

# Геолого- промышленные типы редкометальных месторождений БЕРИЛЛИЙ

Абрамов Михаил Валерьевич

05.03.2012

# БЕРИЛЛИЙ

*Бериллий* — элемент главной подгруппы второй группы, второго периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 4. Обозначается символом Be (лат. Beryllium). Высокотоксичный элемент.

# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

www.calc.ru



Д.И. Менделеев  
1834-1907

Периоды	Ряды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																Энергетический уровень		
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII			a	
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б			
1	1	<b>H</b> водород 1,008																<b>He</b> гелий 4,003	2	
2	2	<b>Li</b> литий 6,941	<b>Be</b> бериллий 9,0122			<b>B</b> бор 10,811	<b>C</b> углерод 12,011	<b>N</b> азот 14,007	<b>O</b> кислород 15,999	<b>F</b> фтор 18,998								<b>Ne</b> неон 20,179	10	
3	3	<b>Na</b> натрий 22,999	<b>Mg</b> магний 24,312			<b>Al</b> алюминий 26,992	<b>Si</b> кремний 28,086	<b>P</b> фосфор 30,974	<b>S</b> сера 32,064	<b>Cl</b> хлор 35,453								<b>Ar</b> аргон 39,948	18	
4	4	<b>K</b> калий 39,102	<b>Ca</b> кальций 40,08		<b>Sc</b> скандий 44,956	<b>Ti</b> титан 47,956	<b>V</b> ванадий 50,941	<b>Cr</b> хром 51,996	<b>Mn</b> марганец 54,938	<b>Fe</b> железо 55,849	<b>Co</b> кобальт 58,933	<b>Ni</b> никель 58,7								
	5	<b>Cu</b> медь 63,546	<b>Zn</b> цинк 65,37	<b>Ga</b> галлий 69,72	<b>Ge</b> германий 72,59	<b>As</b> мышьяк 74,922	<b>Se</b> селен 78,96	<b>Br</b> бром 79,904											<b>Kr</b> криптон 83,8	36
5	6	<b>Rb</b> рубидий 85,468	<b>Sr</b> стронций 87,62		<b>Y</b> иттрий 88,906	<b>Zr</b> цирконий 91,22	<b>Nb</b> ниобий 92,906	<b>Mo</b> молибден 95,94	<b>Tc</b> технеций (99)	<b>Ru</b> рутений 101,07	<b>Rh</b> родий 102,906	<b>Pd</b> палладий 106,4								
	7	<b>Ag</b> серебро 107,868	<b>Cd</b> кадмий 112,41	<b>In</b> индий 114,82	<b>Sn</b> олово 118,69	<b>Sb</b> сурьма 121,75	<b>Te</b> теллур 127,6	<b>I</b> йод 126,905											<b>Xe</b> ксенон 131,3	54
6	8	<b>Cs</b> цезий 132,905	<b>Ba</b> барий 137,34		57-71 лантаноиды	<b>Hf</b> гафний 178,49	<b>Ta</b> тантал 180,948	<b>W</b> вольфрам 183,85	<b>Re</b> рений 186,207	<b>Os</b> осмий 190,2	<b>Ir</b> иридий 192,22	<b>Pt</b> платина 195,09								
	9	<b>Au</b> золото 196,967	<b>Hg</b> ртуть 200,59	<b>Tl</b> таллий 204,37	<b>Pb</b> свинец 207,19	<b>Bi</b> висмут 208,98	<b>Po</b> полоний [210]	<b>At</b> астат [210]												<b>Rn</b> радон [222]
7	10	<b>Fr</b> франций [223]	<b>Ra</b> радий [226]	89-103 актиноиды	<b>Rf</b> резерфордий [261]	<b>Db</b> дубний [262]	<b>Sg</b> сигборгий [263]	<b>Bh</b> борий [262]	<b>Hn</b> ханний [265]	<b>Mt</b> мейтнерий [265]										
ВЫШНИЕ ОКСИДЫ		$R_2O$	$RO$	$R_2O_3$	$RO_2$	$R_2O_5$	$RO_3$	$R_2O_7$	$RO_4$											
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ					$RH_4$	$RH_3$	$H_2R$	$HR$												



- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

## Л А Н Т А Н О И Д Ы

57 <b>La</b> ЛАНТАН 138,906	58 <b>Ce</b> ЦЕРИЙ 140,12	59 <b>Pr</b> ПРАЗЕОДИМ 140,908	60 <b>Nd</b> НЕОДИМ 144,24	61 <b>Pm</b> ПРОМЕТИЙ [145]	62 <b>Sm</b> САМАРИЙ 150,4	63 <b>Eu</b> ЕВРОПИЙ 151,96	64 <b>Gd</b> ГАДОЛИНИЙ 157,25	65 <b>Tb</b> ТЕРБИЙ 158,926	66 <b>Dy</b> ДИСПРОЗИЙ 162,5	67 <b>Ho</b> ГОЛЬМИЙ 164,93	68 <b>Er</b> ЭРБИЙ 167,26	69 <b>Tm</b> ТУЛИЙ 168,934	70 <b>Yb</b> ИТТЕРБИЙ 173,04	71 <b>Lu</b> ЛЮТЕЦИЙ 174,97
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

## А К Т И Н О И Д Ы

89 <b>Ac</b> АКТИНИЙ [227]	90 <b>Th</b> ТОРИЙ 232,038	91 <b>Pa</b> ПРОТАКТИНИЙ [231]	92 <b>U</b> УРАН 238,29	93 <b>Np</b> НЕПТУНИЙ [237]	94 <b>Pu</b> ПЛУТОНИЙ [244]	95 <b>Am</b> АМЕРЦИЙ [243]	96 <b>Cm</b> КЮРИЙ [247]	97 <b>Bk</b> БЕРКЛИЙ [247]	98 <b>Cf</b> КАЛИФОРНИЙ [251]	99 <b>Es</b> ЭЙНШТЕЙНИЙ [254]	100 <b>Fm</b> ФЕРМИЙ [257]	101 <b>Md</b> МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	102 <b>No</b> НОБЕЛИЙ [259]	103 <b>Lr</b> ЛОУРЕНСИЙ [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

**Простое вещество  
бериллий -  
относительно твёрдый,  
хрупкий металл  
светло-серого цвета,  
имеет весьма высокую  
стоимость.**



# Типы месторождений

- Ведущим промышленным типом бериллиевых месторождений за рубежом является *бериллиевый в метасоматитах по вулканитам кислого состава*.
- Представитель его – крупнейшее с богатыми рудами **месторождение Спор-Маунтин** в США.

# Типы месторождений

Отечественные месторождения бериллия в настоящее время не разрабатываются, хотя и имеются перспективные объекты. Перспективен для освоения в нашей стране является тип – флюорит-бериллиевый в экзоконтакте гранитоидов щелочного ряда - **Ермаковское месторождение** с самыми богатыми в мире рудами по содержанию бериллия, и – бериллий, литий, рубидий, цезий в рудах флюоритовых апокарбонатных грейзеновых месторождений, связанных с гранитами литий-фтористого типа, - **Пограничное** и **Вознесенское месторождения**.

# Флюорит-бериллиевый тип в экзоконтакте гранитоидов щелочного ряда

Наиболее крупный и хорошо  
изученный представитель  
данного типа – **Ермаковское**  
**месторождение.**

# Ермаковское месторождение

Расположено в Республике Бурятия в 180 км к востоку от города и ж.д. станции Улан-Удэ.





# Ермаковское месторождение

Район месторождения расположен в мезозойской тектоно-магматической активизации, наложенной на древние (протерозойские и каледонские) складчатые сооружения. Месторождение контролируется зоной глубинного разлома и связано с малыми интрузиями субщелочных гранитоидов. В структурном плане месторождение приурочено к крупному останцу осадочно-метаморфических пород протерозоя, расположенному среди протерозойских гранитоидов. Породы останца сложены кристаллическими доломитами, выше сменяющимися продуктивной пачкой переслаивающихся кристаллических сланцев и известняков, а затем метаморфизованными песчаниками с подчиненными сланцево-карбонатными прослоями.

# Ермаковское месторождение

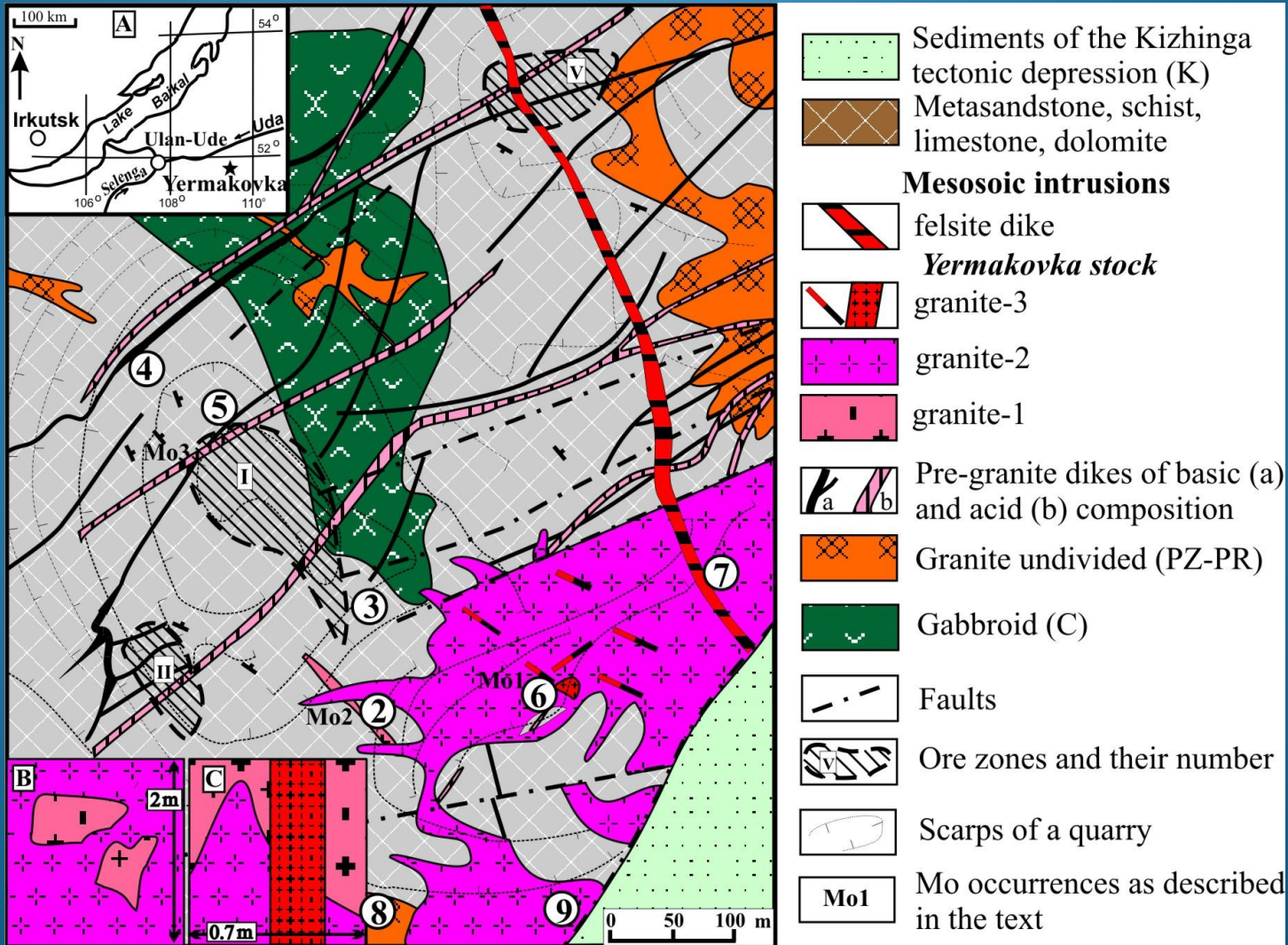


Приток Кирьяс в районе месторождения

# Ермаковское месторождение

На участке месторождения осадочно-метаморфические породы образуют синклиналию складку, в ядре которой распространены метапесчаники, а крылья сложены кристаллическими доломитами и пачкой переслаивания биотитовых, биотит-амфиболовых, амфибол-биотит-пироксеновых сланцев с прослоями известняков. Складка имеет субширотное простирание и пересечена многочисленными, сопряженными с региональными разломом, разнонаправленными нарушениями. Трещины вмещают штокообразные и послойные тела лейкократовых гранитов, граносиенитов, кварцевых сиенитов юрского возраста (160-170 млн. лет), серию даек этого магматического комплекса и рудные образования.

# Схематическая геологическая карта центральной части месторождения (Reyf, 2004).



# Ермаковское месторождение

По химическому составу магматические породы относятся к промежуточному ряду между аляскитами и известково-щелочными сиенитами.

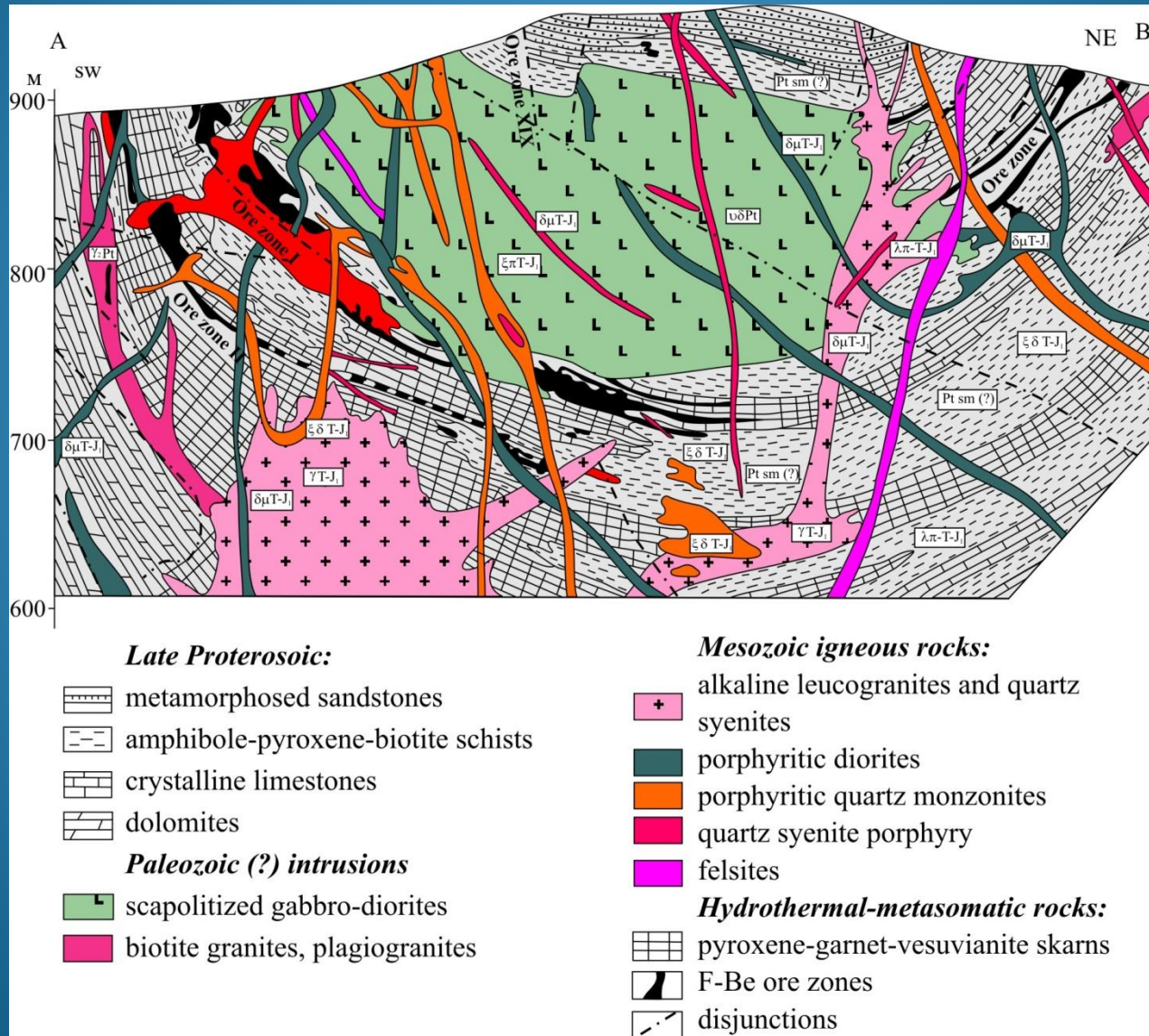
Характерная особенность граносиенитов – повышенная щелочность с преобладанием калия над натрием, повышенные содержания бериллия, составляющие в среднем 0,0011% (в два раза выше кларкового), фтора – 0,29%, молибдена – 0,001% и циркония – 0,005%.

На месторождении интенсивно проявлены постмагматические процессы: скарнирование, микроклинизация, бериллий-фторовый метасоматоз.

# Ермаковское месторождение

Рудные тела локализируются на крыльях и в ядерной части синклинали складки в пределах сланцево-карбонатной пачки пород в узлах пересечения дайками межпластовых нарушений, возникающих по контактам разнородных пород.

# Разрез месторождения



# Ермаковское месторождение

Благоприятными структурами для локализации оруденения являлись контакты карбонатных и алюмосиликатных пород (скарнов, биотитовых сланцев и др.)

Локализации оруденения способствовали дорудные дайки, играющие роль экранов, химически активные по отношению к рудоносным растворам известняков и близповерхностные – гипабиссальные – условия формирования месторождения, при которых происходил быстрый спад температуры и давления, что приводило к интенсивному расщеплению фторкомплексных соединений и выделению полезных ископаемых компонентов.



# Ермаковское месторождение

Внутреннее строение рудных тел неоднородное и сложное, обусловлено незакономерным чередованием участков сплошных вкрапленно-прожилковых флюорит-бериллиевых руд с безрудным сланцево-карбонатными, скарновыми, дайковыми и другими породами.

# Ермаковское месторождение

Распределение окиси бериллия в рудах неравномерное – от десятых долей до нескольких процентов (в среднем 1,19% BeO).

Главные бериллиевые минералы – **фенакит** и **берtrandит**, содержащие 40-44% окиси бериллия. В значительных количествах присутствует **флюорит** (в среднем 24,6%), в резко переменных количествах распространены кальцит, полевые шпаты, кварц, сульфиды (сфалерит, пирит, менее галенит, халькопирит, молибденит), барит и другие минералы.

# Ермаковское месторождение

Выделяются четыре главных типа руд:

- 1) **флюорит-берtrandит-фенакитовые** (наиболее богатые окисью бериллия и флюоритом и наиболее распространенные)
- 2) **берtrandит-фенакитовые с флюоритом** (менее богатые, с резко переменным содержанием флюорита)
- 3) **флюоритовые, кварц-флюоритовые**
- 4) **полевошпат-кварц-флюоритовые бледные руды.**

# Ермаковское месторождение

Основная масса бериллия заключена в **фенаките** и **бертрандите**, присутствующих почти в равных количествах, другие бериллиевые минералы – мелинофан, миларит, бавенит и гельвин – встречаются редко и представляют только минералогический интерес.

# Ермаковское месторождение

В распределении фенакита и бертрандита намечается зональность, выражающаяся в том, что бертрандит образуется преимущественно в гипсометрически более высоких частях рудных тел, приурочиваясь к их висячим контактам. В лежащих блоках бертрандит сменяется фенакитом.

# Ермаковское месторождение

Для руд месторождения разработана и внедрена промышленная флотационная схема получения бериллиевого флюоритового концентратов. В результате получен бериллиевый концентрат, содержащий 16,1%  $\text{BeO}$  и 6%  $\text{CaF}_2$  при извлечении 81,3%. Флюоритовый концентрат содержит 95,8%  $\text{CaF}_2$  1,8% и  $\text{BeO}$  при извлечении 65,1%.

# Ермаковское месторождение

Расчеты, выполненные экономистами ВИМСа, показали, что Ермаковское месторождение является единственным бериллиевым месторождением с балансовыми запасами, отвечающими современным требованиям рентабельности.

# Ермаковское месторождение

После эксплуатации (1975-1989 г.) Ермаковское месторождение законсервировано, но и оставшиеся в недрах запасы богатых руд позволяют рассматривать его как высококорентабельный объект для возобновление добычи.



# Ермаковское месторождение

Месторождение детально разведано. Запасы руды утверждены в 1970г. за в количестве 1,7 млн.т. руды. До 1996г. на месторождении велась добыча руд. В настоящее время запасы руд, числящиеся на балансе составляют по категории С1 – 764 т.т, по категории С2 – 630 т.т. Среднее содержание  $\text{BeO}$  и  $\text{CaF}_2$  в остаточных запасах руды в недрах составляют соответственно 0,8% и 19%.

01.09.2010

# Ермаковское месторождение

Компанией «Металлы Восточной Сибири» планируется восстановление на Ермаковском месторождении горно-добывающего производства открытым способом с производительностью не менее 50 тыс. т руды в год к 2010 году, получение бериллиевого концентрата, а также получение бериллия и его соединений.

01.09.2010

## Be, Li, Rb, Cs в рудах флюоритовых апокарбонатных грейзеновых месторождений, связанных с литий- фтористыми гранитами

Представителями данного типа являются крупнейшие Вознесенское и Пограничное месторождения, расположенные в Приморском крае в 18 км от ж.д. Транссибирской магистрали в экономически развитом крае в пределах крупного горно-обогатительного комбината ОАО «Ярославский ГОК».

# Вознесенское и Пограничное месторождения

Месторождения детально разведаны, разрабатываются на флюорит: Вознесенское с 1960г., Пограничное с 1998г. Редкие элементы (Be, Li, Rb, Cs), являющиеся попутными компонентами, при переработке руд, в настоящее время не извлекаются, хотя имеются весомые предпосылки для их извлечения и использования.

# Вознесенское и Пограничное месторождения

Месторождения расположены на территории Ханкайского срединного массива.

Редкометалльно-флюоритовое оруденение связано с небольшими одноименными близрасположенными массивами гранитов литий-фтористого типа. Граниты и связанное с ними оруденение локализуется в узле пересечения и сформировались в нижнем палеозое в эпоху тектоно-магматической активизации срединного массива.

# Вознесенское месторождение

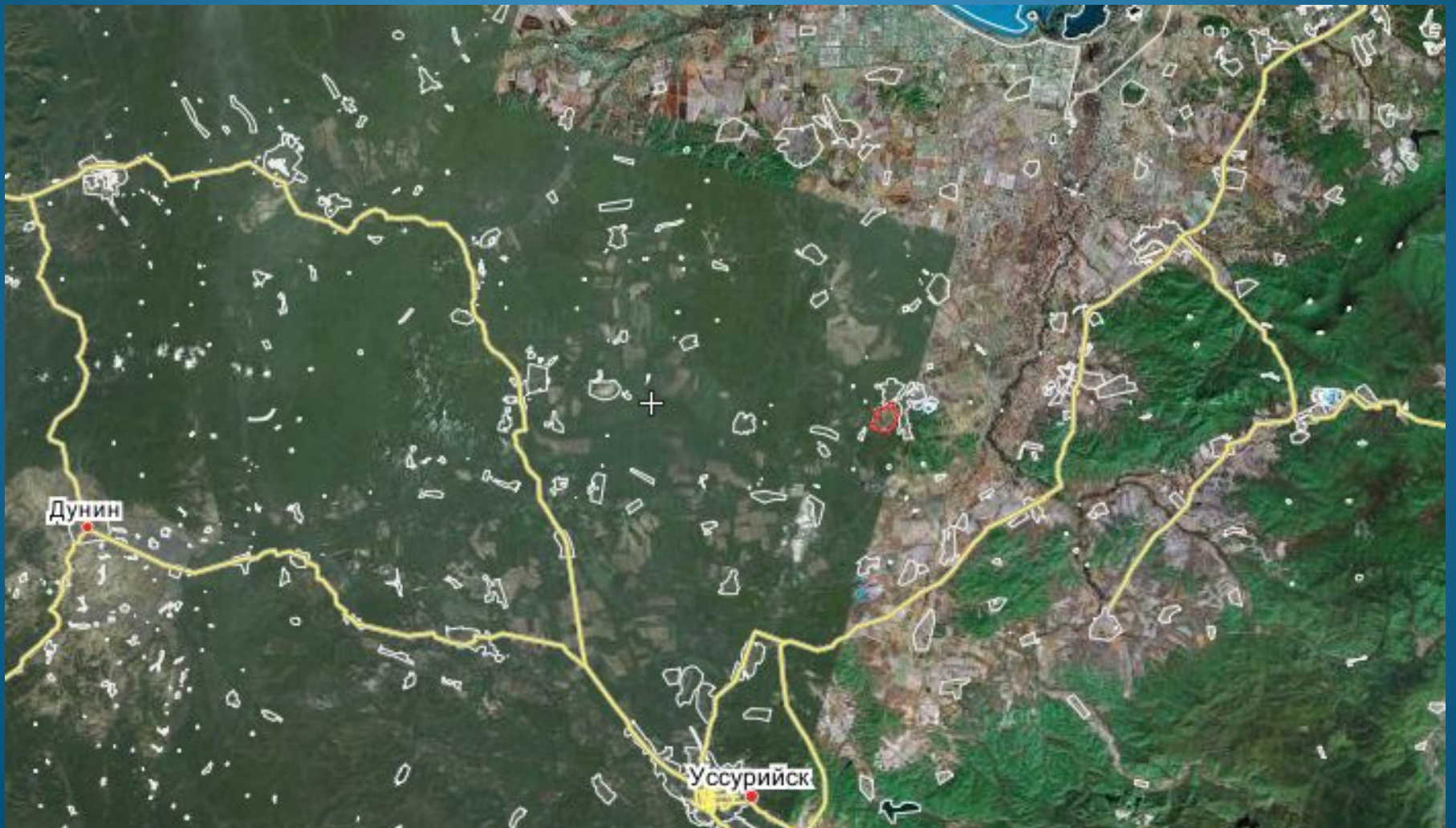
Вознесенский массив представляет собой гребневидный шток, в основном не выходящий на поверхность и характеризующийся крутыми углами падения контактов. Пограничный массив выходит на поверхность и имеет крутой восточный и относительно пологий западный контакты.

# Вознесенское месторождение

Основная масса руд Вознесенского месторождения локализуется в пределах Главного рудного тела, представленного крутопадающей трубообразной залежью, прослеженной на глубину 600-700м и имеющий в плане эллипсовидную форму, вытянутую в северно-западном направлении.

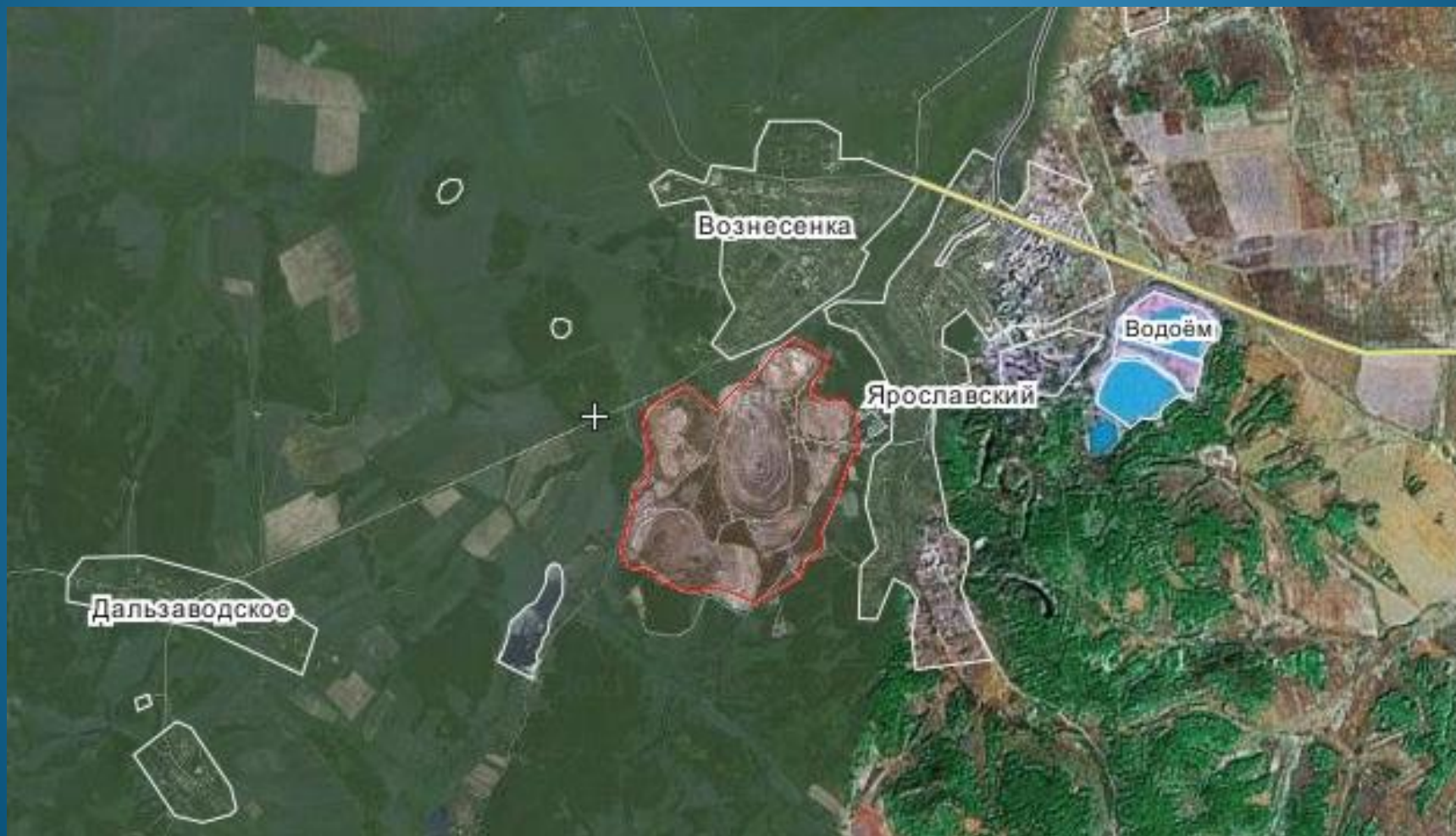
Редкометалльно-флюоритовые руды представляют собой темно-фиолетовую или почти черную средне-мелкозернистую породу, сложенную в основном флюоритом – 40-70%, и слюдами – 30-50%.

# Вознесенское месторождение





# Вознесенское месторождение



# Вознесенское месторождение



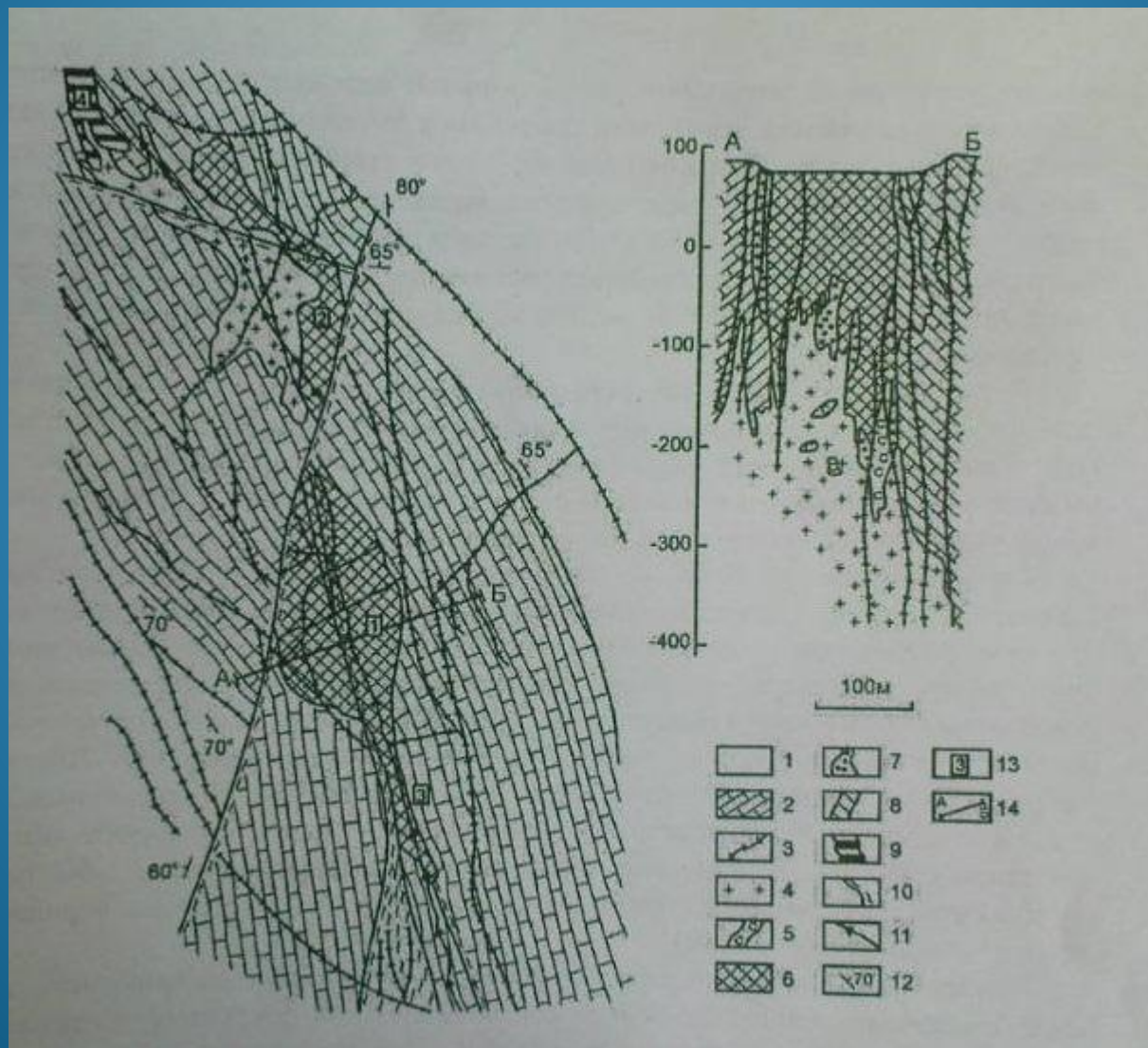
# Вознесенское месторождение



# Вознесенское месторождение

В переменных и незначительных количествах встречаются турмалин, кальцит, касситерит, диаспор, кварц, сульфиды. Бериллиевые минералы представлены фенакитом с подчиненным развитием хризоберилла и эвклаза и весьма редким проявлением берилла (фенакит-флюоритовый тип руд).

# Вознесенское месторождение



# Пограничное месторождение

Месторождение приурочено к экзоконтактовому ореолу одноименного массива литий-фтористых гранитов. Две основные залежи – Восточная и Западная – окаймляют гранитный массив, представляя собой относительно пологозалегающие линзообразные метасоматические тела. Состав руд: флюорит 25-70%, литийсодержащие слюды – 20-30%, турмалин – 20-30%. Бериллиевая минерализация представлена в основном хризобериллом, реже эвклазом и фенакитом. Руды относятся к хризоберилл-флюоритовому типу руд.

# Средние содержание оксида бериллия на 01.01.2003 г., %

Компонент	Руды Вознесенского месторождения	Отвальные хвосты Вознесенского месторождения	Балансовые руды Пограничного месторождения
BeO	0.06	0,14	0,247

# Получение

В настоящее время бериллий получают, восстанавливая его фторид магнием:



либо электролизом расплава смеси хлоридов бериллия и натрия. Исходные соли бериллия выделяют при переработке бериллиевой руды.



# Применение

- ✓ **Легирование сплавов** (повышает твёрдость и прочность сплавов, коррозионную устойчивость поверхностей изготовленных из этих сплавов изделий).
- ✓ **Рентгенотехника** (слабо поглощает рентгеновское излучение, поэтому из него изготавливают окошки рентгеновских трубок (через которые излучение выходит наружу)).
- ✓ **Ядерная энергетика** (в атомных реакторах из бериллия изготавливают отражатели нейтронов, его используют как замедлитель нейтронов).

# Применение

- ✓ **Огнеупорные материалы** (оксид бериллия применяется в качестве очень важного огнеупорного материала в специальных случаях. Считается одним из лучших огнеупорных материалов.)
- ✓ **Лазерные материалы** (в лазерной технике находит применение алюминат бериллия для изготовления твердотельных излучателей)
- ✓ **Аэрокосмическая техника** (в производстве тормозов для аэрокосмической техники, тепловых экранов и систем наведения с бериллием не может конкурировать практически ни один конструкционный материал.)

# Применение

- ✓ **Горное дело** (оксиликвит на основе бериллия — одно из мощнейших взрывчатых веществ, известных на сегодняшний день. Применяется при взрывных работах в горном деле)
- ✓ **Ракетное топливо** (стоит отметить высокую токсичность и высокую стоимость металлического бериллия, и в этой связи приложены значительные усилия для выявления бериллийсодержащих топлив имеющих значительно меньшую общую токсичность и стоимость. Одним из таких соединений бериллия является гидрид бериллия.

# Бериллий

- Типично редкий элемент. На тонну земного вещества в среднем приходится лишь 4,2 г бериллия.
- Бериллы встречаются в гранитных пегматитах, имеющих почти во всех странах земного шара
- Месторождения минералов бериллия присутствуют на территории Бразилии, Аргентины, Африки, Индии, в России — Бурятии, Сибири и др.

# три «НО»

1. Это прежде всего **хрупкость металла**. Она намного усложняет процесс его механической обработки, затрудняет получение больших листов бериллия.
2. Второе – **токсичность бериллия**.
3. И наконец, третье и очень важное «но» бериллия – его **высокая стоимость**. Цена 1 кг бериллия в США сейчас около 150 долларов, т.е. бериллий в несколько раз дороже титана.

**Спасибо за внимание !**