# Геохимия

УДК 552.321.5, 6

# РОДОНАЧАЛЬНЫЙ РАСПЛАВ И ГЕОДИНАМИКА РАССЛОЕННЫХ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ МАССИВОВ КАНСКОЙ ГЛЫБЫ ВОСТОЧНОГО САЯНА

# Юричев Алексей Николаевич,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры петрографии геолого-географического факультета Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: juratur@sibmail.com

## Чернышов Алексей Иванович,

д-р геол.-минерал. наук, профессор, заведующий кафедрой петрографии геолого-географического факультета Томского государственного университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: aich@ggf.tsu.ru

По результатам моделирования равновесной кристаллизации по программе КОМАГМАТ-3.52 оцениваются вероятные температуры и химический состав родоначальной магмы Талажинского мафит-ультрамафитового массива Канской глыбы (северо-западная часть Восточного Саяна), а также впервые предлагается модель геодинамической обстановки кристаллизации расслоенной серии его пород. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что рассматриваемое интрузивное тело является ритмично-расслоенным плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровым массивом, который сформировался в процессе кристаллизационной дифференциации низкотитанистого высокоглиноземистого оливин-базальтового расплава, для которого характерны повышенная магнезиальность при низких концентрациях HFSE, слабая обогащенность LREE, положительная Eu-аномалия. Формирование очагов исходных расплавов происходило за счет толеитовых базальтов океанического плато при их поглощении и дальнейшем плавлении в зоне субдукции. Последующая эволюция расплава обусловлена процесссами его перемещения в магматическую камеру, которые сопровождались контаминацией пород континентальной коры.

#### Ключевые слова:

Талажинский массив, расслоенный комплекс, мафиты, ультрамафиты, моделирование, родоначальный расплав, геодинамика.

### Введение

В пределах Канской глыбы Восточного Саяна широким распространением пользуются интрузивы ультраосновных и основных пород [1-5], которые объединяются в четыре комплекса: идарский дунит-гарцбургитовый раннепротерозойского (?) возраста; кингашский никеленосный дунит-верлит-пикритовый «малых» интрузивов, датируемый разными авторами от позднего архея до позднего протерозоя; кулибинский перидотит-пироксенит-габбровый раннепротерозойский и талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый расслоенный комплекс рифейского (?) возраста. В статье рассматривается Талажинский массив [2, 6], являющийся петротипом одноименного расслоенного комплекса. Он расположен в северозападной части Канской глыбы на продолжении Кингашского рудного района [7] (рис. 1). В составе преобладают троктолиты при подчиненной роли плагиодунитов, оливиновых габбро и анортозитов.

# Петрографическая характеристика пород

Плагиодуниты – средне-, крупнозернистые (3...8 мм) породы с кумулятивной структурой и массивной текстурой, состоят на 80...90 % из хризолита (Fa<sub>18-20</sub>) и 5...10 % основного плагиоклаза – битовнита (Ап<sub>76-77</sub>). Акцессорные минералы (до 5 %) представлены преимущественно зернами хромшпинелидов и очень редкими индивидами сульфидов (пирротин, пентландит).

*Троктолиты* — мелко-, крупнозернистые (1...7 мм) иногда порфировидные породы с габбровой структурой. Они состоят на 20...70 % из хризолита (Fa<sub>16.5-17.5</sub>), на 25...70 % из битовнита (An<sub>77-81</sub>) и



Рис. 1. Геологическое строение Талажинского массива и его положение в региональной структуре (составлено по материалам А.Н. Смагина, А.Г. Еханина, А.Д. Ножкина, О.М. Туркиной, А.И. Чернышова): 1 – верхнепалеозойско-мезозойские преимущественно терригенные отложения: карымовская, павловская и кунгусская свиты; 2 – нижнедевонские (возможно частью ордовикские) вулканиты; 3 – ордовикская лейкогранитовая формация: кутурчинский комплекс; 4 – кембро-ордовикские красноцветные терригенные отложения Баджейского прогиба; 5 – венд-нижнекембрийские терригеннокарбонатные отложения; 6 – средне-верхнерифейский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый талажинский комплекс; 7 – средне-верхнерифейские осадочно-вулканогенные образования кувайской серии; 8 – познерифейский гранитоидный канский комплекс; 9 — раннепротерозойская-среднерифейская (?) перидотит-пироксенит-габбровая формация: кулибинский комплекс; 10 — раннепротерозойские амфиболит-гнейсовые толщи анжинского структурновещественного комплекса; 11 — раннепротерозойский мигматит-плагиогранитный тукшинский комплекс; 12 — позднеархейский (возможно ранне- и даже позднепротерозойский) дунит-верлит-пикритовый кингашский комплекс малых расслоенных дифференцированных массивов; 13 — позднеархейский-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 караганского комплекса: 15 — глубинные северо-западные и северо-восточные разломы (а), геологические границы (б); 16–18 — позднерифейский Талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый расслоенный массив: 16 - плагиодуниты, серпентинизированные плагиодуниты, аподунитовые серпентиниты, 17 – троктолиты, метатроктолиты, с редкими прослоями оливинового габбро, 18 – прослои, линзы анортозитов; 19 – ордовикский кутурчинский комплекс; 20 – позднерифейская (?) габбро-сиенитовая формация; 21 – раннепротерозойская (?) перидотит-пироксенит-габбровая формация; 22 – раннепротерозойская амфиболитовая толща. На врезке положение Канской глыбы в структурах юго-западного обрамления Сибирской платформы. Выступы кристаллического фундамента платформы: 1 – Ангаро-Канский; 2 – Присаянский. Докембрийские структуры складчатого обрамления: 3 – Канский; 4 – Арзыбейский; 5 – Дербинский блоки. Разломы (цифры в кружках): 1 – Главный Восточносаянский; 2 – Канско-Агульский

до 10 % из гиперстена и роговой обманки, соответствующей магнезиальной и чермакитовой разновидностям [8]. Нередко в троктолитах отмечается мелкая (до 0,25 мм) вкрапленная магнетит-ильменит-хромшпинелиевая и пирротин-пентландитхалькопиритовая минерализации. Оливиновые габбро имеют мелкозернистую габбровую структуру, массивную текстуру и сложены битовнитом ( $An_{78-85}$ ) – 40...50 %, хризолитом ( $Fa_{18-19}$ ) – 30...40 % и клинопироксеном до 20 %. В них отмечаются мелкие рудные минералы (до 0,5 мм), аналогичные наблюдаемым в троктолитах.

Анортозиты – мелко-, среднезернистые (1...4 мм) породы с панидиоморфной структурой, а при наличии ксеноморфного клинопироксена приобретают гипидиоморфную. Характерна массивная текстура. Они на 90...100 % состоят из битовнита (Ап<sub>74-88</sub>) либо анортита (Ап<sub>95-99</sub>), изредка в их составе до 10 % отмечается клинопироксен. Рудные минералы представлены железо-титанистой окисной минерализацией: рутилом, магнетитом, ильменитом и нигрином.

#### Моделирование родоначального расплава

При моделировании исходного расплава Талажинского массива использовался метод геохимической термометрии, который объединяет несколько подходов к решению обратных петрологических задач, направленных на оценку температуры и состава магматических расплавов, из которых кристаллизовались ультрамафиты и мафиты [9]. В основе метода лежит предположение о равновесном распределении компонентов между первичными кристаллами и жидкостью, а его практическая реализация связана с проведением расчётов по ЭВМ-моделированию кристаллизации расплавов конкретных пород. В случае интрузивных массивов образцы для вычислений выбираются на основе геологических данных по принципу приуроченности к одним и тем же горизонтам или близости расположения в вертикальных разрезах. Это дает основание предполагать общую температуру и состав интеркумулусного расплава.

Сравнительный анализ составов модельных расплавов при одних и тех же значениях температур позволяет найти области сгущения и пересечения эволюционных линий. Было доказано, что наиболее компактные кластеры составов по петрогенным компонентам формируются в ограниченном диапазоне температур (в пределах 10...15 °C), которые отражают начальные условия формирования генетически родственных пород [10, 11]. При этом среднее значение для температурного интервала пересечений линий эволюции состава жидкости рассматривается как наиболее вероятная температура исходной расплавно-кристаллической смеси, а «равновесный» состав минералов принимается в качестве первичного (исходного). Состав жидкости, находящейся в равновесии с первичными кристаллами, определяет исходный расплав - в том смысле, что он соответствует состоянию смеси до того, как в ней пройдут процессы докристаллизации и (возможно) перекристаллизации.

Для главных разновидностей интрузивных пород Талажинского массива (таблица) было выполнено моделирование фракционной кристаллизации по программе КОМАГМАТ-3.52 [11]. Присутствие в породах массива оксидов железа, а также водосодержащих фаз (амфибола) говорит о том, что фугитивность кислорода в процессе кристаллизации, ве-



**Рис. 2.** Бинарные диаграммы породообразующих оксидов для Талажинского массива. Точечный тренд – тренд составов кумулятивных фаз, полученных путем моделирования формирования расслоенного Талажинского интрузива, исходя из состава модельного родоначального расплава по программе КОМАГМАТ-3.52 [11]

роятно, соответствовала буферу QFM (кварц-фаялит-магнетит). Геологические наблюдения (отмеченные ксенолиты роговиков в краевой части массива, устное сообщение А.Н. Смагина, 2008 г.) и петрографические данные (присутствие в минералогическом составе пород незначительного количества позднемагматического амфибола, обычно менее 5 %) свидетельствуют об условиях кристаллизации родоначального расплава в процессе формирования расслоенной серии и ограничивают литостатическое давление значением, не превышающим 3 кбар, начальное содержание воды в расплаве не более 0,5 мас. %. Исходя из этого, расчеты проводились в режиме формирования расслоенного интрузива при следующих параметрах системы - давление 1...2 кбар, буфер QFM, содержание воды в расплаве от 0 до 0,5 %, шаг кристаллизации расплава 1 мол. %. Траектории кристаллизации расплавов пород рассчитывались до 66...90 % кристаллов (от 34...10 % остаточной жидкости), в зависимости от состава породы. Согласно результатам расчетов, равновесная кристаллизация расплава Талажинской интрузии происходила в последовательности  $Ol \rightarrow Ol + Pl \rightarrow Ol + Pl + Cpx \rightarrow Ol + Pl + Cpx + Opx + Hb.$ 

Хорошая сопоставимость тренда составов кумулятивных фаз (получены путем моделирования формирования расслоенного интрузива, исходя из состава модельного родоначального расплава по программе КОМАГМАТ-3.52) с составами пород расслоенной серии массива на вариационных диаграммах (рис. 2), сходство фактических и рассчитанных составов минералов из пород расслоенной серии свидетельствуют о приближенности принятых параметров модельной системы к природной.

На рис. 3 приведены результаты расчетов для восьми образцов главных разновидностей пород Талажинского массива, демонстрирующие температурно-композиционную эволюцию остаточных (интеркумулусных) расплавов для девяти породообразующих оксидов. На графиках видно, что расчетные траектории для всех компонентов сближаются и пересекаются в интервале температур 1240...1260 °C, формируя достаточно компактные кластеры в области оливин-плагиоклазовойкотектики. Наиболее отчетливо эти пересечения проявлены на диаграммах SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO и Р₂О₅. Исходя из этого, среднее значение 1250 °С можно принять в качестве вероятной температуры родоначальной магмы Талажинского интрузива. Оценка состава этого расплава при 1250 °С может быть получена путем проецирования на оси абсцисс диаграмм на рис. 3 и соответствует (в мас. %):  $SiO_2 - 46,00$ ,  $TiO_2 - 0,35$ ,  $Al_2O_3 - 21,50$ ,  $FeO_{tot} - 0,35$ 10,00, MgO - 10,00, CaO - 8,00, Na<sub>2</sub>O - 2,50, K<sub>2</sub>O - $0.50, P_{2}O_{5} - 0.07.$ 

Оцененный таким образом состав родоначальной жидкости отвечает низкотитанистому высокоглиноземистому оливин-базальтовому расплаву. В пользу данного утверждения также свидетельствуют петрохимические особенности пород Талажинского массива (низкие содержания Ті, низкие отношения Fe/(Fe+Mg), обеднение щелочами, особенно калием и обогащение Mg, Ni и Cr), характерные для пород толеитовой петрохимической серии [12].

**Таблица.** Химический состав пород расслоенной серии Талажинского массива (мас. %) и распределение в них элементов-примесей (г/т)

№ обр.	5014/7	1093	5011	5014	5003/5	5003/1	5020/2	5015/1
Порода	Плагиодунит		Троктолит			Оливин. габбро	Анортозит	
Элементы								
SiO <sub>2</sub> , Mac. %	41,32	41,16	44,85	43,47	47,68	44,10	46,39	46,51
TiO <sub>2</sub>	0,15	0,07	0,05	0,10	0,34	0,15	0,12	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,25	6,10	22,31	17,21	24,41	19,20	27,89	27,68
FeO <sub>tot</sub>	15,98	15,09	6,19	9,77	6,38	8,04	3,90	3,81
MnO	0,20	0,21	0,08	0,12	0,08	0,11	0,04	0,05
MgO	29,62	35,04	14,17	19,85	7,08	17,00	5,75	5,24
CaO	3,56	2,02	10,99	8,28	10,23	10,05	13,19	12,73
Na <sub>2</sub> O	0,60	0,17	1,20	0,93	2,91	1,14	2,43	2,51
K <sub>2</sub> O	0,25	0,05	0,10	0,21	0,76	0,16	0,17	1,22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Сумма	99,95	99,92	99,95	99,95	99,90	99,95	99,91	99,90
Ga, г/т	7,44	3,81	11,47	9,84	-	11,32	15,69	17,30
Rb	7,31	0,56	1,98	5,03	-	2,83	4,25	42,34
Sr	194,78	47,66	458,20	384,15	-	469,28	798,59	863,99
Y	2,57	0,67	0,74	1,51	-	1,72	1,29	1,85
Zr	13,31	1,96	2,62	6,62	-	4,58	3,67	4,97
Nb	1,06	0,09	0,18	0,60	-	0,20	0,28	0,28
Cs	0,53	0,15	0,54	0,99	-	0,91	0,61	1,73
Ba	68,35	19,41	31,20	35,14	-	47,17	47,12	115,33
La	2,29	0,37	0,81	1,11	-	1,20	1,09	1,03
Ce	4,48	0,74	1,56	2,33	-	2,33	2,29	2,05
Pr	0,58	0,10	0,20	0,29	-	0,30	0,29	0,29
Nd	2,09	0,37	0,77	1,27	-	1,28	1,26	1,21
Sm	0,45	0,09	0,14	0,22	-	0,29	0,24	0,29
Eu	0,15	0,08	0,18	0,17	-	0,24	0,26	0,31
Gd	0,42	0,08	0,14	0,28	-	0,29	0,24	0,33
Tb	0,06	0,01	0,02	0,03	-	0,05	0,03	0,04
Dy	0,38	0,08	0,10	0,21	-	0,26	0,20	0,27
Но	0,07	0,02	0,02	0,04	-	0,05	0,04	0,05
Er	0,21	0,05	0,05	0,11	-	0,14	0,11	0,13
Tm	0,03	0,01	0,01	0,02	-	0,02	0,02	0,02
Yb	0,21	0,07	0,06	0,10	-	0,12	0,09	0,12
Lu	0,03	0,01	0,01	0,01	-	0,02	0,01	0,02
Hf	0,29	0,04	0,06	0,13	-	0,13	0,08	0,13
Та	0,13	0,02	0,02	0,04	-	0,04	0,03	0,04
W	0,50	0,28	0,22	0,29	-	0,22	0,49	0,28
Th	0,60	0,03	0,09	0,26	-	0,06	0,09	0,06
U	0,15	0,03	0,03	0,07	-	0,03	0,04	0,02

Примечание: Определение петрохимического состава пород проведено в ИГХ СО РАН (г. Иркутск) на приборе Perkin Elmer, аналитик Т.В. Ожогина; содержание редких элементов выполнено в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) на масс-спектрометре ELEMENT (Finnigan Mat), аналитик С.В. Палесский.



**Рис. 3.** Графики моделирования равновесной кристаллизации по программе КОМАГМАТ-3.52 [11] для главных разновидностей интрузивных пород Талажинского массива: PID – плагиодунит; Tr – троктолит; OIG – оливиновое габбро; An – анортозит

## Оценка геодинамической обстановки

Породы рассматриваемого массива, очевидно, являются комагматичными образованиями с островодужными высокоглиноземистыми базальтами. Данное утверждение подтверждается сравнением поля мультиэлементных спектров его пород с усредненным спектром толеитовых базальтов островных дуг (IAB) (рис. 4). Ранее синхронность расслоенных низкотитанистых высокоглиноземистых перидотит-троктолит-габбровых массивов и островодужных вулканитов на примере некоторых районов Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) доказана А.Э. Изохом с соавторами [13]. Они установили приуроченность интрузивов данного формационного типа к осевым частям островодужных систем.

Преобладание в составе расслоенной серии пород талажинского комплекса троктолитов, присутствие линз и прослоев анортозитов с высокой основностью плагиоклаза (An<sub>75-99</sub>), постоянное присутствие в ультрамафитах плагиоклаза (до 15%) также свидетельствуют в пользу формирования массива в обстановке островной дуги [13]. Помимо этого, габброиды комплекса по минералогическим особенностям и химизму близки алливалитовым и эвкритовым включениям в современных островодужных вулканитах [16].

Использование диаграмм Zr/Nb-Tb/Th и Nb/Y-Zr/Y, рис. 5, предложенных К. Конди [17], позволяет также смоделировать геодинамическую обстановку кристаллизации интрузивов Талажинского комплекса и предположить возможный источник вещества, из которого произошло зарождение родоначального расплава. На диаграмме Nb/Y-Zr/Y фигуративные точки составов пород Талажинского массива попадают в поле базальтов



**Рис. 4.** Поле мультиэлементных спектров для пород Талажинского массива, нормированных по примитивной мантии (РМ) [14]. Для сравнения показаны усредненные спектры толеитовых базальтов островных дуг (IAB) и известково-щелочных базальтов активных континентальных окраин (CABM) [15]

океанического плато и изначально близки примитивной мантии. В их ориентации отчетливо отмечается влияние на исходное вещество источника субдукционных флюидов. На второй диаграмме Zr/Nb–Tb/Th фигуративные точки составов формируют достаточно компактный рой в области островодужных базальтов, что хорошо согласуется с ранее сделанными нами предположениями. При этом составы пород близки к компонентно обогащенному расплаву (рис. 5).

Полученные результаты позволяют предположить следующий сценарий генерации и эволюции магматического расплава (рис. 6). Исходным веществом для зарождения родоначального расплава явились, очевидно, толеитовые базальты океанического плато, близкие по составу примитивной мантии. При поглощении океанической коры с плато в зоне субдукции (часть плато могло быть срезано и включено в состав акреционного клина) с ней произошли весьма значительные изменения. Очевидно, она была расплавлена и переработана, после чего в качестве магматического расплава устремилась по ослабленным зонам к поверхности земной коры. Дальнейшее компонентное обогащение родоначального расплава Талажинского интрузива в процессе его перемещения к магматической камере очевидно связано с контаминацией материалом вмещающих пород. В пользу последнего предположения служат высокие нормативные содержания типичных коровых элементов – Ва, Sr, Pb, в породах Талажинского



Рис. 5. Положение составов пород Талажинского массива (черные кружки) на диаграммах Zr/Nb-Tb/Th и Nb/Y-Zr/Y [17]: UC – верхняя континентальная кора; PM – примитивная мантия; DEP – глубинная деплетированная мантия; REC – рециклированный компонент; EN – обогащенный компонент; HIMU – источник с высоким отношением U/Pb; EM1 и EM2 – обогащенные мантийные источники; ARC – островодужные базальты; N-MORB – базальты срединно-океанических хребтов; OIB – базальты океанических островов; OPB – базальты океанических плато. Стрелками показаны эффекты парциального плавления (F) и влияния субдукционных флюидов (SUB). Утолщенная штриховая линия на диаграмме – вероятная граница, разделяющая плюмовые и неплюмовые источники



Рис. 6. Гипотетическая модель механизма формирования расслоенных интрузивов талажинского комплекса (составлена с использованием [12, 18, 19]): 1 – гранитоиды; 2 – породы амфиболитовой фации метаморфизма в океанской коре; 3 – породы эклогитовой фации метаморфизма в океанской коре; 4 – кора островной дуги; 5 – океанская кора: а – осадки, б – толеитовые базальты океанического плато; 6 – мантийный диапир с зоной магмообразования; 7 – зона интенсивного сжатия, складчатости, надвигообразования; 8 – области магмообразования; 9 – зона воздействия водного флюида; 10 – гипотетический путь перемещения магмы; 11 – литосферная мантия; 12 – астеносферная мантия; 13 – расслоенный мафит-ультрамафитовый интрузив



**Рис. 7.** Мультиэлементные спектры для пород Талажинского массива, нормированные по углистому хондриту CI [22] (a) и примитивной мантии [14] (б)

массива (рис. 7). Ранее явления взаимодействия магмы с породами коры, способствующие обогащению этими элементами доказаны на основании изотопно-геохимических данных [20, 21] для Йоко-Довыренского и Войсис-Бей интрузивов, которые близки по формационной принадлежности к рассматриваемому массиву.

## Выводы

Таким образом, петрологические особенности Талажинского интрузива позволяют рассматривать его как ритмично-расслоенный (очевидно – двухфазный) плагиодунит-троктолит-габбро-анортозитовый массив. Петрогеохимические особенности слагающих его пород хорошо согласуются с результатами моделирования родоначального расплава и отражают образование массива в результате кристаллизационной дифференциации высокоглиноземистого оливин-базальтового расплава, для которого характерны повышенная магнезиальность при низких концентрациях HFSE (Ti, Zr, REE), слабая обогащенность LREE, положительная Еu-аномалия (таблица, рис. 7). В мультиэлементных спектрах проявлены отчетливые Ta-Nb-минимумы и Ba-Sr-максимумы. Эти данные позволяют предполагать, что формирование очагов исходных расплавов происхо-

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чернышов А.И., Ножкин А.Д., Мишенина М.А. Петрохимическая типизация ультрамафитов Канского блока (Восточный Саян) // Геохимия. 2010. № 2. С. 1–25.
- Чернышов А.И., Юричев А.Н. Петрология и потенциальная рудоносность мафит-ультрамафитовых массивов талажинского и кулибинского комплексов Восточного Саяна. – Томск: ЦНТИ, 2012. – 131 с.
- Юричев А.Н., Чернышов А.И. Рудная минерализация идарского дунит-гарцбургитового комплекса (Северо-Запад Восточного Саяна) // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 69–75.
- Юричев А.Н. Мафит-ультрамафитовый магматизм Канской глыбы и его рудный потенциал, Северо-Запад Восточного Саяна // Руды и металлы. – 2013. – № 3. – С. 11–20.
- Юричев А.Н., Чернышов А.И. Рудная минерализация перидотитов и габброидов кулибинского комплекса (северо-запад Восточного Саяна) // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 64–70.
- Юричев А.Н., Чернышов А.И., Конников Э.Г. Талажинский плагиодунит-троктолит-анортозит-габбровый массив Восточного Саяна: петрохимические особенности и проблемы рудоносности // Геология и геофизика. – 2013. – № 2. – С. 219–236.
- Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. – Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2003. – 192 с.
- Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Comission on New Minerals and Mineral Names / B.E. Leake, A.R. Woolley, C.E.-S. Arps, W.D. Birch, M.Ch. Gilbert, J.D. Grice, F.C. Hawthorne, A. Kato, H.J. Kisch, V.G. Krivovichev, K. Linthout, J. Laird, J.A. Mandarino, W.V. Maresch, E.H. Nickel, N.M.-S. Rock, J.C. Schumacher, D.C. Smith, N.C.-N. Stephenson, L. Ungaretti, E.J.-W. Whittaker // Canadian Mineralogist. - 1997. - V. 35. - P. 219-246.
- Динамика внутрикамерной дифференциации базитовых магм / М.Я. Френкель, А.А. Ярошевский, А.А. Арискин, Г.С. Бармина, Е.В. Коптев-Дворников, Б.С. Киреев. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
- Арискин А.А. Геохимическая термометрия пород расслоенной серии Скергаардского интрузива // Петрология. – 2002. – Т. 10. – № 6. – С. 563–568.

дило за счет толеитовых базальтов океанического плато при их поглощении и дальнейшего плавления в зоне субдукции. Дальнейшая эволюция расплава обусловлена процессами его перемещения в магматическую камеру, которые сопровождались контаминацией пород континентальной коры.

Авторы выражают признательность д.г.-м.н., профессору МГУ, ведущему сотруднику ГЕОХИ РАН (г. Москва) А.А. Арискину за консультации по аспектам моделирования исходных расплавов по программе КОМАГМАТ.

- Арискин А.А., Бармина Г.С. Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. – М.: Наука, 2000. – 363 с.
- Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. – М.: Наука, 2010. – 606 с.
- Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / eds. A.D. Saunders, M.J. Norry / Magmatism in the oceanic basins // Geol. Soc. Spec. Publ. – 1989. – № 42. – P. 313–345.
- Condie K. Plate tectonics and crustal evolution. N.Y.: Pergamon Press Inc., 1989. 288 p.
- Высокоглиноземистые расслоенные габброиды Центрально-Азиатского складчатого пояса (геохимические особенности, возраст и геодинамические условия формирования) / А.Э. Изох, Г.В. Поляков, А.С. Гибшер, П.А. Балыкин, Д.З. Журавлев, В.А. Пархоменко // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – № 11. – С. 1565–1577.
- 16. Современные задачи петрологии и геодинамики в развитии концепции рационального природопользования: материалы школы семинара / под ред. И.Ф. Гертнер, П.А. Тишина. – Томск: ЦНТИ, 2006. – 160 с.
- Condie K. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. – 2005. – V. 79. – P. 491–504.
- Авдейко Г.П., Палуева А.А., Хлебородова О.А. Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // Петрология. 2006. Т. 14. – № 3. – С. 248–266.
- Добрецов Н.Л. Петрологические, геохимические и геодинамические особенности субдукционного магматизма // Петрология. 2010. Т. 18. № 1. С. 88–110.
- Конников Э.Г. Дифференцированные гипербазит-базитовые комплексы докембрия Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.
- Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометальных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 488 с.
- Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and solar // Geochim. Cosmochim. Acta. - 1989. - V. 53. -P. 197-214.

Поступила 30.10.2013 г.

UDC 552.321.5, 6

# PARENTAL MELT AND GEODYNAMICS OF THE LAYERED MAFIC-ULTRAMAFIC MASSIFS OF THE KAN BLOCK OF EASTERN SAYAN

# Alexey N. Yurichev,

Cand. Sc., Tomsk State University, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 36. E-mail: juratur@sibmail.com.

# Alexey I. Chernyshov,

Dr. Sc., Tomsk State University, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 36. E-mail: aich@ggf.tsu.ru.

Based on the results of simulation of equilibrium crystallization by the program COMAGMAT 3.52 the authors have evaluated the probable temperatures and chemical composition of the parent magma of Talazhinsky mafic-ultramafic massif Kan block (north-western part of Eastern Sayan). The paper introduces for the first time the model of geodynamic conditions for crystallizing the layered series of its rocks. The data obtained allow making the conclusion on the fact that intrusive body is the rhythmically layered plagiodunit-troctolite-gabbro-anorthosite massif, which was formed at crystallization differentiation of low-Ti high-alumina olivine-basalt melt; the latter is characterized by high concentrations of Mg at low HFSE, weak enrichment of LREE, positive Eu-anomaly. The initial melt sources were formed owing to tholeiitic basalts of oceanic plateau at their absorption and further melting in a subduction zone. The subsequent evolution of the melt occurred due to the processes of its movement into magma chamber, which was accompanied by contamination of continental crust rocks.

## Key words:

Talazhinsky massif, layered complex, mafites, ultramafites, modeling, parental melt, geodynamics.

## REFERENCES

- Chernyshov A.I., Nozhkin A.D., Mishenina M.A. Petrokhimicheskaya tipizatsiya ultramafitov Kanskogo bloka (Vostochny Sayan) [Petrogeochemical typification of the ultramafic rocks from the Idar greenstone belt, Kan block, East Sayan]. *Geochemi*stry International, 2010, no. 2, pp. 1–25.
- Chernyshov A.I., Yurichev A.N. Petrologiya i potentsialnaya rudonosnost mafit-ultramafitovykh massivov talazhinskogo i kulibinskogo kompleksov Vostochnogo Sayana [Petrology and potential ore content of mafic-ultramafic massifs of talazhinsky and kulibinsky complexes of Eastern Sayan]. Tomsk, CNTI, 2012. 131 p.
- Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Rudnaya mineralizatsiya idarskogo dunit-garcburgitovogo kompleksa (Severo-Zapad Vostochnogo Sayana) [Ore mineralization of the Idarsky dunite-harzburgite complex (North-west Eastern Sayan)]. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 69-75.
- Yurichev A.N. Mafit-ultramafitovy magmatizm Kanskoy glyby i ego rudny potentsial, Severo-Zapad Vostochnogo Sayana [Maficultramafic magmatism of Kan block and its ore potential, Northwest Eastern Sayan]. *Rudy i metally*, 2013, no. 3, pp. 11–20.
- Yurichev A.N., Chernyshov A.I. Rudnaya mineralizatsiya peridotitov i gabbroidov kulibinskogo kompleksa (severo-zapad Vostochnogo Sayana) [Ore mineralization of peridotites and gabbros of the Kulibinsky complex (North-west of the Eastern Sayan)]. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 64–70.
- Yurichev A.N., Chernyshov A.I., Konnikov E.G. Talazhinskiy plagiodunit-troktolit-anortozit-gabbrovy massiv Vostochnogo Sayana: petrogeokhimicheskie osobennosti i problemy rudonosnosti [The Talazhin plagiodunite-troctolite-anorthosite-gabbro massif (East Sayan): petrogeochemistry and ore potential]. Russian Geology and Geophysics, 2013, vol. 54, no. 2, pp. 219-236.
- Glazunov O.M., Bognibov V.I., Ekhanin A.G. Kingashskoe platinoidno-medno-nikelevoe mestorozhdenie [Kingashsky PGE-copper-nickel deposit]. Irkutsk, IGTU Publ., 2003. 192 p.
- Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.-S., Birch W.D., Gilbert M.Ch., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J.,

Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.-S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.-N., Ungaretti L., Whittaker E.J.-W. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Comission on New Minerals and Mineral Names. *Canadian Mineralogist*, 1997, vol. 35, pp. 219–246.

- Frenkel M.Ya., Yaroshevskiy A.A., Ariskin A.A., Barmina G.S., Koptev-Dvornikov E.V., Kireev B.S. *Dinamika vnutrikamernoy differentsiatsii bazitovykh magm* [Dynamics of intrachamber differentiation of basic magmas]. Moscow, Nauka, 1988. 216 p.
- Ariskin A.A. Geokhimicheskaya termometriya porod rassloennoy serii Skergaardskogo intruziva [Geochemical thermometry of the layered series rocks of the Skaergaard intrusion]. *Petrology*, 2002, vol. 10, no. 6, pp. 563–568.
- Ariskin A.A., Barmina G.S. Modelirovanie fazovykh ravnovesiy pri kristallizatsii bazaltovykh magm [Modelling of phase equilibria in the crystallization of basaltic magmas]. Moscow, Nauka, 2000. 363 p.
- Bogatikov O.A., Kovalenko V.I., Sharkov E.V. Magmatizm, tektonika, geodinamika Zemli [Magmatism, tectonics, geodynamics of the Earth]. Moscow, Nauka, 2010. 606 p.
- Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Magmatism in the oceanic basins. *Geol. Soc. Spec. Publ*, 1989, no. 42, pp. 313–345.
- Condie K. Plate tectonics and crustal evolution. N.Y., Pergamon Press Inc., 1989. 288 p.
- Izokh A.E., Polyakov G.V., Gibsher A.S., Balykin P.A., Zhuravlev D.Z., Parkhomenko V.A. Vysokoglinozemistye rassloennye gabbroidy Tsentralno-Aziatskogo skladchatogo poyasa (geokhimicheskie osobennosti, vozrast i geodinamicheskie usloviya formirovaniya) [The high-alumina foliated gabbroides of Central Asian Fold Belt (geochemical characteristics, age and geodynamic conditions of formation)]. Russian Geology and Geophysics, 1998, vol. 39, no. 11, pp. 1565–1577.
- 16. Sovremennye zadachi petrologii i geodinamiki v razvitii kontseptsii ratsionalnogo prirodopolzovaniya [Modern problems of petrology and geodynamics in the development of the concept of

environmental management]. *Materialy shkoly-seminara* [Materiaal of the seminar]. Ed. by Gertner I.F., Tishin P.A. Tomsk, CNTI Publ., 2006. 160 p.

- Condie K. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, 2005, vol. 79, pp. 491-504.
- Avdeyko G.P., Palueva A.A., Khleborodova O.A. Geodinamicheskie usloviya vulkanizma i magmoobrazovaniya Kurilo-Kamchatskoy ostrovoduzhnoy sistemy [Geodynamic conditions of volcanism and magma formation in the Kurile-Kamchatka island-arc system]. *Petrology*, 2006, vol. 14, no. 3, pp. 248–266.
- 19. Dobretsov N.L. Petrologicheskie, geokhimicheskie i geodinamicheskie osobennosti subduktsionnogo magmatizma [Distincti-

ve petrological, geochemical, and geodynamic features of subduction-related magmatism]. *Petrology*, 2010, vol. 18, no. 1, pp. 88-110.

- Konnikov E.G. Differentsirovannye giperbazit-bazitovye kompleksy dokembriya Zabaykalya [Mafic-ultramafic differentiated complexes of Precambrian Transbaikalia]. Novosibirsk, Nauka, 1986. 224 p.
- Naldrett A.J. Magmaticheskie sulfidnye mestorozhdeniyja medno-nikelevykh i platinometalnykh rud [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and PGE ore]. Saint-Petersburg, SPbGU, 2003. 488 p.
- Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoritic and solar. Geochim. Cosmochim. Acta., 1989, vol. 53, pp. 97–214.

УДК 552.578.2.061.4

# ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЦЕОЛИТОВ И ВЛИЯНИЕ ИХ НАЛИЧИЯ НА РАЗРАБОТКУ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕССОЯХСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

# Поднебесных Александр Владимирович,

канд. геол.-минерал. наук, начальник отдела подсчета запасов УВ Управления геологии и разработки месторождений «Ямал» ООО «Газпромнефть НТЦ», Россия, 625626, г. Тюмень, ул. Республики, 143А. E-mail: Podnebesnikh.AV@gazpromneft-ntc.ru

# Овчинников Василий Павлович,

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Бурение нефтяных и газовых скважин» Института геологии и нефтегазодобычи Тюменского государственного нефтегазового университета, Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38. E-mail: burenie@rambler.ru

Установлено, что цеолиты образуются в щелочных условиях среды в процессе диагенеза или катагенеза и снижают фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов. Показано, что содержание цеолитов в породах-коллекторах напрямую связано со значением пористости и может достигать 13 % от общего объема породы. Определение зон цеолитизации методами ГИС довольно затруднительно, поэтому при выявлении таких интервалов по данным анализа кернового материала необходимо вводить поправки на возможное содержание в них цеолитов. Определено, что процесс цеолитизации на Мессояхской группе месторождений приурочен к определенным стратиграфическим интервалам, а именно к суходудинской свите нижнего мела. В региональном масштабе цеолитизорованные породы четко привязаны к зонам региональных разломов и зонам с максимальной метасоматической проработкой вмещающих пород. Опираясь на керновые данные и данные каротажа, была уточнена существующая седиментологическая модель продуктивных пластов Мессояхской группы месторождений, обозначены наиболее благоприятные условия и временные интервалы для формирования цеолитов. Кроме того, на основе опыта разработки месторождений с высоким содержанием цеолитов предложен способ наилучшей обработки призабойной зоны, который оказывает прямое влияние на увеличение коэффициента извлечения нефти.

#### Ключевые слова:

Цеолиты, метасоматоз, фильтрационно-емкостные свойства, ломонтит, фациальная модель, коэффициент извлечения нефти, призабойная зона, Мессояхская группа месторождений.

## Введение

В настоящее время в эксплуатацию вводится все большее количество месторождений нефти и газа, которые имеют очень сложное геологическое строение. Одним из наиболее ярких примеров объектов такого типа является Мессояхская группа месторождений, которая по запасам нефти и газа относится к уникальным геологическим объектам. В разрезе осадочной толщи, вскрытой пробуренными поисковыми и разведочными скважинами, выделяются породы мезозойской и кайнозойской групп. Продуктивные пласты встречаются в разрезе, мощность которого более двух километров, и стратиграфически приурочены к отложениям суходудинской, малохетской и покурской свит. Такой большой этаж нефтеносности обуславливает и разные свойства нефти: например, для коллекторов суходудинской свиты характерны «легкие» нефти с вязкостью от 8 до 15 мПа\*с, а для отложений покурской свиты свойственны «тя-