

А.Н. Юричев, А.И. Чернышов

*Национальный исследовательский
Томский государственный университет, Томск, Россия*

**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЗМА
МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАГМАТИЗМА
КАНСКОЙ ГЛЫБЫ (СЗ ВОСТОЧНОГО САЯНА)**

Показаны различные формационные типы мафит-ультрамафитовых массивов Канской глыбы северо-западной части Восточного Саяна, которые объединены в четыре комплекса: кингашский, идарский, талажинский и кулибинский. Рассматриваются особенности химизма данных комплексов и делается предположение об их происхождении из единого исходного глубинного родоначального расплава, в процессе его длительной эволюции в верхней мантии и земной коры.

Ключевые слова: *ультрамафитовые и мафит-ультрамафитовые комплексы, Канская глыба, химизм, родоначальный расплав, генезис.*

В северо-западной части Восточного Саяна выходы пород раннего докембрия распространены в пределах Бирюсинского и Канского выступов фундамента Сибирской платформы, а также в Дербинском антиклинории Восточно-Саянской складчатой системы. Исследование этих структур показало, что Канская глыба по своему внутреннему строению, набору и составу геологических формаций, характеру магматизма и особенностям металлогении весьма сходна с типичными раннедокембрийскими зеленокаменными поясами древних кратонов [15]. Размеры глыбы примерно 200×(15–50) км. В ее строении принимают участие метаморфизованные, преимущественно вулканогенные троговые комплексы, включающие протрузии и интрузии ультрамафит-мафитового состава, мигматит-гнейсовые купола и гранодиорит-плагиигранитные массивы, а также гнейсы и гранитоиды основания (рис. 1).

При проведении ранее геолого-съёмочных и прогнозно-металлогенических работ, тематических исследований на территории Канской глыбы среди метаморфизованных осадочно-вулканогенных толщ были выявлены многочисленные ультрамафитовые и мафит-ультрамафитовые тела, в которых неоднократно отмечалась рудная минерализация меди, никеля и благородных металлов [2, 14, 16, 22]. Они были отнесены к четырем формационным типам и объединены в четыре комплекса: реститовый – идарский дунит-гарцбургитовый и магматические – кингашский дунит-верлит-пикритовый, талажинский плагидунит-

троктолит-габбро-анортозитовый и кулибинский перидотит-пироксенит-габбровый (рис. 1).

Структурная позиция, генезис, формационная принадлежность и металлогеническая специализация данных комплексов остаются дискуссионными *до настоящего времени*.

В данной статье предпринята попытка охарактеризовать химические особенности пород перечисленных комплексов с целью оценки их схожести и различий, а также проверки предположения о возможной общности их глубинного родоначального источника.

Краткая геологическая характеристика исследуемых объектов

Кингашский дунит-верлит-пикритовый комплекс (PR₁ по [18], R₁ по [3]) представлен линзовидными телами размером от нескольких десятков метров до 15 км при мощности от первых метров до 100 м и более, которые, обычно, имеют северо-западное простирание и развиты в составе отложенный караганского комплекса. Характерной особенностью пород кингашского комплекса является наличие в них кумулятивных и бластопорфировых структур, свидетельствующих об их образовании в гипабиссальных и субвулканических условиях [8].

Наиболее представительным и эталонным объектом этого комплекса является Кингашский массив, который неоднократно изучался многими исследователями [3–4, 6, 9, 17, 19, 25, 27] и является рудовмещающим для одноименного Pt-Cu-Ni месторождения. Кингашский мафит-ультрамафитовый массив отличается довольно сложным внутренним строением. Несмотря на пристальное к нему внимание, многие аспекты его внутреннего строения и происхождения остаются дискуссионными. Одни исследователи относят его к расслоенным интрузиям [4, 17], другие считают его субвулканическим телом базальт-коматиитовой формации [6, 19], третьи рассматривают его в качестве фрагмента кингашского базальт-коматиитового вулканического комплекса [9–10], четвертые отмечают, что по формационным признакам массив больше соответствует полигенным комплексам, а не расслоенным интрузиям [3, 20]. Кингашский массив в плане картируется в виде крупной линзы (3×0,7 км), вытянутой в северо-западном направлении, и имеет согласное залегание со структурой пород обрамления. Контакты его с вмещающей толщей тектонические. Массив сложен ультрамафитами и габброидами, со значительным преобладанием первых. Ультрамафиты обнажаются в его северной части, а в южной они перекрываются габброидами.

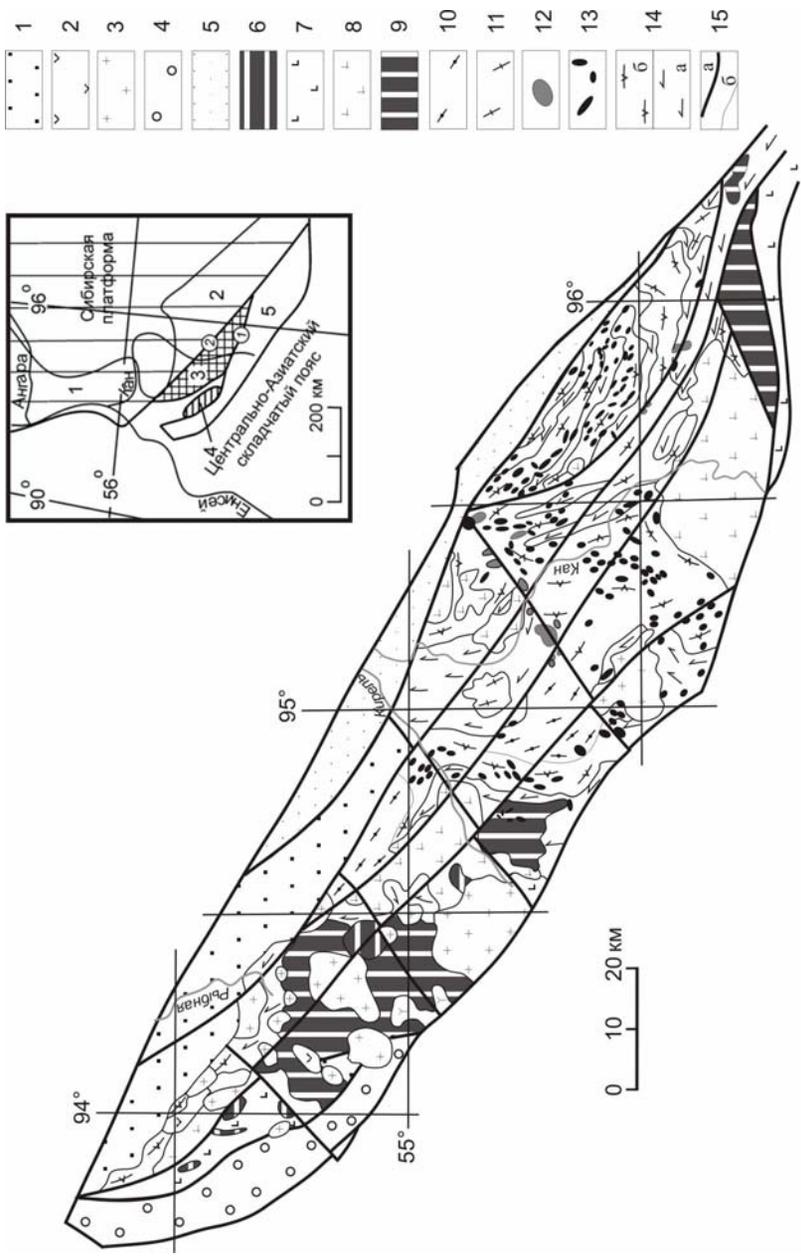


Рис. 1. Стратиграфические и магматические образования Канской глыбы [21]:

- 1 – верхнепалеозойско-мезозойские, преимущественно терригенные отложения: карымовская, павловская и кунгурская свиты,
2 – нижнедевонские (возможно, частью ордовикские) вулканиты, 3 – ордовикская лейкогранитовая формация: кутурчинский комплекс,
4 – кембро-ордовикские красноцветные терригенные отложения Баджейского прогиба, 5 – венд-нижнекембрийские терригенно-карбонатные отложения, 6 – средне-верхнерифейский плагиодунит-троктолит-габбро-анортозитовый талажинский комплекс,
7 – средне-верхнерифейские осадочно-вулканогенные образования кувайской серии, 8 – познерифейский гранитоидный канский комплекс, 9 – раннепротерозойская-среднерифейская (?) перидотит-пироксенит-габбровая формация: кулибинский комплекс (возможно, полихромный; возможно, включает массивы рудоносного кингашского комплекса), 10 – раннепротерозойские амфиболит-гнейсовые толщи анжинского структурно-вещественного комплекса, 11 – раннепротерозойский мигматит-плагиогранитный тукшинский комплекс, 12 – раннепротерозойский-нижнерифейский дунит-верлит-пикритовый кингашский комплекс малых расчлененных дифференцированных массивов, 13 – раннепротерозойский дунит-гарцбургитовый идарский комплекс (штоки, дайки, линзы, силы) (часть тел практически не изучены, вероятно, могут принадлежать кингашскому комплексу), 14 – верхнеархейские (?) амфиболитовые (а) и гнейсовые (б) толщи карганского комплекса на Канском выступе, 15 – глубинные северо-западные и северо-восточные разломы (а), геологические границы (б).
- На врезке положение Канской глыбы в структурах юго-западного обрамления Сибирской платформы. Выступы кристаллического фундамента платформ: 1 – Ангаро-Канский, 2 – Присаянский. Докембрийские структуры складчатого обрамления: 3 – Канский, 4 – Арзыбейский, 5 – Дербинский блоки. Разломы (цифры в кружках): 1 – Г-Г главный Восточносаянский, 2 – Канско-Агульский

Согласно нашим исследованиям, ультрамафитовая часть разреза массива сложена преимущественно кумулятивными дунитами и их серпентинизированными разностями, при этом верлиты и пикриты пользуются ограниченным распространением [6]. Выделяемые породы не обнаруживают какой-либо стратификации в массиве, а распределяются хаотично. Можно предположить, что образование ультрамафитового тела осуществлялось в магматической камере в условиях активной тектонической обстановки, когда режим сжатия периодически сменялся растяжением. В моменты растяжения, очевидно, происходило пульсационное внедрение в камеру по образовавшимся в ней ослабленным зонам неоднородных по составу ультраосновных расплавов, которые возникли в результате магматической дифференциации в глубинных промежуточных магматических очагах. Габброиды, перекрывающие ультрамафиты, очевидно, представляют собой последующую, оторванную по времени фазу внедрения, при этом наблюдаемые на контакте ультрамафитов и габброидов клинопироксениты, вероятно, являются реакционными образованиями [20].

Другие многочисленные массивы ультрамафитов кингашского комплекса также обнаруживают неоднородный петрографический состав. На Верхнекингашском участке они представлены, главным образом, дунитами, их серпентинизированными разностями и являются очень близкими ультрамафитам, слагающим Кингашский массив. На Куевском участке ультрамафиты характеризуются значительным разнообразием петрографического состава. Они представлены дунитами, верлитами, их серпентинизированными разностями и неоднородными по составу метапикритами. На Кусканакском участке среди ультрамафитов кингашского комплекса наиболее распространены, главным образом, различные по составу метапикриты, при подчиненной роли серпентинитов. Такое разнообразие состава ультрамафитов кингашского комплекса на исследуемой территории, вероятно, обусловлено различной степенью дифференцированности исходного магматического расплава пикритового состава и глубиной кристаллизации пород [Там же].

Идарский дунит-гарцбургитовый комплекс (PR₁ по [10]) представлен на Канской глыбе более чем 350 мелкими телами чаще линзовидной формы и сложен преимущественно серпентинитами по дунитам и гарцбургитам. Тела комплекса залегают среди отложений караганской серии и в основном приурочены к глубинным зонам разломов [Там же]. Они имеют монотонный состав и иногда характеризуются повышенным содержанием хрома. В большинстве случаев они полностью серпентинизированы и представлены хризотил-антигоритовыми серпентинитами. Характерной особенностью пород является наличие в них гранобластовых и порфирокластовых структур, свойственных для метаморфических ультрамафитов [5]. Ультрамафиты идарского комплекса представляют собой реститовые образования, которые, вероятно, были выведены в верхние этажи литосферы по эшелонированным глубинным надвигам, обрамляющим с юго-запада Сибирскую платформу [20].

В результате тектонических процессов ультрамафиты кингашского и идарского формационных типов нередко оказываются пространственно сближены и в отдельных случаях совмещены. Стоит отметить, что геологическая позиция, взаимоотношение с вмещающими породами, фациальная принадлежность выделенных комплексов остаются недостаточно ясными. Например, целый ряд мелких линзовидных тел, относимых к идарскому комплексу, могут оказаться будинами стратифицированных тел кингашского комплекса.

Талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый комплекс (R_{2-3} по [10]) в настоящее время представлен на Канской глыбе одним одноименным расслоенным массивом, локализованным в пределах ее северо-западного окончания на водоразделе верхнего течения рек Дурья и Тазик. Выход на дневную поверхность этого массива имеет округлую форму ($6 \times 7,5$ км²), а на глубине напоминает чашу и прослеживается на 1 200–1 500 м от поверхности. По результатам изучения представительных пород в разрезе Талажинского плутона реконструируется четыре мегаритма переслаивания снизу вверх плагиодунитов, троктолитов и анортозитов [21, 26]. Мощность прослоев пород в ритмах колеблется от 2 до 70 м. Подошва массива на севере падает под массив под углом 30–40° и контактирует с толщей стратифицированных амфиболитов, кальцифиров и мраморов.

По площадным размерам (более 40 км²), породному составу (плагиодуниты, троктолиты, оливиновые габбро и анортозиты), характеру ритмичности (четыре горизонта мощностью 180–400 м и пачки по 20–26 м) и другим признакам в пределах Канской глыбы массив не имеет аналогов. Вероятней всего, он являет собой рифейскую дунит-троктолит-габбровую формацию, представленную на южной окраине Сибирской платформы множеством плохо изученных массивов, из которых некоторые известны своей сульфидной Ni рудоносностью [7].

Кулибинский перидотит-пироксенит-габбровый комплекс (PR_1 по [10]) представлен дифференцированными массивами и телами размером до 5,5 км², которые локализованы на Канской глыбе в долинах рр. Кулиба, Кулижа, Мал. Агул, Кунгусс и на водораздельных хребтах между ними [16]. Они залегают в окружении интенсивно дислоцированных позднеархейских (?) – раннепротерозойских амфиболито-гнейсовых пород караганской серии, представленной амфиболитами, плагиоклаз-амфиболитовыми сланцами, биотитовыми и двуслюдянными гнейсами с прослоями мраморов и кварцитов. Массивы комплекса характеризуются на современном денудационном срезе преимущественно габброидным составом (роговообманковые габбро, габбро-нориты, нориты и габбро-порфириды) при подчиненной роли ультрамафитов (лерцолиты, верлиты, роговообманковые вебстериты, клинопироксениты и горнблендиты) [21, 24]. Установленные аэромагнитные аномалии на исследуемой территории (по данным А.Н. Смагина, А.В. Ренжина, 2006), очевидно, указывают на наличие значительных по объему пластин перидотитов в основании массивов комплекса и их прак-

тически полную сохранность в результате слабого современного эрозионного среза последних.

Химические особенности

Для интерпретации химических особенностей пород исследуемых комплексов авторами было привлечено 32 полных химических оригинальных анализа наиболее представительных пород из данных объектов (табл. 1). Нормирование химических составов проанализированных пород на углестый хондрит показывает, что содержание лантаноидов для ультрамафитов (дунитов и гарцбургитов) идарского комплекса, пород (дунитов и габброидов) кингашского комплекса и пород (плагиодунитов и габброидов) талажинского комплекса близки содержаниям в эталонном хондрите и между собой (рис. 2). При этом кингашские дуниты и габброиды в основном формируют недифференцированные «сглаженные» графики распределения, в то время как породы идарского и талажинского комплексов постоянно обнаруживают обогащение легкими REE, что придает их графикам распределения слабое отрицательное наклонение от легких к тяжелым REE. Для пород идарского комплекса постоянно отмечается наличие Eu-минимума, а для пород талажинского комплекса – интенсивного Eu-максимума. По общему суммарному содержанию REE в породе, талажинские плагиодуниты являются наиболее обедненными, чем дуниты из двух других комплексов.

Содержание лантаноидов в пикритах кингашского комплекса изменяются в широком диапазоне от 2 (в оливиновых пикритах) до 10 хондритовых норм (в пироксеновых и амфиболовых пикритах). Наиболее высокие содержания лантаноидов наблюдаются для пород кулибинского комплекса и составляют от 8 до 30 хондритовых норм, средние – 10 хондритовых норм. При этом как первые, так и вторые породы в целом характеризуются слабой дифференциацией спектров при незначительном преобладании легких земель над тяжелыми REE. В породах кулибинского комплекса постоянно отмечается слабо выраженная отрицательная Eu-аномалия.

Спайдер-диаграммы, построенные для пород исследуемых комплексов (рис. 3), также позволяют по схожести разделить их на две группы. В первую группу входят породы идарского и талажинского комплексов, а также дуниты и габброиды кингашского комплекса; во вторую группу – кингашские пикриты и породы кулибинского комплекса.

Спайдер-диаграммы для пород первой группы характеризуются близкими значениями REE и редких элементов, содержания которых изменяются от 0,1 до 10 норм примитивной мантии. Постоянно отмечаются отрицательные Rb, Th, Ta-Nb, Zr-Hf и положительные Cs, Ba, U и K пики. Однако имеются и отличительные особенности для каждого комплекса. Так, для пород талажинского и кингашского комплексов в отличие от идарского комплекса характерен Sr положительный пик, интенсивность которого возрастает от ультрамафитов к габброидам, а также «корытообразный» La-Ce-Pt отрицательный пик. Постоянно для пород талажинского комплекса и

нередко для пород кингашского отмечается слабовыраженный Y положительный пик. Отличие двух комплексов заключается в присутствии на спайдер-диаграммах талажинского комплекса положительного Eu и Tl пика. Идарский комплекс также отличается от двух охарактеризованных комплексов наличием на спайдер-диаграммах Eu и Tl отрицательных пиков. При этом отмечено, что интенсивность Tl пика возрастает от гарцбургитов к дунитам, что связано с большей деплетированностью последних REE и редкими элементами в целом.

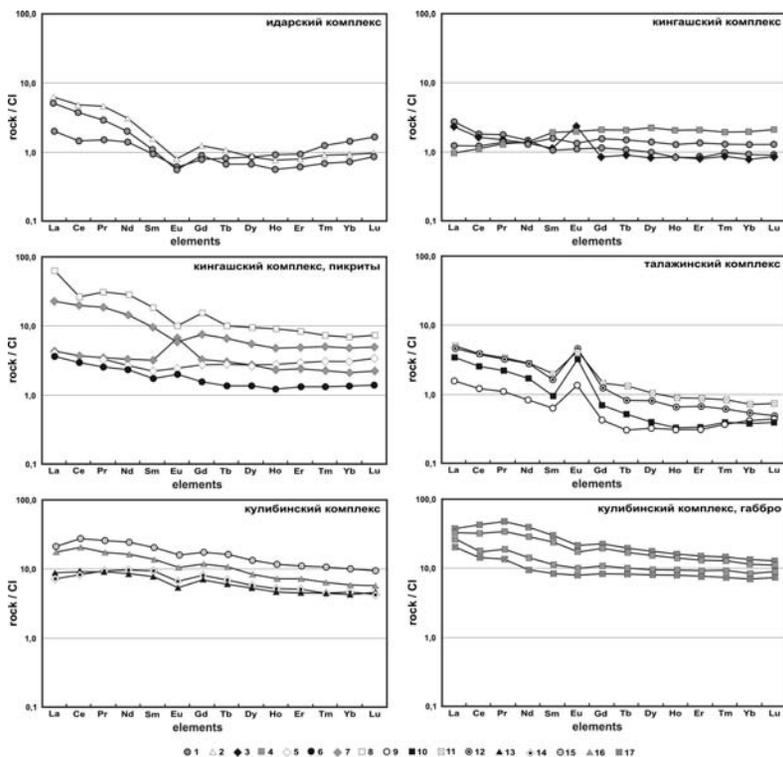


Рис. 2. Редкоземельные спектры ультрамафитов и мафитов исследуемых комплексов Канской глыбы Восточного Саяна, нормированные к хондриту [28]:
 1 – дунит, 2 – гарцбургит, 3 – горнблендит, 4 – габбро, 5 – оливинный пикрит, 6 – оливин-пироксеновый пикрит, 7 – пироксеновый пикрит, 8 – амфиболовый пикрит, 9 – плагиодунит, 10 – троктолит, 11 – оливинное габбро, 12 – анортозит, 13 – лерцолит, 14 – верлит, 15 – вебстерит, 16 – роговообманковый перидотит, 17 – габбро-норит

Распределение элементов-примесей в породах исследуемых ультрамафитовых и мафит-ультрамафитовых комплексов Канской глыбы, г/т

Ком-кс	Идарский				Кингашский				Талажинский				Кулибинский											
	5173	6013	18448	1147	60197	7003	60198	134	6028/4	1093	1109	ПлД	5011	5014	5003/1	5020/2	Б-43	905	910	906	904	Г6-Н	5142	901
Обр.	Д	Д	Гц	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	ПлД	Тр	Тр	Ол-Г6	Ан	Лер	Вер	РоП	Веб	Г6-Н	Г6	Г6	Г6	Г6
Cs	0,17	0,52	0,41	0,15	0,18	0,22	0,20	0,23	0,22	0,15	0,16	0,54	0,99	0,91	0,61	0,18	0,07	0,16	0,07	0,23	0,11	0,16	0,16	0,16
Rb	1,10	2,42	2,60	0,61	0,73	2,36	1,63	1,48	1,92	0,56	0,76	1,98	5,0	2,8	4,3	2,7	1,4	2,9	1,7	21,1	19,8	23,74	23,74	23,74
Ba	20,66	96,68	70,96	13,75	13,01	16,81	14,64	24,07	91,54	19,41	10,73	31,20	35,14	47,17	47,12	44,4	34,8	155	47,9	72	75	154	154	154
Th	0,22	0,16	0,45	0,07	0,04	0,19	0,17	0,53	0,26	0,03	0,03	0,09	0,26	0,06	0,09	0,43	0,27	0,64	0,43	1,56	0,90	1,36	1,36	1,36
U	0,46	0,22	1,24	0,04	0,26	0,36	0,09	0,18	0,41	0,03	0,02	0,03	0,07	0,03	0,04	0,24	0,078	0,21	0,14	0,23	0,2	0,27	0,27	0,27
Ta	0,03	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,13	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,042	0,051	0,10	0,10	0,11	0,14	0,18	0,18	0,18
Nb	0,38	0,38	0,72	0,19	0,19	0,37	0,37	2,3	0,39	0,093	0,13	0,18	0,60	0,20	0,28	0,46	0,74	1,3	1,3	3,2	2,93	3,275	3,275	3,275
K	468,5	377,9	702,9	396,4	357,1	1471,4	750,3	1398,9	1098,3	420,0	463,9	860,3	1762,3	1318,4	1439,2	1217,7	1000,4	2345,2	1614,9	2375,5	2725,8	5128,2	5128,2	5128,2
La	1,19	0,48	1,44	0,63	0,28	0,89	0,85	5,36	15,14	0,37	0,39	0,81	1,11	1,20	1,09	2,1	1,7	4,1	5,1	8,92	6,38	7,85	7,85	7,85
Ce	2,21	0,87	2,94	1,05	0,70	0,21	1,78	12,00	16,54	0,74	0,84	1,56	2,33	2,33	2,29	5,5	5,0	12,4	16,8	26,11	10,57	19,76	19,76	19,76
Pr	0,26	0,13	0,40	0,15	0,11	0,30	0,23	1,64	2,80	0,10	0,11	0,20	0,29	0,30	0,29	0,81	0,8	1,6	2,3	4,27	1,68	3,1	3,1	3,1
Sr	8,23	17,97	14,77	11,77	20,41	18,29	21,95	26,69	56,66	47,66	112,14	458,20	384,15	469,28	798,59	72	59	129	126	116	108	144	144	144
P	44,7	56,0	83,1	46,3	56,3	91,5	70,4	89,6	60,5	78,4	76,5	81,3	108,1	82,0	99,0	103,6	167,4	213,7	133,9	267,4	268,5	179,6	179,6	179,6
Nd	0,90	0,65	1,40	0,65	0,59	1,20	1,07	6,47	13,18	0,37	0,46	0,77	1,27	1,28	1,26	3,9	4,4	7,4	11,0	18,15	6,46	13,09	13,09	13,09
Zr	1,81	1,33	7,12	2,48	3,48	5,01	6,53	13,09	2,71	1,96	2,62	2,62	6,62	4,58	3,67	19,5	17,8	32,5	40,5	46,55	15,50	33,63	33,63	33,63
Hf	0,05	0,04	0,19	0,06	0,11	0,16	0,21	0,39	0,11	0,04	0,07	0,06	0,13	0,13	0,08	0,60	0,64	1,0	1,4	1,55	0,52	1,33	1,33	1,33
Sm	0,16	0,14	0,23	0,15	0,22	0,33	0,26	1,42	2,76	0,09	0,10	0,14	0,22	0,29	0,24	1,1	1,4	2,0	3,1	4,51	1,68	3,595	3,595	3,595
Eu	0,03	0,03	0,05	0,06	0,07	0,14	0,11	0,32	0,56	0,08	0,08	0,18	0,17	0,24	0,26	0,30	0,37	0,59	0,90	1,20	0,58	0,99	0,99	0,99
Gd	0,17	0,15	0,24	0,22	0,29	0,54	0,31	1,50	3,07	0,08	0,09	0,14	0,28	0,29	0,24	1,4	1,6	2,4	3,4	4,53	2,13	3,82	3,82	3,82
Ti	92,2	118,9	418,5	445,0	734,4	609,5	767,1	1452,9	287,6	410,9	400,5	298,0	574,6	882,6	704,8	1243,9	2070,1	3153,9	3067,1	5020,7	4610,5	6291,6	6291,6	6291,6
Tb	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,10	0,05	0,24	0,38	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,03	0,22	0,25	0,39	0,59	0,73	0,37	0,62	0,62	0,62
Dy	0,16	0,20	0,20	0,24	0,33	0,66	0,33	1,33	2,34	0,08	0,09	0,10	0,21	0,26	0,20	1,3	1,4	2,0	3,3	4,30	2,38	3,78	3,78	3,78

Ком-кс	Иларский				Кингашский				Талажинский				Кулибинский									
	5173	6013	18448	1147	60197	7003	60198	134	6028/4	1093	1109	5011	5014	5003/1	5020/2	Б-43	905	910	906	904	5142	901
Обр.	Д	Д	Гц	Д	Д	ОПк	ОППк	ППк	АПк	ПлД	ПлД	Тр	Тр	Ол-Гб	Ан	Лер	Вер	РоП	Веб	Гб-Н	Гб	Гб
Но	0,03	0,05	0,04	0,04	0,07	0,15	0,07	0,26	0,50	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,04	0,26	0,28	0,40	0,65	0,90	0,53	0,80
Ег	0,10	0,15	0,13	0,13	0,21	0,47	0,21	0,77	1,35	0,05	0,07	0,05	0,11	0,14	0,11	0,72	0,80	1,1	1,8	2,44	1,50	2,14
У	0,88	1,80	1,16	1,79	2,04	3,92	2,24	10,62	18,34	0,76	0,76	0,74	1,51	1,72	1,29	6,7	7,3	9,9	16,2	21,9	13,7	18,7
Тм	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,07	0,03	0,12	0,18	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,11	0,11	0,15	0,26	0,36	0,23	0,315
Уб	0,11	0,23	0,15	0,15	0,20	0,49	0,22	0,78	1,14	0,07	0,08	0,06	0,10	0,12	0,09	0,69	0,73	1,0	1,7	2,19	1,39	1,88
Лу	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,08	0,03	0,12	0,18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,11	0,11	0,14	0,23	0,32	0,22	0,28

Примечание. Редкие и редкоземельные элементы в исследуемых образцах определялись методом ICP-MS в Институте геологии и минералогии (ИГиМ) СО РАН (г. Новосибирск), аналитик М.Ю. Подлипский. Наименование пород: Д – дунит, Гц – гарцбургит, ОПк – оливиновый пикрит, ОППк – оливин-пироксеновый пикрит, ПППк – пироксеновый пикрит, АПк – амфиболовый пикрит, ПлД – плагиодунит, Лер – лердолит, Вер – верлит, РоП – роговообманковый перидотит, Веб – вебстерит, Гб – габбро, Гб-Н – габбро-норит, Гр – троктолит, Ол-Гб – оливиновое габбро, Ан – анортозит.

По общему суммарному содержанию REE и редких элементов в породе талажинские плагиодуниты являются наиболее обедненными, чем дуниты из двух других комплексов в первой группе.

Спайдер-диаграммы для пород второй группы в целом характеризуются содержаниями REE и редких элементов от 1 до 10 норм примитивной мантии для кингашских пикритов и кулибинских перидотитов и до 30 норм примитивной мантии для кулибинских габброидов.

Отмечается, что кингашские пикриты по распределению спектров REE и редких элементов подразделяются на две подгруппы. К первой подгруппе относятся оливиновые и оливин-пироксеновые пикриты, которые занимают промежуточное положение между первой и второй группами и обнаруживают большое сходство с кингашскими дунитами, отличаясь только несколько большими суммарными содержаниями REE и редких элементов (рис. 3). Ко второй подгруппе отнесены пироксеновые и амфиболовые пикриты, которые по содержанию REE и редких элементов и архитектуре спайдер-диаграмм близки породам кулибинского комплекса и вместе с ними и формируют собственно вторую группу. Специфичным от первой группы для спайдер-диаграмм второй группы является присутствие «корытообразного» La-Ce-Pr и Nd положительных пиков и P отрицательного пика. Для спайдер-диаграмм пироксеновых и амфиболовых пикритов кингашского комплекса и перидотитов кулибинского комплекса также характерны Eu и Ti отрицательные пики.

Обсуждение полученных результатов и выводы

Полученные результаты показывают, что по своим химическим особенностям породы исследуемых комплексов очень схожи. Эта особенность позволяет предположить, что породы исследуемых комплексов являются продуктами одного протолита мантийного субстрата, который в одних случаях претерпел интенсивное деплетирование, в других подвергался высокой либо незначительной степени плавления с образованием, соответственно, высокомагнезиального либо основного расплава с последующей его дифференциацией в промежуточных магматических камерах и кристаллизацией на различных гипсометрических уровнях в земной коре. В пользу данного предположения также служат предполагаемые близкие возрастные датировки для исследуемых комплексов.

Породы идарского дунит-гарцбургитовый комплекса являются реститовыми образованиями. Некоторое обогащение легкими REE пород идарского комплекса по отношению к породам кингашского комплекса не может быть обусловлено спецификой рестита, так как породы комплекса сложены главным образом оливином и ортопироксеном, кристаллическая структура которых способна накапливать в себе очень ограниченные количества REE. Однако повышенные количества примеси легких REE можно объяснить их сосредоточением в виде не изоморфной, а неструктурной примеси, сконцентрированной во флюидных микровключениях

либо во внутризерновых и межзерновых микротрещинах [13]. Причиной аномального обогащения ультрамафитовых реститов неструктурной примесью легких REE могут быть как эндогенные, так и экзогенные флюиды. В частности источником привноса легких REE в ультрамафиты идарского комплекса могли быть флюиды, отделявшиеся от более позднего мафитового расплава, из которого раскристаллизовались кингашские габброиды. Не исключено, что подобное обогащение легкими REE могло произойти и в процессе серпентинизации под влиянием метеорных вод [29].

Продуктами наиболее ранней дифференциации высокомагнезиального расплава, очевидно, являются дуниты, верлиты, оливиновые и оливинпироксеновые пикриты кингашского комплекса, которые кристаллизовались в гипабиссальных и субвулканических условиях. Невысокие содержания REE элементов в данных породах обусловлены высокой ролью в их составе оливина, который, как доказано ранее, не способен концентрировать в себе сколько-нибудь значительные количества этих элементов [13]. Габброиды, перекрывающие кингашские ультрамафиты, очевидно, представляют собой последующую, оторванную по времени фазу внедрения, что предполагалось и ранее [3, 20].

Значительное химическое сходство спайдер-диаграмм ультрамафитов и габброидов кингашского и талажинского комплексов (рис. 4) позволяет наряду с принятой классической моделью кристаллизационно-гравитационной дифференциации мафитовых расплавов предположить концептуально новую гипотезу формирования интрузивных тел талажинского комплекса. По мнению авторов, породы талажинского комплекса являются гибридными образованиями, полученными в результате кристаллизации гибридного магматического расплава, сформировавшегося в процессе контаминации основными расплавами ранее возникших ультрамафитов в условиях мезоабиссальных и абиссальных глубин [13]. Более позднее внедрение габброидов и их активное воздействие на более ранние ультрамафиты детально описаны в Йоко-Довыренском и Чайском никеленосных плутонах [11–13], близких по формационной принадлежности талажинскому комплексу, а также находят подтверждение в результатах численного моделирования процессов образования троктолитов на основе данных их химического состава [1].

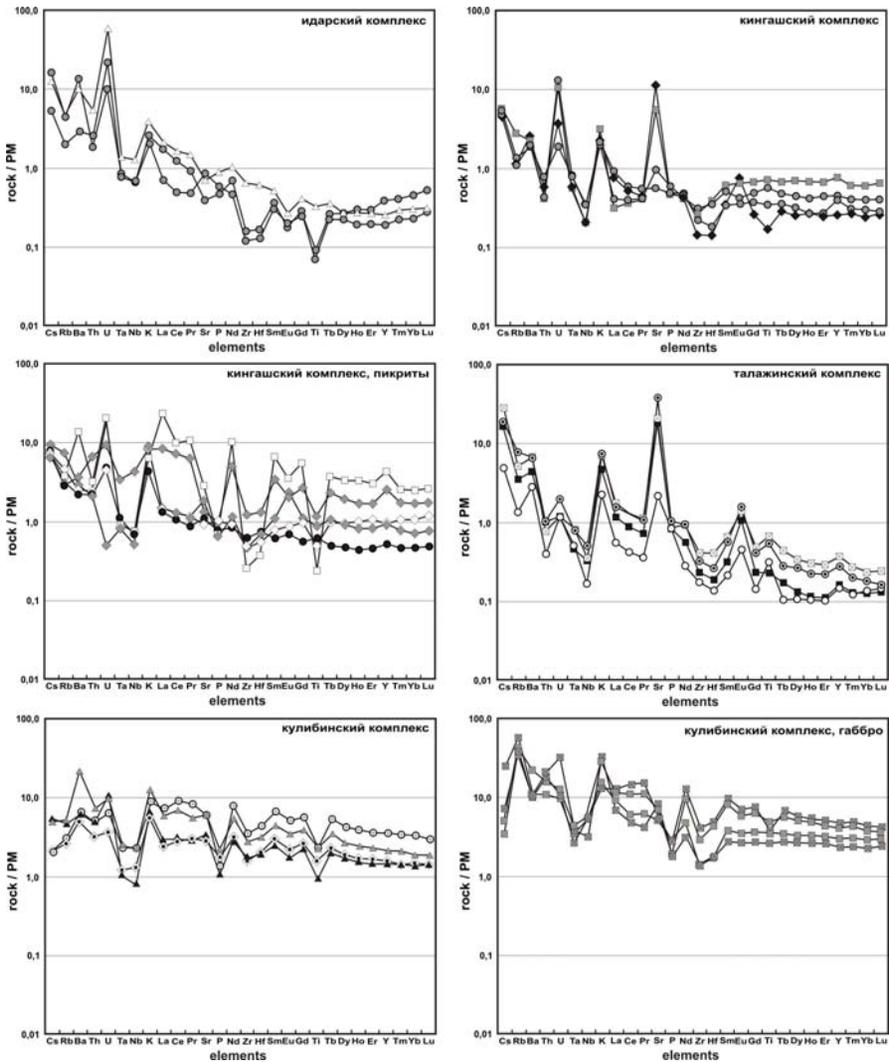


Рис. 3. Мультиэлементные спектры ультрамафитов и мафитов исследуемых комплексов Канской глыбы Восточного Саяна, нормированные к примитивной мантии (PM) [30]

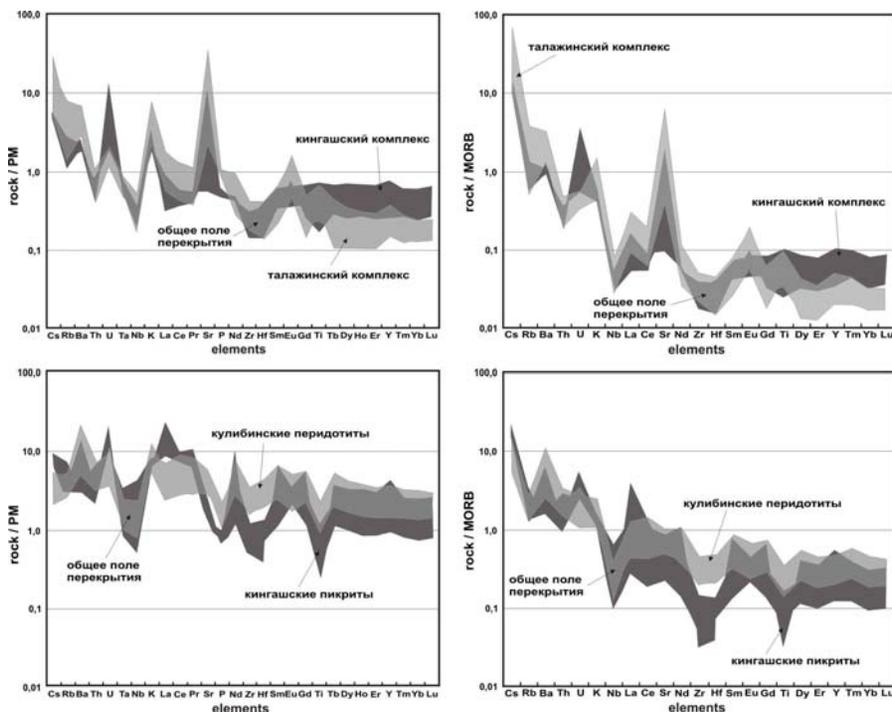


Рис. 4. Поля мультиэлементных спектров пород исследуемых комплексов Канской глыбы Восточного Саяна, нормированные к примитивной мантии (PM) и COX (MORB) [30]

Постоянное присутствие положительной Eu аномалии в породах Талажинского комплекса также подчеркивает их «гибридную» природу и указывает на значимую роль плагиоклаза в гибридном ультрамафит-мафитовом расплаве на момент кристаллизации пород комплекса. Этот минерал, как известно, является хорошим буфером для данного лантаноида [13].

Породы кулибинского комплекса сформировались из высокомагнезильного основного расплава, образовавшегося в результате частичного плавления исходного мантийного субстрата с последующей кристаллизационной дифференциацией. В результате сформировался последовательный ряд пород от перидотитов к габброидам, который укладывается в единый петрохимический тренд. Породы кулибинского комплекса характеризуются более высокими суммарными значениями REE и редких элементов по отношению к другим исследуемым комплексам. При этом авторы считают, что пироксеновые и амфиболовые пикриты, ассоциирующие с метабазальтами, являются эффузивными комагматами кулибинских перидотитов и габброидов (рис. 4).

Таким образом, разнообразные ультрамафитовые и мафит-ультрамафитовые комплексы Канской глыбы являются производными единого мантийного протолита, сформировавшиеся в процессе его деплети-

рования либо высокой или незначительной степени плавления. Образовавшиеся магматические расплавы претерпели сложную эволюцию в земной коре, обусловленную как дифференциацией, так и контаминацией, что отражается в их геохимических особенностях.

Литература

1. Арискин А.А. Родительские магмы лунных троктолитов: проблемы образования и оценки исходного состава // Геохимия. 2007. № 5. С. 467–482.
2. Геология и перспективы сульфидного Pt-Cu-Ni оруденения Восточной части Алтае-Саянской складчатой области / С.С. Сердюк, В.А. Кириленко, Г.Р. Ломаева, В.Е. Бабушкин, А.В. Тарасов, А.И. Зверев. Красноярск: Город, 2010. 184 с.
3. Гертнер И.Ф., Врублевский В.В., Глазунов О.М., Тишин П.А., Краснова Т.С., Войтенко Д.Н. Возраст и природа вещества Кингашского ультрамафит-мафитового массива, Восточный Саян // Доклады Академии наук. 2009. Т. 429, № 5. С. 645–651.
4. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. Иркутск: ИГТУ, 2003. 192 с.
5. Гончаренко А.И., Чернышов А.И. Деформационная структура и петрология нефритоносных гипербазитов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 200 с.
6. Кингашский мафит-ультрамафитовый массив: геологическое положение, внутреннее строение, вещественный состав и петроструктурный анализ ультрамафитов (Восточный Саян) / А.И. Чернышов, А.Д. Ножкин, С.И. Ступаков, П.А. Балыкин, Н.И. Кузоватов, И.Г. Резников, Н.А. Третьяков, В.А. Прохорова // Платина России. Проблемы развития, оценки воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов: сб. науч. тр. М. : Геоинформмарк, 2004. Т. V. С. 152–175.
7. Кислов В.Е., Конников Э.Г. Рифейская эпоха платинометалльно-медно-никелевого рудообразования // Проблемы геологии и геохимии юга Сибири. Томск: ТГУ, 2000. С. 67–72.
8. Коматииты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита. Л.: Наука, 1988. 192 с.
9. Корнев Т.Я., Еханин А.Г. Эталон Кингашского базальт-коматиитового комплекса (Восточный Саян). Новосибирск: СНИИГГиМС, 1997. 88 с.
10. Корнев Т.Я., Еханин А.Г., Князев В.Н., Шарифулин С.К. Зеленокаменные пояса юго-западного обрамления Сибирской платформы и их металлогения. Красноярск: КНИИГГиМС, 2004. 176 с.
11. Леснов Ф.П. Петрология полигенных базит-гипербазитовых плутонов складчатых областей: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Новосибирск, 1988. 48 с.
12. Леснов Ф.П. Контактные взаимоотношения ультрамафитовых и мафитовых пород в Довыренском плутоне и некоторые дискуссионные вопросы его генезиса (Северное Прибайкалье) // Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах: материалы конференции. Улан-Удэ, 2007. С. 140–142.
13. Леснов Ф.П. Редкоземельные элементы в ультрамафитовых и мафитовых породах и их минералах. Новосибирск: Гео, 2007. 403 с.
14. Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Петролого-геохимические особенности ультрабазитов южного обрамления Сибирского кратона и критерии поисков сульфидно-никелевых руд // Руды и металлы. 2006. № 6. С. 26–30.
15. Ножкин А.Д. Раннедокембрийские троговые комплексы юго-западной части Сибирской платформы и их металлогения // Докембрийские троговые структуры Байкало-Амурского региона и их металлогения. Новосибирск: Наука, 1985. С. 34–46.

16. *Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири* / под ред. В.И. Богнибова, А.П. Кривенко, А.Э. Изоха и др. Новосибирск: НИЦ ОИГГиМ, 1995. 151 с.
17. *Радомская Т.А., Глазунов О.М.* Редкоэлементный состав пород и руд платиноидно-медно-никелевых месторождений кингашского типа // Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Известия Сиб. отд-ния секции наук о Земле РАЕН. Иркутск: ИрГТУ, 2009. С. 37–42.
18. *Схемы межрегиональной корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области и Енисейского кряжа.* Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002. 178 с.
19. *Цыпуков М.Ю., Ножкин А.Д., Бобров В.А., Шипицын Ю.Г.* Коматиит-базальтовая ассоциация Канского зеленокаменного пояса (Восточный Саян) // Геология и геофизика. 1993. № 8. С. 98–108.
20. *Чернышов А.И., Ножкин А.Д., Мишенина М.А.* Петрохимическая типизация ультрамафитов Канского блока (Восточный Саян) // Геохимия. 2010. № 2. С. 1–25.
21. *Чернышов А.И., Юричев А.Н.* Петрология и потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов талажинского и кулибинского комплексов Восточного Саяна. Томск: ЦНТИ, 2012. 132 с.
22. *Юричев А.Н.* Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, Северо-Запад Восточного Саяна // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 11–20.
23. *Юричев А.Н.* Идарский ультрамафитовый комплекс Восточного Саяна: петрогеохимические особенности и вопросы рудоносности // Отечественная геология. 2014. № 6. С. 56–66.
24. *Юричев А.Н., Чернышов А.И.* Формационная типизация Кунгусского и Кулижинского мафит-ультрамафитовых массивов (СЗ Восточного Саяна) // Вестник ТГУ. 2009. № 327. С. 244–249.
25. *Юричев А.Н., Чернышов А.И.* Новые рудные минералы Кингашского ультрамафитового массива (северо-запад Восточного Саяна) // Записки Российского минералогического общества. 2016. Т. 145, № 3. С. 14–22.
26. *Юричев А.Н., Чернышов А.И., Конников Э.Г.* Талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый массив Восточного Саяна: петрогеохимические особенности и проблемы рудоносности // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 2. С. 219–236.
27. *Юричев А.Н., Чернышов А.И., Кульков А.С.* Новые данные о благороднометалльной минерализации Кингашского ультрамафитового массива (северо-запад Восточного Саяна) // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 2. С. 44–51.
28. *Boynston W.V.* Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // Rare Earth Element Geochemistry / Ed. P. Henderson. Oxford-Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114.
29. *Gruau G., Bernard-Griffiths J., Lecuyer C.* The origin of U-shaped rare earth patterns in ophiolite peridotites: Assessing the role of secondary alteration and melt/rock reaction // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. Vol. 62. P. 3545–3560.
30. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the oceanic basins / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Geol. Soc. Spec. Public. 1989. № 42. P. 313–345.

Авторы:

Юричев Алексей Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии геолого-географического факультета Томского государственного университета, Томск, Россия.

E-mail: juratur@sibmail.com

Чернышов Алексей Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой петрографии геолого-географического факультета Томского государственного университета, Томск, Россия.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru

A.N. Yurichev, A.I. Chernyshov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

**FEATURES OF CHEMICAL BEHAVIOR
OF MAFIC-ULTRAMAFIC MAGMATISM OF
THE KAN BLOCK (NW EASTERN SAYAN)**

The article focuses on different formational types of mafic-ultramafic massifs of the Kan block in north-western part of the Eastern Sayan, which are combined in four complexes: restite one – Idarsk dunite-harzburgite complex and magmatic ones – Kingash dunite-wehrlite-picritic, Talazhinsk plagiodunite-troctolite-anorthosite-gabbro, and Kulibinsk peridotite-pyroxenite-gabbro. In the paper, we have discussed features of chemical behavior of these complexes. The results suggest that ultramafic and mafic-ultramafic complexes of the Kan block are derived from single mantle protolith. They were formed during its depletion or either high or low degree of melting. Resultant magmatic melts have undergone a complex evolution in the Earth's crust due to processes of differentiation and contamination, which is reflected in their geochemical characteristics.

Rocks of Idarsk dunite-harzburgite complex are restitic formations. The products of earliest differentiation of high-Mg melt are dunites, wehrlites, olivine, and olivine-pyroxene picrites of Kingash complex, which crystallized/mineralized under hypabyssal and subvolcanic conditions. Gabbroids overlapping Kingash ultramafic rocks obviously represent a subsequent intrusion phase as it was always supposed. Strong chemical similarity between spider-diagrams of ultramafic rocks and gabbros from Talazhinsk and Kingash complexes suggested a conceptually new hypothesis for formation of intrusive bodies in Talazhinsk complex in replace of the accepted conventional model of crystallization-gravitational differentiation of mafic melts. For the first time, it was assumed that rocks of Talazhinsk complex are hybrid entities formed as result of crystallization of hybrid magmatic melt generated in turn during contamination by main melts of previously formed ultramafic rocks under conditions of mesaabyssal and abyssal depths. Rocks of Kulibinsk complex were formed from high-Mg primary melt generated by partial melting of mantle source, followed by crystallization differentiation. As result, a series of rocks was formed from peridotites to gabbroids that fits into unite petrochemical trend.

Keywords: *ultramafic and mafic-ultramafic complexes, Kan block, chemistry, parental melt, genesis*

References

1. Ariskin A.A. Parental magmas of lunar troctolites: Genetic problems and estimated original compositions// *Geochemistry International*. 2007. V. 45. № 5. pp. 413–427.
2. Serdyuk S.S., Kirilenko V.A., Lomaeva G.R., Babushkin V.E., Tarasov A.V., Zverev A.I. *Geologiya i perspektivy sul'fidnogo Pt-Cu-Ni orudneniya Vostochnoy chasti Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Geology and prospects of sulfide Pt-Cu-Ni mineralization of the Eastern part of the Altai-Sayan folded area]. Krasnoyarsk: Izd-vo «Gorod», 2010. 184 p. In Russian
3. Gertner I.F., Vrublevskiy V.V., Glazunov O.M., Tishin P.A., Krasnova T.S., Voytenko D.N. Age and source material of the Kingash ultramafic-mafic massif, East Sayan // *Doklady Earth Sciences*. 2009. V. 429. № 2. pp. 1526–1532.

4. Glazunov O.M., Bognibov V.I., Ekhanin A.G. *Kingashskoe platinoidno-medno-nikelevoe mestorozhdenie* [Kingashsky PGM-copper-nickel deposit]. Irkutsk: IG TU, 2003. 192 p. In Russian
5. Goncharenko A.I., Chernyshov A.I. *Deformatsionnaya struktura i petrologiya nefritonosnykh giperbazitov* [Deformatsionnaya structure and petrology nephrite-bearing giperbazites]. Tomsk: Tomsk University Publ., 1990. 200 p. In Russian
6. Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Stupakov S.I., Balykin P.A., Kuzovatov N.I., Reznikov I.G., Tret'yakov N.A., Prokhorova V.A. *Kingashskiy mafit-ul'tramafitovyy massiv: geologicheskoe polozhenie, vnutrennee stroenie, veshchestvennyy sostav i petrostrukturnyy analiz ul'tramafitov (Vostochnyy Sayan)* [Kingashsky mafic-ultramafic massif: geological position, internal structure, material composition and petrostructural analysis of ultramafites (Eastern Sayan)] // *Platina Rossii. Problemy razvitiya, otsenki vosпроизводства i kompleksnogo ispol'zovaniya mineral'no-syr'evoy bazy platinovykh metallov: sb. nauch. trudov. T. V.* Moscow: Geoinformmark, 2004. pp. 152–175. In Russian
7. Kislov V.E., Konnikov E.G. *Rifeyskaya epokha platinometal'no-medno-nikelevogo rudoobrazovaniya* [Riphean era of PGM-copper-nickel ore] // *Problemy geologii i geokhimii yuga Sibiri.* Tomsk: TGU. 2000. pp. 67–72. In Russian
8. *Komatiitiy i vysokomagnezial'nye vulkanity rannego dokembriya Baltiyskogo shchita* [Komatiites and high-Mg volcanic rocks of the Early Precambrian of Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1988. 192 p. In Russian
9. Kornev T.Ya., Ekhanin A.G. *Etalon Kingashskogo bazalt'-komatiitovogo kompleksa (Vostochnyy Sayan)* [Etalon of Kingashsky basalt-komatiitic complex (Eastern Sayan)]. Novosibirsk: SNIIGiMS, 1997. 88 p. In Russian
10. Kornev T.Ya., Ekhanin A.G., Knyazev V.N., Sharifulin S.K. *Zelenokamennye poyasa yugo-zapadnogo obramleniya Sibirskoy platformy i ikh metallogeniya* [Greenstone belts of southwestern framing of Siberian Platform and their metallogeny]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2004. 176 p. In Russian
11. Lesnov F.P. *Petrologiya poligennykh bazit-giperbazitovykh plutonov skladchatykh oblastey: avtoref. dis. ... d-ra geol.-min. nauk* [Petrology of polygenic bazite-giperbazite plutons of orogen areas: avtoref. dis. ... doctor of geological and mineralogical sciences]. Novosibirsk, 1988. 48 p. In Russian
12. Lesnov F.P. *Kontaktovye vzaimootnosheniya ul'tramafitovykh i mafitovykh porod v Dovyrenskom plutone i nekotorye diskussionnye voprosy ego genezisa (Severnoe Priбайkal'e)* [The contact relationship between ultramafic and mafic rocks in Dovyren pluton and some debatable issues of its genesis (Northern Baikal)] // *Geokhimiya i rudoobrazovnie radioaktivnykh, blagorodnykh i redkikh metallov v endogennykh i ekzogennykh protsessakh: mater. konf. Ulan-Ude, 2007.* pp. 140–142. In Russian
13. Lesnov F.P. *Redkozemel'nye elementy v ul'tramafitovykh i mafitovykh porodakh i ikh mineralakh* [Rare earth elements in ultramafic and mafic rocks and their minerals]. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2007. 403 p. In Russian
14. Mekhonoshin A.S., Kolotilina T.B. *Petrologo-geokhimicheskie osobennosti ul'trabazitov yuzhnogo obramleniya Sibirskogo kratona i kriterii poiskov sulfidno-nikelevykh rud* [Petrological and geochemical features of ultrabazites of southern margin of Siberian craton and criteria searches of sulfide-nickel ores] // *Rudy i metally.* 2006. № 6. pp. 26–30. In Russian
15. Nozhkin A.D. *Rannedokembriyskie trogovye komplekсы yugo-zapadnoy chasti Sibirskoy platformy i ikh metallogeniya* [Early Precambrian trough complexes of south-western part of Siberian platform and their metallogeny] // *Dokembriyskie trogovye struktury Baykalo-Amurskogo regiona i ikh metallogeniya.* Novosibirsk: Nauka, 1985. pp. 34–46. In Russian

16. *Platinonosnost' ul'trabazit-bazitovykh kompleksov yuga Sibiri* [Platinum-bearing of ultramafic-mafic complexes of south of Siberia]. / Edited by V.I. Bognibova, A.P. Krivenko, A.E. Izokha i dr. Novosibirsk: NITs OIGGiM, 1995. 151 p. In Russian
17. Radomskaya T.A., Glazunov O.M. *Redkoelementnyy sostav porod i rud platinoidno-medno-nikelevykh mestorozhdeniy kingashskogo tipa* [Rarely elemental composition of rocks and ores of PGM-copper-nickel deposits of Kingashsky type] // *Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy*. *Izvestiya Sib. otd-niya seksii nauk o Zemle RAEN*. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2009. pp. 37–42. In Russian
18. *Skhemy mezhregional'noy korrelyatsii magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti i Eniseyskogo kryazha* [Schemes of inter-regional correlation of magmatic and metamorphic complexes of the Altai-Sayan folded area and Yenisei ridge], 2002. Novosibirsk: SNIIGGiMS, 178 p. In Russian
19. Tsypukov M.Yu., Nozhkin A.D., Bobrov V.A., Shipitsyn Yu.G. *Komatiit-bazal'tovaya assotsiatsiya Kanskogo zelenokamennogo poyasa (Vostochnyy Sayan)* [Komatiite-basalt association of Kan greenstone belt (Eastern Sayan)] // *Geology and Geophysics*. 1993. № 8, pp. 98–108. In Russian
20. Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Mishenina M.A. Petrogeochemical typification of the ultramafic rocks from the Idar greenstone belt, Kan block, East Sayan // *Geochemistry International*. 2010. V. 48. № 2. pp. 118–139.
21. Chernyshov A.I., Yurichev A.N. *Petrologiya i potentsial'naya rudonosnost' mafit-ul'tramafitovykh massivov talazhinskogo i kulibinskogo kompleksov Vostochnogo Sayana* [Petrology and potentially ore-bearing of mafic-ultramafic massifs of talazhinsky and kulibinsky complexes of the Eastern Sayan]. Tomsk: TsNTI, 2012. 132 p. In Russian
22. Yurichev A.N. *Mafit-ul'tramafitovy magmatizm Kanskoy glyby i ego rudnyy potentsial, Severo-Zapad Vostochnogo Sayana* [Mafic-ultramafic magmatism of Kan block and him ore potential, North-West of Eastern Sayan] // *Rudy i metally*. 2013. № 3, pp. 11–20. In Russian
23. Yurichev A.N. *Idarskiy ul'tramafitovy kompleks Vostochnogo Sayana: petrogeokhimicheskie osobennosti i voprosy rudonosnosti* [Idarsky ultramafic complex of the Eastern Sayan: petrogeochemical features and issues of ore-bearing] // *Otechestvennaya geologiya*. 2014. № 6. pp. 56–66. In Russian
24. Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Formation typification of the Kungusky and the Kulzhinsky mafic-ultramafic massifs (NW of Eastern Sajan) // *Tomsk State University Journal*. 2009. № 327. pp. 244–249. In Russian
25. Yurichev A.N., Chernyshov A.I. New ore minerals in the Kingashsky ultramafic massif (Northwest part of the East Sayan Mountains) // *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*. 2016. № 3. pp. 14–22. In Russian
26. Yurichev A.N., Chernyshov A.I., Konnikov E.G. The Talazhin plagioclone–troctolite–anorthosite–gabbro massif (East Sayan): petrogeochemistry and ore potential // *Russian Geology and Geophysics*. 2013. № 2. pp. 166–180.
27. Yurichev A.N., Chernyshov A.I., Kul'kov A.S. New data on noble-metal mineralization of Kingashsky ultramafic massif (Northwest of the Eastern Sayan) // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2016. № 2. pp. 44–51. In Russian
28. Boynton W.V. *Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies* // *Rare Earth Element Geochemistry* / Ed. P. Henderson. Oxford-Amsterdam: Elsevier, 1984. pp. 63–114.
29. Gruau G., Bernard-Griffiths J., Lecuyer C. The origin of U-shaped rare earth patterns in ophiolite peridotites: Assessing the role of secondary alteration and melt/rock reaction // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1998. V. 62, pp. 3545–3560.
30. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in the oceanic basins* / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Geol. Soc. Spec. Public. 1989. № 42, pp. 313–345.

Authors:

Yurichev Alexei N., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Assistant Professor Department of Petrography, Faculty of Geology and Geography, Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: juratur@sibmail.com

Chernyshov Alexei I., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Head Department of Petrography, Faculty of Geology and Geography, Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: aich@ggf.tsu.ru