

## МАГМАТИЗМ И ОРУДЕНЕНИЕ КАЗАНДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

М.А. Кукоева

Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, г. Бийск

Казандинское рудное поле располагается в верховьях реки Казанды (левого притока р. Щebetы). Главную рудогенерирующую в рудном узле играл Казандинский массив. В Щebetинском рудном узле известны месторождения, ряд проявлений и пунктов минерализации молибден-вольфрам-бериллиевой кварцево-грейзеновой формации (Огнёвая Яма, Строчихинское, Казандинское 2 и другие), расположенных среди двуслюдяных и мусковитовых гранитов елиновского комплекса и вблизи его контактов: Казандинскоевольфрамовое и Казандинское бериллиевое месторождения. Их геологическое положение показано на рис. 1.

### МАГМАТИЗМ КАЗАНДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

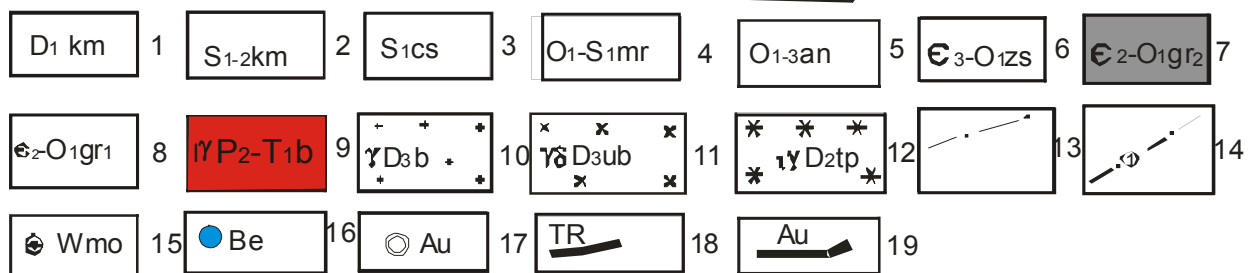
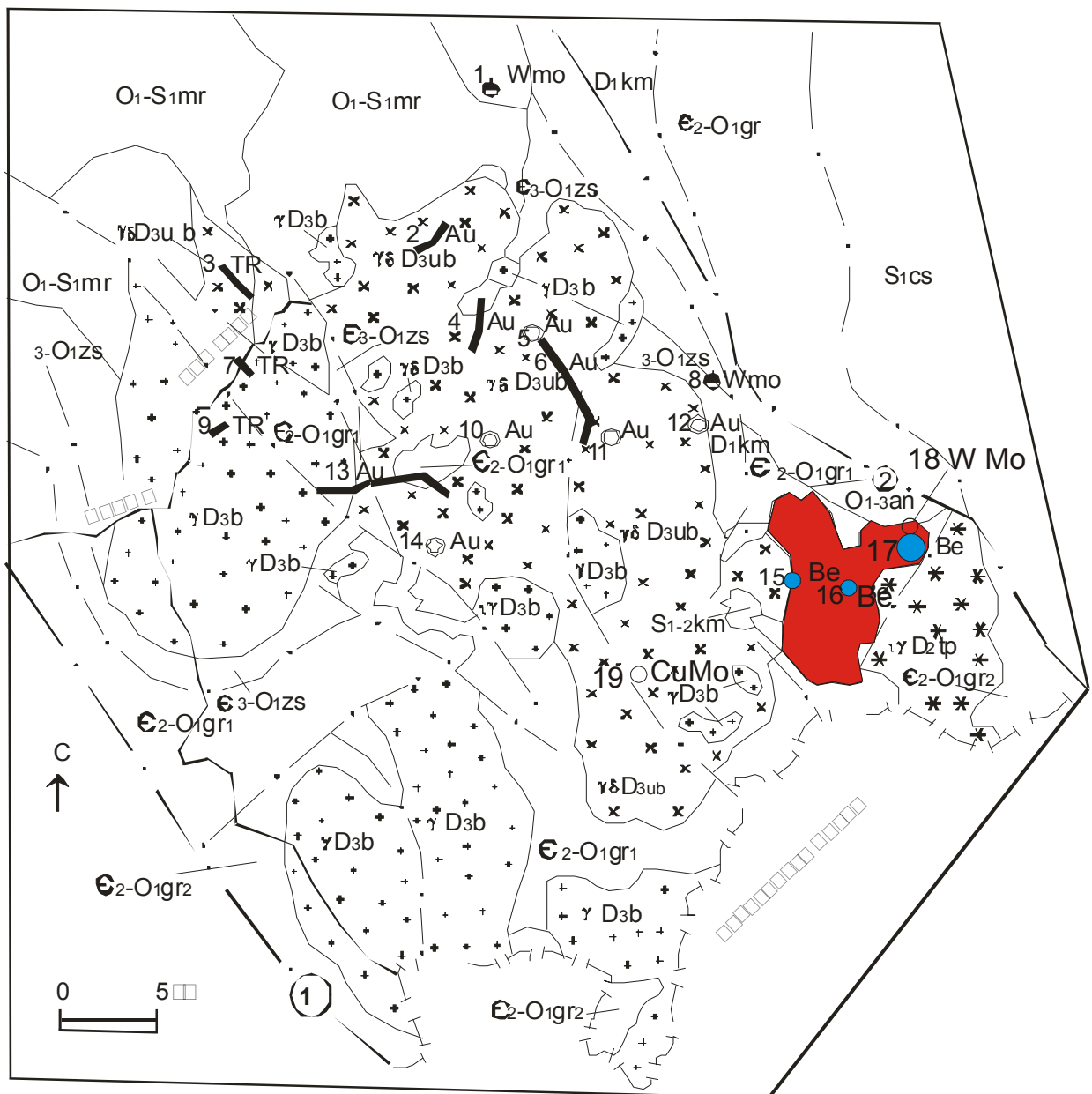
Казандинский массив, локализованный на востоке Талицко-Башчелакского района, сложен преимущественно биотитовыми и амфибол-биотитовыми мелко-среднезернистыми лейкогранитами с фациальными переходами к гранитам. Минеральный состав лейкогранитов, субщелочных лейкогранитов и рибекитовых лейкогранитов включает кварц (32,5 %; 34,5 % и 40,6 %), пертитовый калишпат  $D = 0,78$  (28,1 %; 48 % и 46,2 %), плагиоклаз (№ 24-5 - 34,8 %; № 0-5 - 13,6 %; № 0-5 - 10 %), железистый ( $f = 87$ ) биотит (3,5 %; 1,1 % и ед. з.), амфибол (ед. з.; 0,6 % и 2,6 %), вторичные - серицит и хлорит, акцессорные (в г/т, данные С. А. Кузнецова) - магнетит (1447; 2172 и 572), ильменит (2; 3 и 23), циркон (10; 3 и 54), ортит (47; 25 и ед. з.), малакон (1,2; 1,3 и 96), флюорит (2; 8 и 28). Структуры пойкилитовая, гипидиоморфнозернистая, микрографическая.

Химический состав пород Казандинского массива представлен в табл. 1. Породы ха-

---

### Рис. 1. Карта полезных ископаемых верховьев р. Башчелак

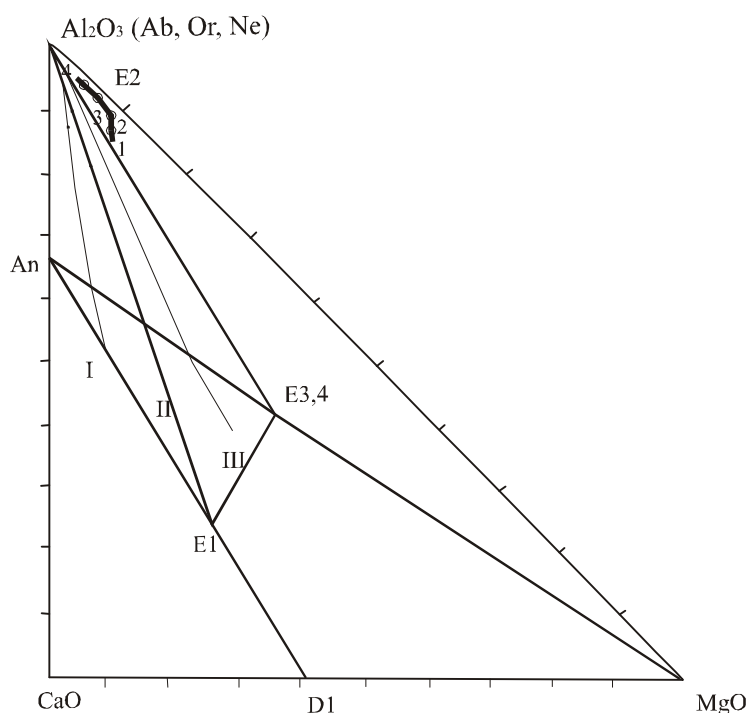
1- песчаники, алевролиты, гравелиты с известняками вверху камышенской свиты; 2- известняки, алевролиты, песчаники куимовской свиты; 3- алевролиты, аргиллиты, известняки чесноковской свиты; 4- филлиты, тонко-слоистые алевролиты, песчаники маралихиской свиты; 5- алевролиты, аргиллиты, песчаники, известняки, редко гравелиты и конгломераты ануйской серии; 6- глинистые сланцы, алевролиты, яшмоиды, высокотитанистые-толеитовые базальты засурьинской свиты; 7- полимиктовые песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты верхней подсерии горно-алтайской серии; 8- полимиктовые песчаники, алевролиты, филлиты нижней подсерии горно-алтайской серии; 9- граниты и лейкограниты белокурихинского комплекса; 10- гранитоиды боровлянского комплекса; 11- диориты, гранодиориты, граниты усть-беловского комплекса; 12- граниты, лейкограниты топольнинского комплекса; 13- разломы; 14- глубинные разломы: 1- Чарышко-Теректинский, 2- Башчелакский, 3- Сарасино-Инской. Полезные ископаемые: 15- грейзеновые вольфрам-молибденовые, 16- жильные кварц-бериллиевые; 17 – жильные золото-сульфидно-кварцевые; 18- медно-молибден-золотопорфировые; россыпи: 19 - монацита; 20 – золота. Названия месторождений и проявлений: 1- вольфрам-молибденное Мультчихинское месторождение; 2- золотоносная россыпь р. Генералки; 3- россыпь монацита р. Крутихи; 4- золотоносная россыпь участка Медвежий; 5- проявление золота Прямое; 6- золотоносная россыпь р. Прямой; 7- россыпь монацита ручья Пучкин; 8- вольфрам-молибденное Токаревское месторождение; 9- россыпь монацита ручья Мокрого; 10- месторождение золота Куртачихинское; 11- проявление золота участка Вершинного; 12- месторождение золота Потайнухинское; 13- россыпь золота Боровлянка-Светлый; 14 – проявление золота Кирилловское; 15 – проявление бериллия Огнёвая Яма; 16 – проявление бериллия Кашперова Яма; 17 – бериллиевое Казандинское месторождение; 18- вольфрамовое Казандинское месторождение; 19- медно-молибден-золото-порфировое Верхне-Башчелакское проявление.



рактируются повышенной и высокой щелочностью (несколько меньше в лейкогранитах Казандинского массива), преобладанием  $K_2O$  (3,8 %; 4,3 % и 4,6 %) над  $Na_2O$  (3,7 %; 3,8 % и 4,2 %), низкой глиноземистостью (индекс Шенда = 1), высокой железистостью ( $F = 84$ ; 87,8 и 89,7) и агапайностью ( $K_{AT} = 0,76$ ; 0,85; 0,95). От гранитов к умеренно-щелочным лейкогранитам происходит закономерное увеличение отношения  $Eu/Eu^*$  от 0,71 до 0,82 и снижение отношения  $(La/Yb)_N$  от 4,17 до 2,8. Последнее отношение указывает на снижение степени дифференцированности в указанном направлении и увеличение доли тяжёлых редких земель. Следует отметить, что отношения лёгких РЗЭ к средним значительно выше отношений лёгких к тяжёлым РЗЭ. При этом максимальных значений это отношение дос-

Таблица 1. Химические составы интрузивных пород Казандинского массива (мас. %)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
1	72,25	0,28	13,93	0,71	2,2	0,06	0,41	1,63	3,4	3,7
2	72,33	0,28	13,76	0,78	2,06	0,06	0,41	1,75	3,72	3,34
3	72,31	0,31	14,07	0,89	2,29	0,07	0,42	0,9	3,7	3,8
4	72,12	0,21	14,74	0,84	2,29	0,07	0,27	1,28	3,7	3,2
5	71,21	0,38	14,08	1,42	1,53	0,05	0,47	1,98	4,04	3,24
6	72,83	0,25	14,12	1,11	1,43	0,05	0,42	1,4	3,5	3,58
7	72,96	0,21	13,28	0,83	2,81	0,07	0,43	1,53	3,64	3,62
ср	72,29	0,27	13,99	0,94	2,08	0,06	0,40	1,49	3,67	3,49
8	73,35	0,25	13,27	0,73	2,37	0,07	0,52	2,13	3,82	3,21
9	73,4	0,24	13,24	1,01	1,67	0,08	0,4	1,56	3,72	4,1
10	73,66	0,18	14,19	0,75	1,91	0,06	0,2	0,56	3,4	3,7
11	74,4	0,17	12,47	0,2	1,9	0,06	0,18	0,98	3,49	4,2
12	74,86	0,17	13,14	0,63	1,91	0,06	0,28	1,24	3,7	3,2
13	76,25	0,13	13,03	0,72	1,59	0,07	0,15	1,19	3,42	2,9
14	75,75	0,06	13,01	0,39	1,05	0,05	0,09	0,63	3,7	4,2
15	75,5	0,15	12,52	0,62	2,11	0,06	0,21	1,28	3,84	3,65
16	75,13	0,16	13,27	0,62	1,82	0,06	0,32	1,06	3,72	3,2
17	74,94	0,21	12,66	0,51	2,41	0,06	0,43	1,56	3,6	3,53
18	74,8	0,24	12,32	1,04	1,87	0,07	0,48	1,76	3,92	2,2
ср	74,73	0,18	13,01	0,66	1,87	0,06	0,29	1,27	3,67	3,46
19	74,9	0,08	12,47	0,7	2,2	0,05	0,17	0,69	3,54	4,7
20	75,43	0,08	12,67	0,58	1,36	0,06	0,13	0,76	3,9	4,5
ср	75,17	0,08	12,57	0,64	1,78	0,06	0,15	0,73	3,72	4,6
21	74,02	0,21	12,12	1,83	1,74	0,10	0,28	0,50	3,91	4,29



тигает в умеренно-щелочных лейкогранитах (7,44). От гранитов к умеренно-щелочным лейкогранитам наблюдается снижение таких элементов как Sr, Be, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb, Hf, Mo, Sn, Nb и увеличение Ga, Dy, Ho, Er. Сумма РЗЭ снижается также в направлении от гранитов к лейкогранитам и умеренно-щелоч-

**Рис. 2. Эволюционные тренды пород Казандинского массива на диаграмме CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – MgO**

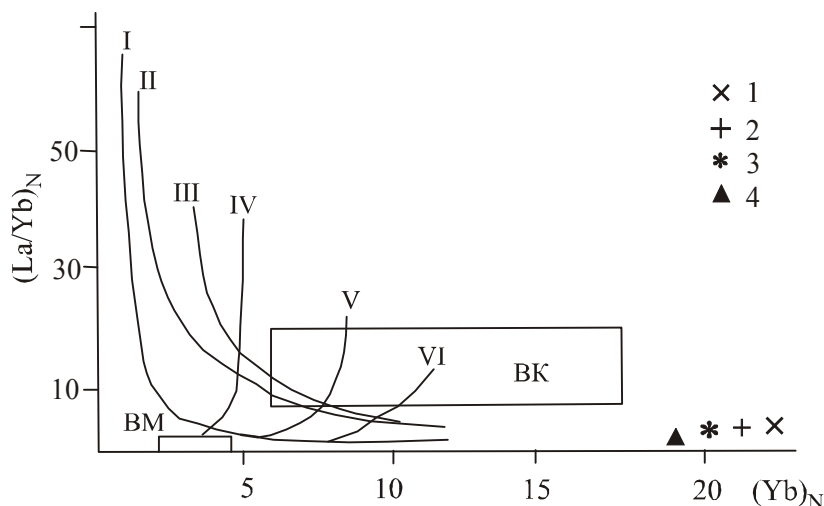
I, II, III – серии: толеитовая, известково-щелочная, субщелочная; E1, E2, E3, E4 – экспериментальные эвтектики. Эвтектики: Di-An, Di-An-Ab, An-Tn (Fo).

ным лейкогранитам от 215,22 до 175,06. Следует указать, что для всех пород, кроме умеренно-щелочных лейкогранитов, характерны повышенные концентрации бария, что сближает их с шоссонитовыми гранитами. Отношения U/Th и Nb/Ta в процессе образования последовательных фаз от гранитов к умеренно-щелочным лейкогранитам не показывают четкой закономерности.

Диаграмма CaO – MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 2), связывающая калиевые и мафические компоненты магматических горных пород, предложена Д.С.

Штейнбергом и активно поддержана М.Л. Гельманом. Она позволяет судить об общих закономерностях эволюции состава магматитов. Выбор компонентов обусловлен ведущей ролью CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в составе породообразующих минералов, формирующих котектические расплавы и, показывающих эволюцию компонентов в ходе кристаллизационной дифференциации. Выявленные закономерности подтверждены наблюдениями в конкретных магматических системах над порядком кристаллизации минералов и последовательностью формирования различных серий пород. Так, замена магния железом, калия натрием почти не влияет на соотношения мафических и калиевых минералов, на количество кварца в породе и т.д. Многие закономерности химического состава магматитов в проекции на треугольник An – Ab – Or не зависят от количества кварца или нефелина в системе; они сохраняются в сериях базальт-риолит, базальт-трахит, базальт-фонолит и их интрузивных эквивалентах. Дальнейшее упрощение состава приводит в пределе к системе CaO – MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которая позволяет особенно четко выявить наиболее общие закономерности изменения состава изверженных пород и дать им генетическую интерпретацию. Составы пород на диаграмме позволяют проследить котектические пути эволюции от наиболее тугоплавких дунитов до габбро (от вершины MgO к стороне CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и далее от габброидов (нормальных и щелочных) до самых легкоплавких гранитов (к вершине Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Диаграмма показывает различия двух главных рядов магматитов – нормального (известково-щелочного и толеитового) и щелочного (базальт-трахитового и базальт-фонолитового).

На диаграмме (La/Yb)<sub>N</sub> – (Yb)<sub>N</sub> все породные типы располагаются кучно за пределами поля верхней коры на продолжении трендов плавления кварцевых эклогитов, гранатовых амфиболитов и амфиболитов (рис. 3)



**Рис. 3. Диаграмма (La/Yb)<sub>N</sub> – (Yb)<sub>N</sub> для пород Казандинского массива**

Тренды плавления различных источников: I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; IV – гранатосодержащая мантия с содержанием граната 10 %; V – гранатосодержащая мантия с содержанием граната 5 %; VI – гранатосодержащая мантия с содержанием граната 3 %; BM – верхняя мантия; BK – верхняя кора.

## ОРУДЕНЕНИЕ КАЗАНДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Оруденение приурочено к кварцевым жилам, выполняющим трещины отрыва, возникшие в связи с установленной здесь тектонической зоной северо-восточного простирания. Горными выработками предшествующих исследователей вскрыта 91 кварцевая жила. Жилы имеют кулисообразное строение, причем сравнительно часто встречаются «слепые жилы». Простирание жил от 250 до 300°, падение на юго-запад и юго-восток под углами 65–85°, протяженность от десятков до нескольких сотен метров, мощность от 0,15 до 1,2 м

Таблица 2. Состав газовой-жидких включений в кварце рудных жил Казандинского бериллиевого месторождения (мг/кг)

Компоненты	1	2	3	4	5
CO <sub>2</sub>	184	147	179	129	159
H <sub>2</sub> O	1471	1614	1797	1705	1650
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,8	0,5	1,4	0,3	0,8
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,3	0,2	0,6	0,3	0,5
N <sub>2</sub>	8,5	7,3	7,2	7,1	7,7
CH <sub>4</sub>	0,6	0,4	1,3	0,3	0,8
H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub>	1655	1761	1976	1834	1806
CO	3,1	2,4	4,3	2,7	3,1
CO <sub>2</sub> ×100H <sub>2</sub> O	12,5	9,1	10,0	7,6	9,8
K <sub>B</sub> ×1000	2,8	2,0	3,8	1,8	2,6
∑газов	198	158	194	139	173
∑ + H <sub>2</sub> O	1668	1772	1991	1844	1819

(средняя 0,39 м). Основным полезным компонентом является берилл, который отмечается двух типов – мелкокристаллический и крупнокристаллический. Крупнокристаллический берилл наблюдается в виде кристаллов хорошей огранки размером до 10x2 см или в виде гнезд размером до 10x10 см. Другими рудными минералами являются молибденит, турмалин, пирит, висмутин, мусковит, флюорит, вольфрамит. Впервые нами обнаружены поллуцит и питалит. Мощность изучавшихся зон с неравномерно-вкрапленной берилловой минерализацией составляет 2–3 м, содержание BeO до 0,126 %. Среднее содержание по одной из зон, вскрытых штольной 2 (на участке 70,5–72,5 м), составляет 0,03 % BeO. В связи с низкими содержаниями запасы бериллия в бериллоносных гранитах не подсчитывались. Запасы оксида бериллия по категориям В + С1 + С2 по результатам разведки составляют 1218,806 тонн при среднем его содержании 0,194 %. Прогнозные ресурсы окиси бериллия категории Р1 до глубины 300 м составляют 1828 т. Суммарные запасы и ресурсы Казандинского бериллиевого месторождения составляют 3047 т. В сводном балансе запасов по месторождению по состоянию на 01.01. 2002 г числятся запасы оксида бериллия категории В – 42 т, категории С1 – 449 т, категории С2 – 491 т при среднем содержании BeO 0,198 %.

В Горном Алтае Казандинское месторождение бериллия является самым крупным по запасам, а вблизи него локализуется несколько неизученных перспективных проявлений бериллия.

Казандинское бериллиевоe месторождение разведывалось в 1951–1960 гг. на глубину до 300 м. Оруденение размещается в кварцевых жилах, сопровождаемых грейзенами, образующих полосу шириной более 500 м. Жилы (65 штук), вошедшие в подсчет запасов, имеют мощность до 1,2 м (средняя – 0,39 м) и общую протяженность – 8115 м. Главным рудным минералом является берилл, представленный как мелкими, так и крупными кристаллами (10x2 см) и гнездами; в подчиненных количествах отмечаются пирит, молибденит, висмутин, вольфрамит, а из нерудных – турмалин, морион, дымчатый кварц. Среднее содержание BeO в жилах составляет – 0,194 %. Отмечаются повышенные содержания (в %): Мо – до 0,3; Рb – до 0,1; Си, Вi – до 0,05, а так же золота – до 0,2 г/т и серебра – до 9 г/т. В кварце, обогащенном пиритом, установлено 134 г/т серебра, 0,5 г/т золота.

По данным термобарогеохимического анализа, содержание основных компонентов флюида ГЖВ кварца для бериллиевого Казандинского месторождения близки таковым Казандинского вольфрамового (табл. 2). Но имеются и отличия. Для бериллиевого Казандинского месторождения характерно более высокое содержание воды во флюидах и меньшее – углекислоты. Соответственно, у него меньше отношение CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O×100, что свидетельству-

Таблица 3. Элементы-примеси в бериллах, молибдените и флюоритах Казандинского бериллиевого месторождения (г/т)

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	14,7	15,1	10,8	8,65	21,0	7,75	3,85	7,65	8,44
Cr	7,15	7,5	7,24	6,08	5,5	10,1	5,3	6,0	6,07
Co	1,33	1,4	0,5	0,5	1,8	0,5	0,5	0,5	0,5
Ni	2,89	3,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
Cu	7,5	8,8	3,73	4,19	5,9	2,26	3,42	3,7	3,88
Zn	49,3	50,2	36,1	49,7	43,1	20,3	77,2	40,8	41,8
Rb	33,2	35,3	31,8	25,8	75,3	3,85	2,0	25,7	26,2
Sr	8,25	9,28	4,37	3,7	5,1	20,0	8,24	3,1	3,25
Nb	3,27	4,1	1,83	1,91	17,3	1,69	5,86	1,1	1,19
Cs	561	580	691	566	550	0,44	6,17	420	450
Ba	35,2	36,1	30,1	28,3	67	37,3	19,1	24,9	25,6
Pb	11,4	12,1	4,44	8,7	21,3	4,95	20,7	8,1	8,81
Th	0,89	0,95	0,44	0,42	0,8	4,82	9,9	0,35	0,39
La	2,07	2,95	0,99	0,92	0,75	7,32	29,3	0,83	0,84
Ce	3,2	3,5	1,91	1,83	3,75	12,7	57,2	1,41	1,49
Pr	0,39	0,42	0,2	0,18	2,37	1,09	5,6	0,13	0,15
Nd	1,21	1,3	0,63	0,75	3,76	2,92	16,1	0,55	0,59
Sm	0,22	0,28	0,18	0,13	0,76	1,28	3,41	0,08	0,096
Eu	0,044	0,05	0,034	0,036	0,13	0,083	0,12	0,0091	0,0093
Gd	0,14	0,17	0,094	0,088	0,53	1,93	2,85	0,06	0,07
Tb	0,019	0,02	0,021	0,0097	0,175	0,5	0,49	0,021	0,022
Dy	0,19	0,22	0,073	0,04	0,5	4,23	3,24	0,033	0,035
Ho	0,04	0,05	0,011	0,0097	0,158	1,06	0,65	0,01	0,012
Er	0,12	0,15	0,052	0,026	0,21	3,38	2,26	0,015	0,019
Tm	0,024	0,03	0,015	0,011	0,11	0,74	0,48	0,005	0,0052
Yb	0,15	0,16	0,099	0,041	0,18	4,69	3,38	0,055	0,061
Lu	0,031	0,04	0,013	0,0086	0,12	0,73	0,53	0,0093	0,0096
Y	1,38	1,45	0,66	0,44	15,2	140	60,8	0,45	0,48
Ga	19,3	20,1	18,8	17,5	16,9	0,96	0,99	14,8	15,6
Zr	6,62	8,12	4,45	4,13	5,9	5,01	6,2	2,9	3,24
Sc	1,86	1,75	1,48	2,73	3,4	0,2	0,2	1,18	1,22
Hf	0,26	0,25	0,28	0,09	0,3	0,24	0,53	0,1	0,1
Ta	0,76	0,8	0,25	0,22	0,94	0,66	1,07	0,1	0,1
Mo	4,62	4,5	3,36	5,07	-	6,34	20,3	2,2	2,39
Sb	0,51	0,55	0,45	0,29	0,8	0,26	0,74	0,25	0,26
Sn	0,97	1,0	0,87	0,56	1,8	0,56	0,63	0,85	0,86
Be	24800	24700	30600	31200	25,8	5,37	330	28900	29000
W	15,8	16,1	7,74	5,87	25,1	16,9	39	5,1	5,17
U	0,95	1,01	0,73	0,46	0,87	1,14	3,19	0,15	0,16
Li	645	650	584	711	448	4,4	20,4	225	233
Ge	0,23	0,25	0,15	0,19	1,8	0,1	0,21	0,1	0,1
Ag	0,044	0,045	0,042	0,022	0,76	0,015	0,05	0,15	0,12
Bi	3,85	3,77	7,28	5,57	19,6	0,49	0,54	8,5	7,06
ΣTR	9,228	10,79	4,982	4,52	28,7	265,57	187,4	3,66	3,89
(La/Yb) <sub>N</sub>	9,12	12,15	10,13	9,21	2,75	6,68	14,6	1,03	5,72

Примечание. Анализы выполнены методами ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (г. Москва). Верхние горизонты месторождения: 1-4 – берилл, 5- молибденит, 6-7 – флюорит; нижние горизонты: 8, 9 – берилл.

Таблица 4. Элементы-примеси в пиритах, вольфрамитах, мусковитах, турмалине, петалите и кварце Казандинского бериллиевого месторождения (г/т)

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V	4,31	6,82	7,4	7,8	6,01	2,5	16,3	3,83	3,75	3,3	3,49
Cr	4,6	5,51	10,1	10,5	5,18	1,4	4,48	6,3	5,2	4,36	4,33
Co	15,2	0,5	0,59	0,6	0,65	1,3	1,65	0,5	0,5	71,9	14,3
Ni	2,28	1,0	1,0	1,1	1,0	1,5	1,0	1,0	1,7	1,0	3,36
Cu	17,4	3,33	4,09	4,2	24,9	13,8	14,5	35,1	25,1	2,57	2,88
Zn	1020	62,4	26,3	25,8	247	242	289	7,6	18,6	2,05	4,61
Rb	3,98	14,1	40,8	38,9	534	1620	1520	2,3	35,5	2,0	9,65
Sr	3,08	9,38	12,0	11,5	19,1	24	2,39	503	12,8	2,07	2,5
Nb	0,5	2,07	181	190	53,1	235	229	5,1	1,8	0,5	1,12
Cs	0,68	249	4,87	5,2	622,6	1711	159	0,18	12,2	0,56	0,86
Ba	29,9	25,5	44,8	40,7	33,8	30	27,9	22,1	24,6	24,8	25,9
Pb	75	8,21	413	405	49,0	12,4	14,2	16,1	22,5	62,9	9,81
Th	0,32	0,28	1,0	1,1	2,41	8,1	7,68	44,1	0,16	0,21	0,33
La	0,83	0,74	7,31	7,45	2,63	0,91	0,83	28,1	0,37	0,49	1,56
Ce	1,7	1,29	18,7	19,1	6,69	3,01	2,16	103,1	0,79	0,96	2,97
Pr	0,18	0,13	2,22	3,1	0,88	0,4	0,31	21,5	0,099	0,092	0,39
Nb	0,83	0,47	9,08	10,2	3,13	1,3	1,27	116,1	0,32	0,51	1,33
Sm	0,12	0,16	2,77	3,0	1,04	0,51	0,45	90,0	0,14	0,097	0,36
Eu	0,028	0,024	0,15	0,11	0,045	0,017	0,016	5,9	0,018	0,017	0,014
Gd	0,065	0,14	2,98	3,02	0,89	0,38	0,36	85,0	0,057	0,063	0,22
Tb	0,014	0,044	0,64	0,8	0,19	0,07	0,065	27,7	0,014	0,005	0,027
Dy	0,075	0,21	4,79	5,1	1,75	0,51	0,48	201,1	0,089	0,021	0,14
Ho	0,014	0,048	0,77	0,82	0,36	0,13	0,11	32,0	0,027	0,0053	0,028
Er	0,023	0,15	2,28	2,3	1,06	0,4	0,41	95,1	0,033	0,011	0,052
Tm	0,015	0,04	0,48	0,5	0,26	0,5	0,48	23,2	0,0098	0,008	0,12
Yb	0,051	0,37	2,44	2,5	2,09	2,1	1,13	141	0,06	0,023	0,12
Lu	0,0053	0,049	0,33	0,35	0,38	0,2	0,18	23	0,14	0,0056	0,0069
Y	0,45	1,16	33,2	35,1	11,9	5,1	4,28	301	0,55	0,28	0,94
Ga	0,86	8,77	3,73	3,8	30,0	105,2	96,7	1,8	9,5	0,58	12,0
Zr	1,9	2,28	6,95	7,0	17,8	25,1	22,1	7,8	2,1	1,53	2,72
Sc	0,2	1,04	101,5	103,6	8,29	15,3	12,5	1,4	0,35	0,23	0,2
Hf	0,046	0,13	0,38	0,4	1,24	2,1	1,56	3,3	0,065	0,023	0,15
Ta	0,1	0,15	88,2	91,3	6,92	65,8	59,9	1,3	0,35	0,1	0,1
Mo	2,57	59	2,86	3,1	44,4	45,1	42,7	88	22,5	9,09	1,57
Sb	0,94	0,1	0,49	0,5	1,61	0,3	0,27	1,2	3,2	12,1	0,17
Sn	0,2	1,74	2,36	2,4	4,77	14,1	13,5	2,5	1,9	0,45	0,51
Be	15,9	183,0	24,0	21,3	7,23	18,5	17,2	1,3	3,3	53,9	8,34
W	1,23	-	-	-	12,1	95,3	91,7	501	60,3	0,82	1,07
U	0,12	6,82	11,7	12,1	28,8	4,05	3,06	0,9	0,13	1,11	0,11
Li	2,84	410	56,3	58,2	748	877	794	113	25500	3,63	10,4
Ge	0,1	0,8	1,24	1,3	2,3	4,5	3,45	2,1	6,5	0,1	0,11
Ag	14,4	0,024	0,067	0,07	0,22	0,16	0,15	0,3	0,2	3,87	3,46
Bi	118	0,74	1,54	1,7	2,83	10,3	9,25	25,0	5,5	460	434
ΣTR	4,4	5,03	88,14	93,45	33,29	15,54	12,53	1293,8	2,73	2,63	8,28
(La/Yb) <sub>N</sub>	10,52	1,32	1,98	1,96	0,83	0,28	0,48	0,13	4,03	14,1	8,53

Примечание. Анализы выполнены методами ICP-MS и ICP-AES в лабораториях ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (г. Москва). Верхние горизонты месторождения: 1- пирит, 2-4- вольфрамит, 5 – турмалин, 6, 7- мусковит, 8- кварц, 9- петалит; нижние горизонты: 10, 11- пирит.

ет о более открытой системе при становлении бериллиевого оруденения или его более глубоко эрозионном срезе, чем вольфрамового месторождения.

Нами изучено содержание элементов-примесей в 20 минералах бериллиевого Казандинского месторождения, представленных в табл. 3 и 4. Суммарные концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ) в минералах месторождения варьируют от 2,63 (в пирите) до 1293,8 (в кварце). Отношения  $(La/Yb)_N$  варьируют от 0,13 (в кварце) до 14,1 (в пирите). Таким образом, выявляется обратная зависимость суммы РЗЭ и степени дифференциации РЗЭ. Обращают на себя внимание высокие концентрации лития и цезия в монофракциях берилла, молибденита. Вероятно, повышенные концентрации этих элементов не случайны. В грейзенах и мусковитовых оторочках кварцевых жил впервые нами установлены собственные минералы цезия и лития. По геохимическим пробам в таких участках содержания оксида лития варьируют от 0,1 до 0,6 %, а оксида цезия - от 0,01 до 0,1 %. Примечательно, что концентрации лития и цезия в бериллах верхних горизонтов месторождения выше, чем в нижних (табл. 3). Наиболее высокие концентрации цезия и лития зафиксированы в мусковитах и турмалине грейзенов (табл. 4). Последний в грейзенах нередко образует полихромные кристаллы размерами от 1 до 3 см. Вероятно, примеси цезия и лития и являются хромофорами в полихромном турмалине. Мусковит грейзенов характеризуется высокими концентрациями Rb, Nb, Cs, Ta, превышающими фермы этих элементов в минерале. Запасы BeO категории В + С1 + С2 для Казандинского бериллиевого месторождения составляют 1 218,8 т.

Казандинское вольфрамовое месторождение открыто в 1944 г. Разведывалось с поверхности канавами и шурфами в 1945–1947 гг. Дальнейшая разведка (1948–1952 гг.) проводилась совместно с эксплуатацией, добыто – 9,5 т  $WO_3$ . Расположено в эндоконтакте Казандинского гранитного массива. Оруденение выявлено в 9 кварцевых жилах, имеющих северо-западную ориентировку и крутое падение. Основной интерес представляет Главная жила, прослеженная на 144 м при мощности от 0,05 до 2,5 м. Кварц крупнозернистый светло-серый с вкрапленностью флюорита. Из рудных минералов присутствуют вольфрамит, шеелит, висмутин, халькопирит, молибденит, пирит, сфалерит. Вольфрамит представлен гюбнеритом, который встречается в виде вкрапленности (0,5–1 см) и сростков кристаллов размерами до 10 см. Состав гюбнерита (мас. %):  $WO_3$  – 74,4–74,9, MnO – 18,0–20,6, CaO – 3,3–3,6,  $SiO_2$  – 1,2–1,5. Высокое содержание извести обусловлено микровключениями шеелита. Последний нередко образует зёрна среди сульфидов размерами от 0,5 до 1,8 мм. Местами совместно с гюбнеритом отмечается вкрапленность флюорита размерами от 1 до 5 мм. Околорудные изменения проявлены в виде грейзенизации гранитов, окварцевании и пиритизации. Мощность метасоматитов достигает 15 м. Местами среди грейзенов встречается мелкочешуйчатый молибденит.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные по Казандинскому рудному полю свидетельствуют об общих закономерностях эволюции состава магматитов. Так же все породы отвечают легкоплавким выплавкам гранитов, вероятно, за счёт эклогитов и гранатовых амфиболитов. При этом степень легкоплавкости увеличивается в направлении от гранитов к лейкогранитам и рибекитовым лейкогранитам.

Гранитоиды Казандинского массива формировались в гипабиссальной обстановке. На это указывают: наличие зон закалки, миароловые текстуры, характер контактового метаморфизма (роговики пироксен-роговообманковой фации), палеотемпературы минеральных равновесий.

По данным термобарогеохимического анализа, содержание основных компонентов флюида ГЖВ кварца для бериллиевого Казандинского месторождения близки таковым Казандинского вольфрамового месторождения. Казандинский массив анорогенных щелочных гранитоидов представляет перспективы на бериллиевое оруденение. Многие проявления в



рудном узле не доизучены. Вблизи месторождений прогнозируется нетрадиционный тип бериллиевого оруденения в метасоматитах.

Полученные данные указывают на то, что многие минералы Казандинского месторождения характеризуются повышенными концентрациями избирательного спектра элементов. Особенно показательны концентрации лития и цезия во многих минералах, указывающих на геохимическую специализацию и минералов, и руд этого месторождения, которое не изучено на указанные элементы. Нами установлены и минеральные формы повышенных концентраций цезия и лития (поллуцит и петалит). По геохимическим пробам грейзенов с петалитом и поллуцитом выявлены промышленные концентрации цезия и лития. Это значительно увеличивает перспективы Казандинского месторождения как комплексного объекта, который ранее считался чисто бериллиевым. Распределение элементов-примесей в минералах указывает на вертикальную зональность оруденения: на верхних горизонтах преобладают в минералах Li, Cs, а на нижних горизонтах (300 м по вертикали) – преобладают Ag, Bi.

### **Литература**

*Гусев А.И., Гусев Н.И., Красова А.С. // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 4. – С. 222–226.*

*Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М. Петрология и рудоносность Белокурихинского комплекса. – Бийск, 2008. – 165 с.*

*Гусев А.И. Постколлизийные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 217 с.*

*Гусев А.И. Петрогеохимия и потенциальная рудоносность интрузий айского комплекса Горного Алтая // Отечественная геология. – 2012. – № 1. – С. 63–70.*

*Гусев А.И. Типы бериллиевого оруденения Алтая // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 2. – С. 31–35.*

*Гусев А.И. Петрология и рудоносность анорогенных щелочных гранитоидов Казандинского массива Горного Алтая // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 1. – С. 88–93.*

*Куприянова И.И., Шпанов Е. Бериллий России: состояние, проблемы развития и освоения минерально-сырьевой базы. – М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1996. – 39 с.*