонам варьируют от 50 до 2 902 г/т (от 5 до 39 % отн. от суммы Σ TR_2O_3 +Y)

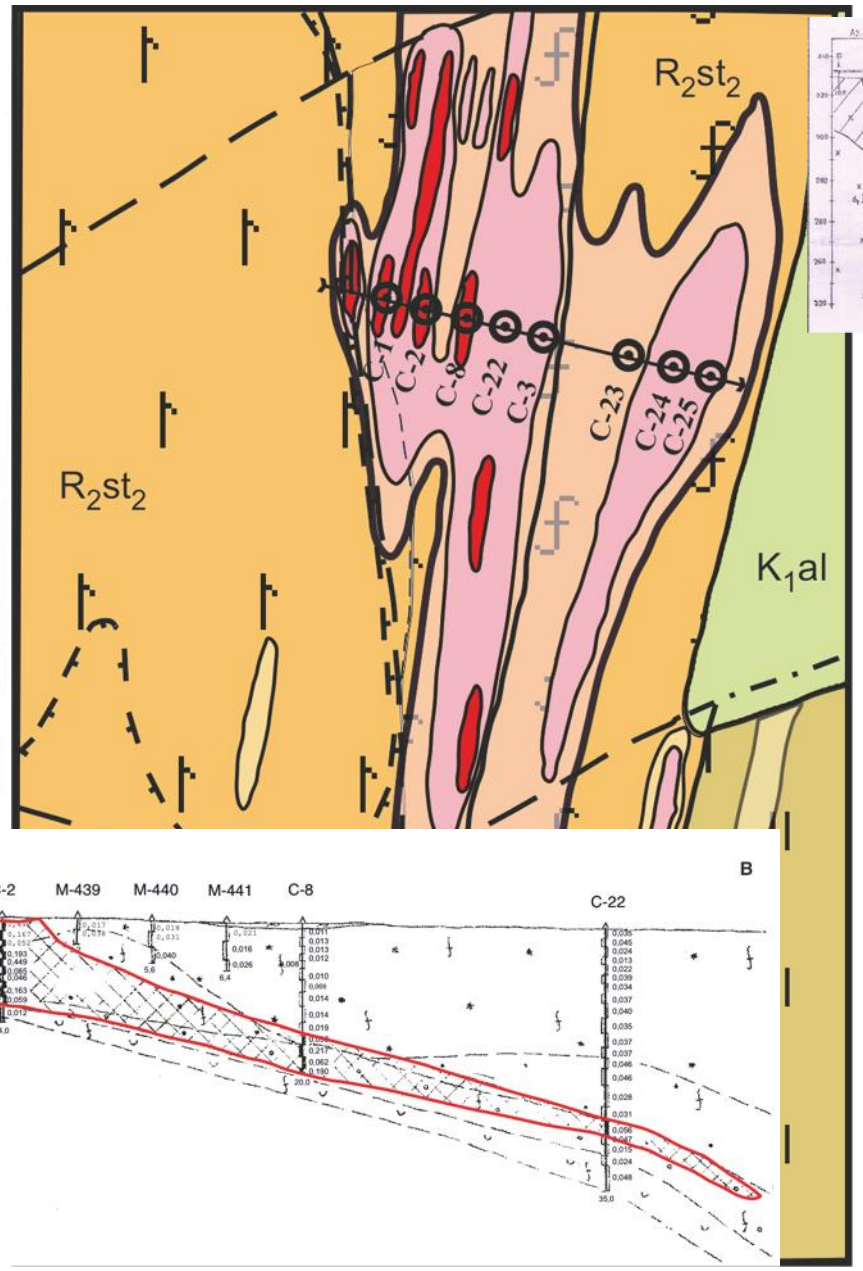


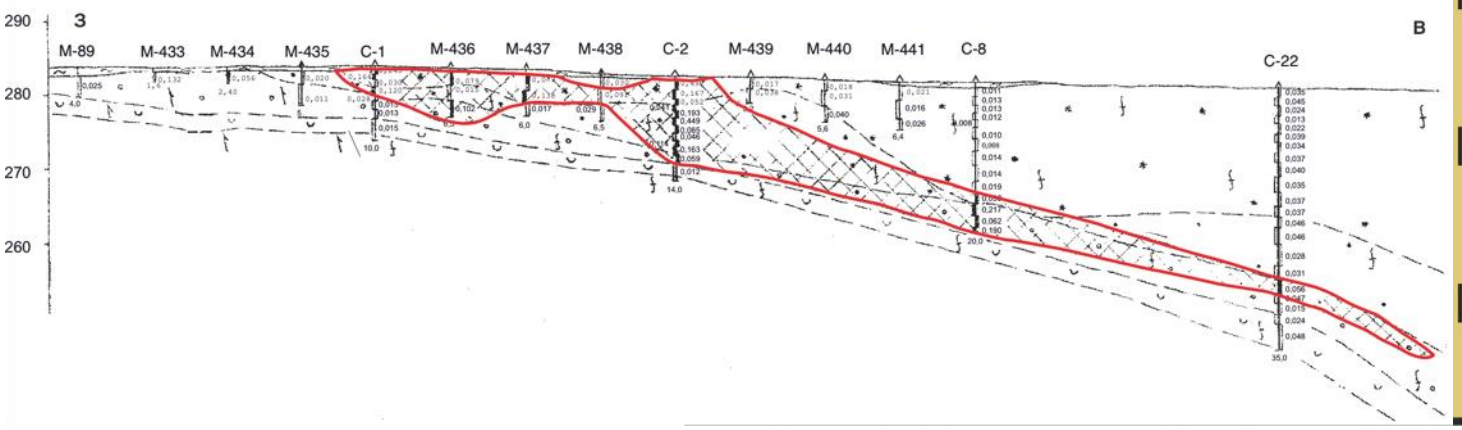


Редкоземельные коры выветривания Урала

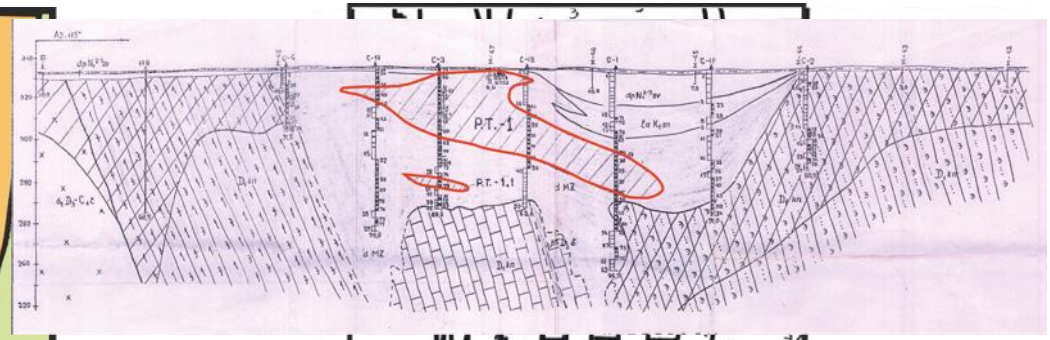


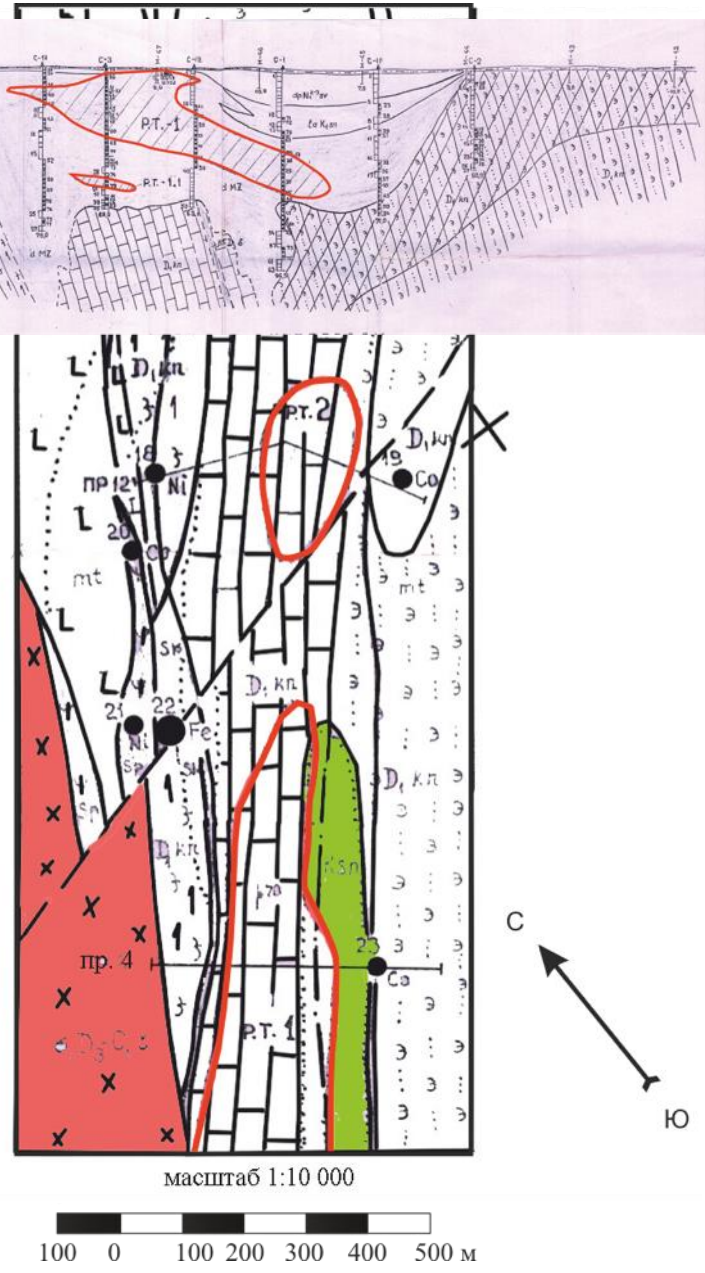
Тенякская площадь





Верхне-Макаровская площадь





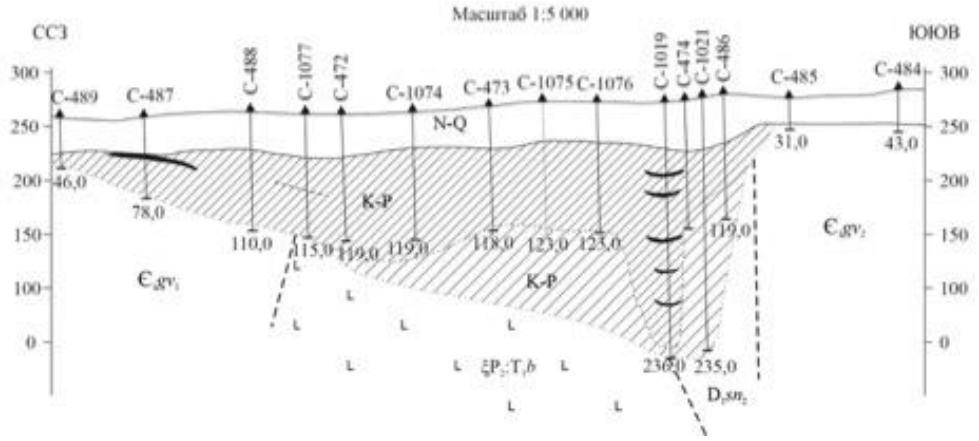
Редкоземельные коры выветривания Урала

Состав, %	Лонг Нан "ионные руды"	Тенякское	Верхне-Макаровское
La	2,1	16,89	2,4
Ce	1	1,88	10,3
Pr	1,1	2,57	8,1
Nd	5,1	7,31	20,9
Sm	3,2	0,78	5,5
Eu	0,28	1,88	2,4
Gd	5,7	5,53	6,9
Tb	1,1	0,2	1
Dy	7,5	4,35	5,7
Y	62,78	49,72	29,4
Ho	1,6	3,36	1,2
Er	4,3	2,57	2,9
Tm	0,6	0,1	0,5
Yb	3,3	2,17	2,4
Lu	0,47	0,69	0,4
Сумма РЗО, %	0,05-0,15	0,13-0,18	0,28-0,30
Сумма La – Nd г/т	**9,3**	**28,65**	**41,7**

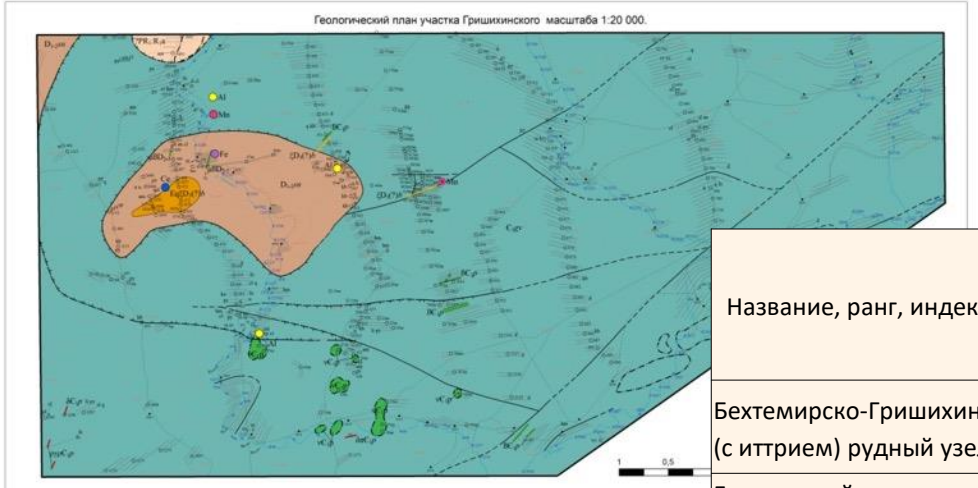
Проявления кор выветривания с иттриевоземельными рудами	Прогнозные ресурсы РЗМ+Y, тыс. т			Среднее содержание РЗЭ+Y, %	Доля Y_2O_3 в сумме TR_2O_3, %
	P_1	P_2	P_3		
Верхнемакаровское, Свердловская обл.	26,0	12,1		0,28 – 0,30	**16**
Тенякское, Свердловская обл.	2,57	1,27		0,160 – 0,186	**30**
Тенякское, Челябинская обл.	2	0,6	20	0,132	**25 – 30**
Мироновское, Оренбургская обл.		19,2		до 0,48	**> 28**

Даётся по А.А. Кременецкий, Т.Ю. Усова, 2007

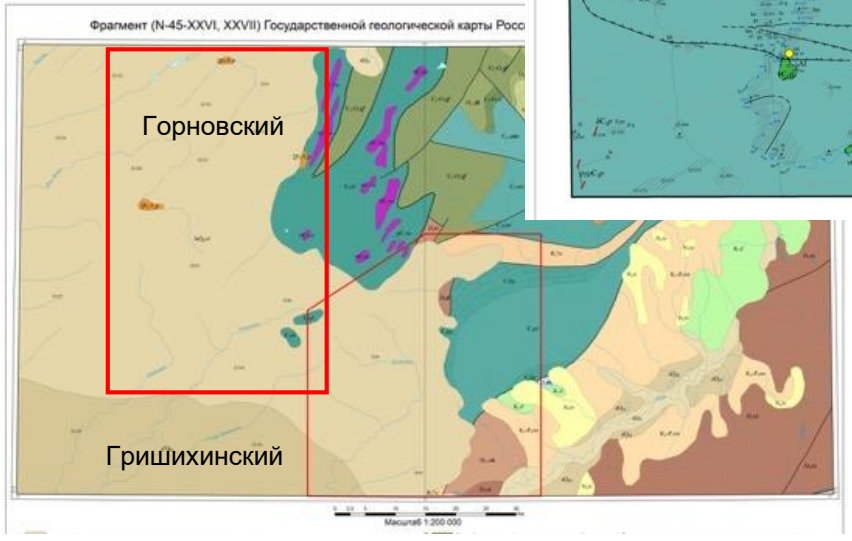
Редкоземельные коры выветривания Алтая



Выделенные прогнозируемые рудные узлы РЗМ оруденения в корах выветривания Западного Присалаирья объединены в рамках Западно-Салаирской прогнозируемой минерагенической зоны иттриевоземельного оруденения в корах выветривания.

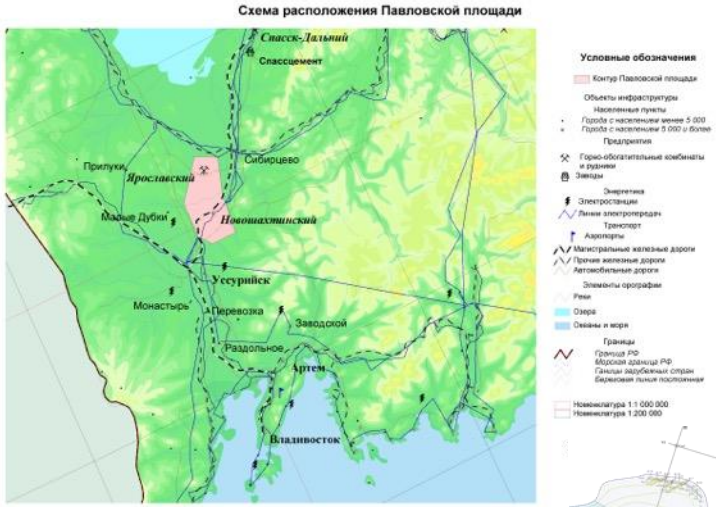


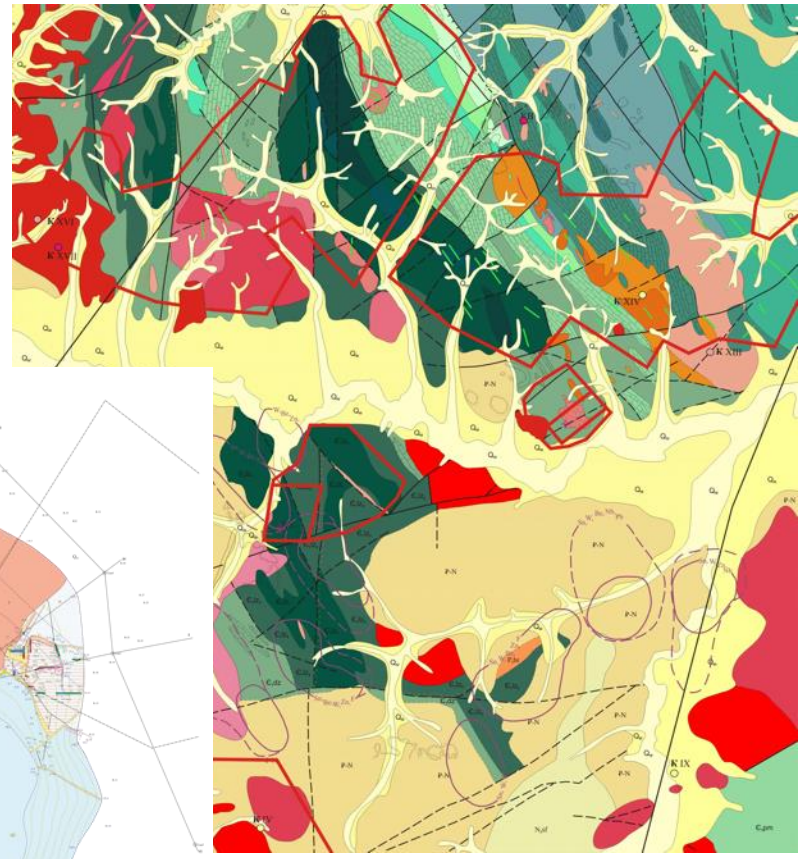
Широкое распространение кор выветривания в Западном Присалаирье и наличие в этих корах разномасштабных площадей с повышенными содержаниями иттрия и сопутствующих ему других РЗМ, позволяют говорить о перспективах выявления объектов с ионно-сорбированной формой оруденения в глинистых корах выветривания.



Название, ранг, индекс подразделений	Полезные ископаемые	Площадь, км² (S)	Прогнозные ресурсы[1]			
			P_1	P_2	P_3	Общий прогнозный потенциал (P)
Бехтемирско-Гришихинский бокситовый (с иттрием) рудный узел	бокситы	550		14	16,5	30,5
	Y	550			60	60
Егорьевский прогнозируемый узел иттриевого оруденения в корах выветривания	Y	375			25	25
Хмелевский прогнозируемый узел иттриевого оруденения в корах выветривания	Y	550			42	42
Горновский прогнозируемый узел иттриевого оруденения в корах выветривания	Y	1 500			80	80

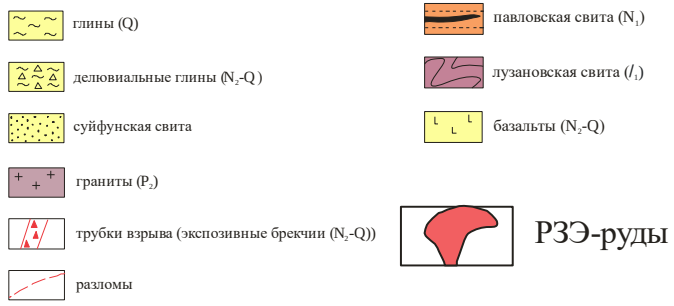
Редкоземельные коры выветривания и гидротермалиты Павловской площади. Приморье



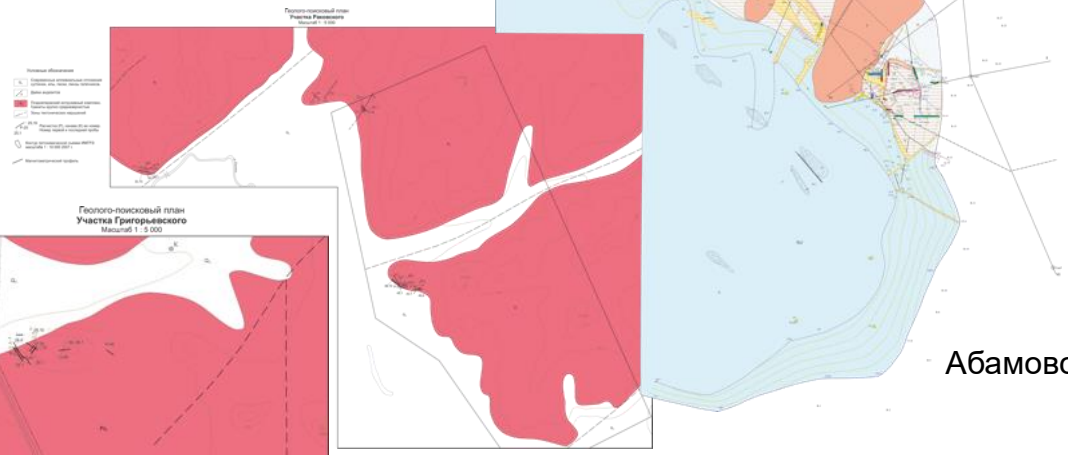


Павловская площадь, охватывает часть огромной кайнозойской депрессии, характеризуется широким распространением континентальных впадин с буроугольной и германиевой минерализацией и развитием миоцен-плиоценовых рифтовых структур базальтового магматизма. В пределах участка выявлена серия рудных тел с богатой (0.1–1.5%) иттриевоземельной минерализацией. По технологическим свойствам эти руды не уступают, а по содержаниям часто превосходят ион-сорбционные РЗЭ-руды южно-китайских месторождений кор выветривания, являющихся в настоящее время основным источником иттрия и лантаноидов.

Модель редкоземельного оруденения уч. Абрамовский Павловской площади

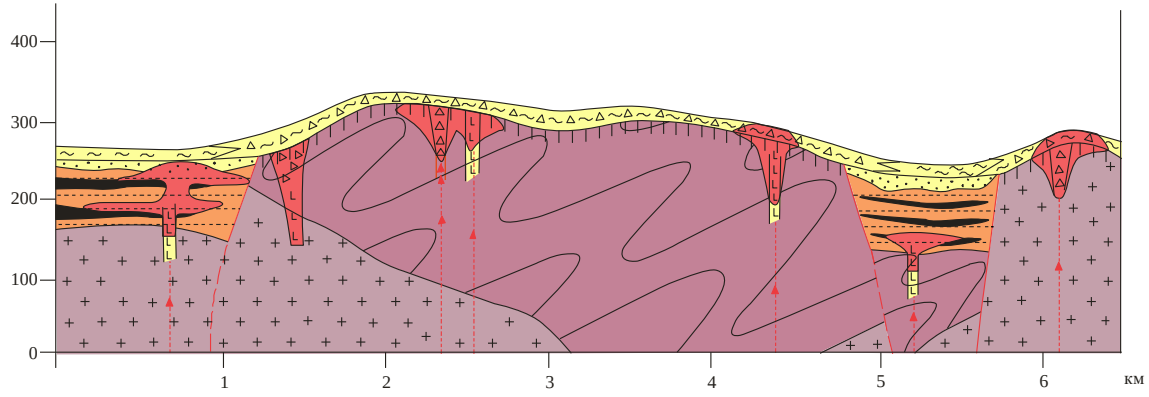


Раковское

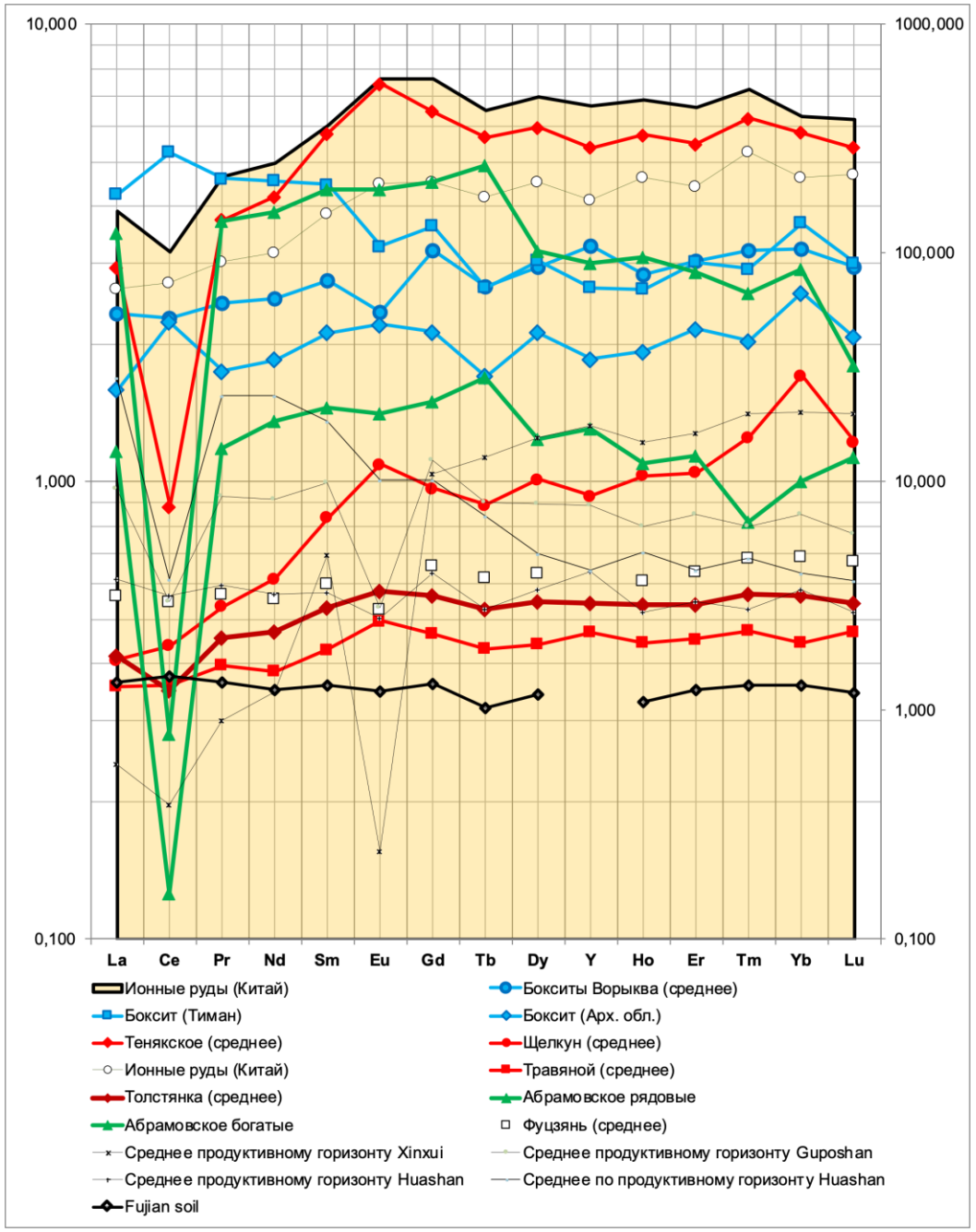


Абамовское

Григорьевский



Состав редкоземельных руд



Объект	∑РЗЭ+Y, г/т	∑La-Nd, %	∑Sm-Ho, %	∑Er-Lu, %	∑Pr-Nd-Sm, г/т	Pr-Nd-Sm, %	∑Gd-Lu+Y, г/т	Gd-Lu+Y, %
Боксит (Тиман)	746,4	83,03%	14,81%	2,16%	176,70	23,67%	102,4	13,72%
Боксит (Арх. обл.)	334,9	75,46%	21,13%	3,41%	72,4	21,61%	69,9	20,90%
Ворыква (среднее)	429,4	70,17%	26,25%	3,57%	98,4	22,91%	112,7	26,26%
Тенякское (Урал)	531,6	63,56%	31,88%	4,57%	**179,9**	**33,83%**	159,5	30,01%
Щелкун (Урал)	101,1	60,00%	33,49%	6,50%	24,3	24,06%	35,4	35,03%
Коры Урала (среднее)	671,4	41,58%	50,99%	7,42%	**201,7**	**30,04%**	345,1	51,39%
Толстянка (среднее)	354,0	65,89%	29,76%	4,35%	**100,9**	**28,49%**	102, 6	28,97%
Абрамовское рядовые	1746	58,99%	37,80%	3,21%	700,0	40,09%	596,0	34,14%
Абрамовское богатые	13770	64,85%	32,32%	2,83%	5970,0	43,36%	3760,0	27,31%
Ионные руды (Китай)	535,8	67,41%	28,39%	4,20%	125,2	23,37%	151,9	28,35%
Ионные руды (Китай)	763,6	64,05%	31,77%	4,17%	195,4	25,59%	238,6	31,25%

Технологические свойства руд

Типы кор выветривания	Режимы			
	Растворимы в слабых кислотах	Растворимы в не концентрированных кислотах	Частично растворимы в кислотах	Нерастворимы в кислотах
	Формы нахождения (отн.%)			
	Сорбированная	Пленочные новообразования (фосфаты и др.)	Гипергенные минералы (черчит и др.)	Реликтовые минер. субстрата (монацит и др.)
«Ионные руды **(Китай)**	75	15	2	8
Каолинит-гидрослюдистые **(Ю. Урал)**	30	60	1,5	8,5
Карбонатно-глинистые **(Курская обл.)**	10	75	0,5	14,5
(Приморье) Аргиллизиты	15	80	0	5
Тоже с РЗЭ - карбонатами	50	50	0	0

Даётся по А.А. Кременецкий, Т.Ю. Усова, Редкометалльные месторождения россии и китая: проблемы и перспективы использования, 2007

Потенциальные ресурсы

Объект	Геолого-промышленный тип	Среднее содержание, % TR_2O_3	Прогнозные ресусы			Доля ∑Pr-Nd-Sm, %	Количество ∑Pr-Nd-Sm в ресурсах, тыс. тонн		
			P_3	P_2	P_1		P_3	P_2	P_1
Центральный ФО									
Рудопроявление Толстянка	Редкоземельные коры	0,2	46,9			0,3	13,6		
Сибирский ФО									
Гришихинский рудный узел	Редкоземельные коры	0,1	60,0				17,4		
Горновский рудный узел	Редкоземельные коры	0,1	80,0				23,2		
Уральский ФО									
Сысертско-Тюбукская площадь									
Тенякский участок	Редкоземельные коры выветривания алюмосиликатных пород	P_1 – 0,165 P_2 – 0,131	0,00	1,27	2,57	0,3		0,4	0,7
Южно-Тенякский участок	Редкоземельные коры выветривания алюмосиликатных пород	0,166	0,00	2,60		0,35		0,8	
Макаровско-Полдневская площадь									
Верхнемакаровское месторождение	Редкоземельные коры выветривания алюмосиликатных пород	0,189	0,00	2,30	9,90			0,7	2,9
Дальневосточный ФО									
Павловская площадь	Редкоземельные гидротермалиты	0,7	30,0	20,0		0,3	8,7	5,8	
Павловская площадь (Вознесенка, фланги)	Редкоземельные гидротермалиты			20,4	2,5	0,3		5,9	0,7
Всего			**216,9**	**46,6**	**14,9**		**22,3**	**12,8**	**1,5**

Заключение

Объекты, отождествляемые с редкоземельными корами выветривания, широко распространены на территории России, они обладают значительным ресурсным потенциалом и достаточно технологичны

Содержания редкоземельных металлов в рудах российских объектов сопоставимы с «эталонными» китайскими ионными рудами, часто отличаясь большей долей «тяжёлых» и «магнитных» РЗЭ

Совокупность локализованных оценок прогнозных ресурсов, технологичность руд, благоприятные физико-географические условия для большинства объектов позволяют оценивать редкоземельные коры выветривания как перспективный источник редкоземельных металлов