

Rb-Sr систематика магматических пород западной части Ольчан-Нерской металлогенической зоны (Восточная Якутия)

А.И.ЗАЙЦЕВ, В.Ю.ФРИДОВСКИЙ, М.В.КУДРИН (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН), 677980, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39)

Приведены первые данные по Rb-Sr изотопной систематике магматических пород дайкового комплекса и гранитов Дузуньинского массива, развитых в пределах Ольчан-Нерской металлогенической зоны (Восточная Якутия): андезит-базальты и гранит-порфиры дайкового комплекса 151–146 млн. лет и величины первичного изотопного состава $Sr(I_0) = 0,7105-0,7150$; граниты Дузуньинского плутона по минеральной изохроне – 132 млн. лет и $I_0 = 0,7073$. Изучение петрохимического состава пород указывает на разнообразие субстратов их магмогенерации, сформированных в палеостроводужной обстановке. Выявлены $P-T$ параметры формирования расплавов и условия их кристаллизации. Показано, что потенциально перспективными для формирования Au – минерализации района являются дайки гранит-порфиров. *Ключевые слова:* андезит-базальты, граниты, Rb-Sr изотопная систематика и возраст, условия и субстраты магмогенерации, физико-химические параметры становления, Дузуньинский плутон, Ольчан-Нерская металлогеническая зона.

Зайцев Альберт Иванович
Фридовский Валерий Юрьевич
Кудрин Максим Васильевич



a.i.zaitsev@diamond.ysn.ru
710933@list.ru
kudrinmv@mail.ru

Rb-Sr classification of magmatic rocks of the eastern part of the Olchan-Nera metallogenic zone (Eastern Yakutia)

A.I.ZAITSEV, V.YU.FRIDOVSKY, M.V.KUDRIN

First data on Rb-Sr isotopic classification of magmatic rocks from dyke complex and granites from the Duzunin massif, developed within the Olchan-Nera metallogenic zone (Eastern Yakutia), are given. Rb-Sr isochronous datings 151–146 Ma and values of the primary composition $Sr = 0,7105-0,7150$ were obtained for andesite-basalts and granite-porphyrines. Rb-Sr age of 132 Ma and relatively low value of the primary isotopic composition $Sr (0,7073)$ were defined on mineral isochron for granites of the Duzunin pluton. Studies of the petrochemical composition of rocks indicate variety of substrates of their magma generation, formed in paleo-island arc settings. $P-T$ parameters of melt formation and their crystallization conditions are identified. It is shown that dykes of granite-porphyrines' are potentially perspective for the formation of Au mineralization of the region. *Key words:* andesite basalts, granites, Rb-Sr isotope systematics and age, magma generation conditions and substrates, physical and chemical parameters of formation, Duzunin pluton, Olchan-Nera metallogenic zone.

Магматизм в пределах Верхояно-Колымской складчато-надвиговой области проявился в виде протяженных поясов гранитоидных массивов (Главный, Северный, Тас-Кыстабытский и поперечные пояса), формировавшихся в процессе и после завершения аккреции террейнов к восточной окраине Северо-Азиатского кратона в позднеюрско-раннемеловое время [2]. Ольчан-Нерская металлогеническая зона расположена в северо-западной части Нерского антиклинория (рис. 1). Ее строение во многом определяется продольными Чай-Юреинским и Чаркы-Индибирским разломами, имеющими важное значение в размещении оруденения. Зона характеризуется крупными россыпями золота, однако со-

поставимых по масштабам рудных месторождений до настоящего времени не установлено. До сих пор неясна возрастная последовательность формирования магматических и рудных проявлений района, их взаимосвязь.

В работе приведены первые данные по Rb-Sr систематике магматических пород Ольчан-Нерской металлогенической зоны. Основная цель исследования – определение возраста этих пород, основных источников их магм и вероятных физико-химических условий их формирования, а также потенциальной металлоносности. Были изучены андезит-базальты и гранит-порфиры дайкового комплекса и гранитоиды Дузуньинского массива.

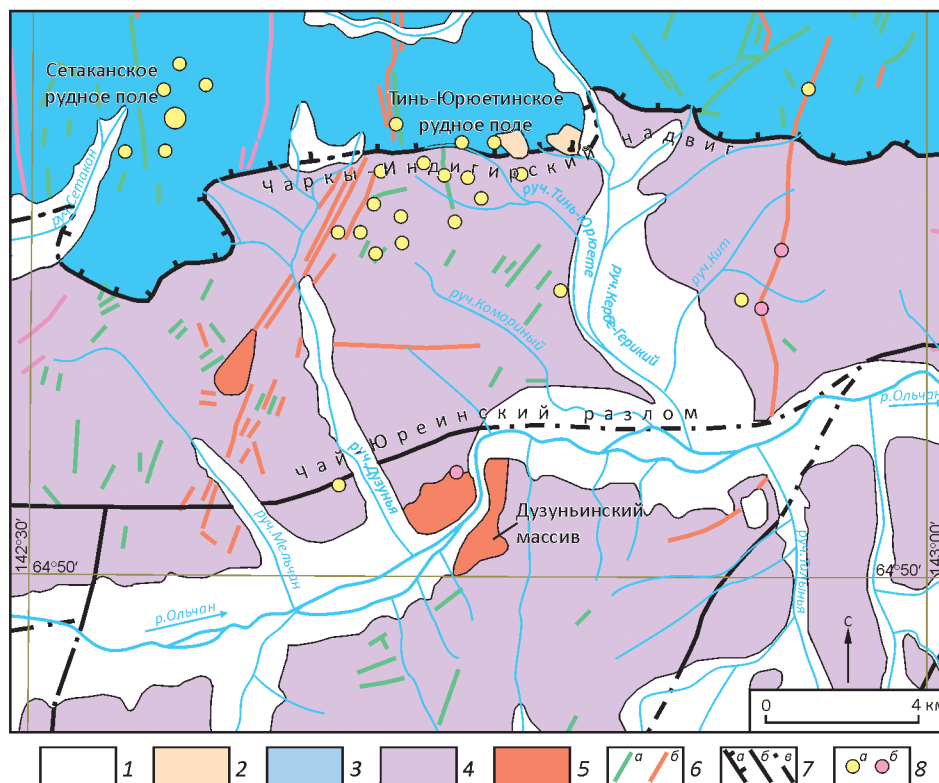


Рис. 1. Схема геологического строения западной части Ольчан-Нерской зоны. По Р.Ю.Нургалееву, 2003:

отложения: 1 – четвертичные, 2 – неогеновые, 3 – нижнеюрские, 4 – верхнетриасовые; 5 – гранитоиды; 6 – верхнеюрские дайки: а – андезит-базальтов, андезитов и риолитов, б – гранит-порфиров; 7 – разломы: а – надвиги, б – достоверные, в – предполагаемые, скрытые под четвертичными отложениями; 8 – рудопоявления: а – золотокварцевые, б – вольфрамовые

В Ольчан-Нерской металлогенической зоне широко развиты плутоны гранитоидов мезозойского возраста, из которых наиболее крупными являются Левоиндигирский, Усть-Нерский, Нюргунтасский и Эбир-Хаинский. Вблизи и на отдалении от этих плутонов вскрыты мелкие тела различной формы, как правило, представляющие собой апикальные части более крупных интрузивов, и нередко имеющие северо-восточное простирание. Магматические тела прорывают терригенные толщи перми, триаса и юры Кулар-Нерского сланцевого пояса, метаморфизованные в зеленосланцевой фации. Породы массивов представлены лейкогранитами, биотитовыми гранит-порфирами, а комагматичные им дайки – гранит-порфирами. Дайки имеют в основном северо-восточное простирание, и лишь единичные дайки – широтное простирание. Ширина зон контактового метаморфизма при крутом контакте изменяется от 0,1–1,0 км, а при пологом – до 5–10 км. Зона собственно роговиков имеет ширину, соответственно, от первой сотни метров до 2–6 км. Непосредственно на контакте, как правило, наблюдаются кордиеритовые роговики, которые с удалением сменяются биотитовыми роговиками. С гранитоидным магматизмом связано молиб-

ден-вольфрамовое, оловянное оруденение (Р.Ю.Нургалеев, 2003).

В пределах района также развиты дайки различного состава (от основного до кислого) и простирания (от меридионального до северо-восточного). По данным геолого-съёмочных работ, большинство из них отнесено к позднеюрскому Нера-Бохапчинскому комплексу (Р.Ю.Нургалеев, 2003). Локализация даек определяется особенностями развития в поздней юре и раннем мелу верхнекоровых и глубинных долгоживущих магмоконтролирующих тектонических структур. Дайки сложены, как правило, гранит-порфирами, реже диоритовыми порфиритами и андезит-базальтами и выполняют системы крутопадающих трещин преимущественно северо-восточного и субмеридионального, реже северо-западного и субширотного простираний. Мощность даек от 0,5 м до 25,0 м и протяженность от первых сотен метров до 6,5 км. Обычно дайки прямолинейной формы, но в ряде случаев отмечаются апофизы и сложная сильно извилистая морфология. Контактное воздействие даек на вмещающие осадочные породы незначительное и выражено в уплотнении и сульфидизации их на расстоянии до 5 м и реже до 10–20 м от контакта.

Породы даек в различной степени сульфидизированы и березитизированы и часто несут прожилковое окварцевание. Маломощные жилы и прожилки кварца расположены как в дайках, так и во вмещающих породах. Отмечаются кварцевые жилы с видимым золотом. Дайки в пределах западной части Ольчан-Нерской металлогенической зоны относятся к Дузуньинской серии и сконцентрированы в полосе шириной 1–2 км с расширением ее в юго-западном направлении. Они представлены в основном гранит-порфирами и имеют северо-восточное простирание. Это протяженные (до 10 км) субпараллельные крутопадающие плитообразные тела мощностью от первых метров до первых десятков метров. По дайкам развиты в большом количестве гидротермальные и гидротермально-метасоматические образования в виде кварцевых, сульфидно-кварцевых жил, участков березитизации и грейзенизации, а на контакте с ними во вмещающих песчаниках развиваются биотит-кварцевые образования и эпидот.

По геологическим данным возраст дайковых комплексов рассматривается как позднеюрский, а гранитоидных плутонов как раннемеловой (Р.Ю.Нургалеев, 2003). В то же время имеющиеся изотопные датировки пород плутонов достаточно противоречивы. По неопубликованным данным (архив лаборатории масс-спектрометрических методов анализа ИГАБМ СО РАН, г. Якутск) значения K-Ar возраста гранитоидов Нюргунтасского массива находятся в интервале 146–98 млн. лет, Усть-Ольчанского массива – 132 млн. лет, Усть-Нерского – 124–70 млн. лет, Эбир-Хаинского – 136–88 млн. лет, Лево-Индибирского – 134–98 млн. лет. В двуслюдяных гранитах Эбир-Хаинского плутона для трех образцов были получены Rb-Sr минеральные изохронные датировки 147 ± 6 , 137 ± 1 и 83 ± 1 млн. лет. Такая дискордантность изотопных датировок пород гранитоидных плутонов, вероятно, обусловлена сложной и длительной историей развития региона с неоднократным проявлением в его пределах тектономагматической активизации. В частности, относительно свежие образцы двуслюдяных гранитов Лево-Индибирского массива, датированные K-Ar методом по биотиту, характеризуются датировками 134 ± 2 млн. лет, а биотит из катаклазированных пород имеет возраст 98 ± 1 млн. лет. Изотопные датировки пород даек в пределах Ольчан-Нерской металлогенической зоны авторам не известны.

Петрографические особенности магматических пород. В бассейне р. Дузунья, левого притока р. Ольчан были опробованы дайки андезито-базальтов и гранит-порфиров, а также граниты Дузуньинского массива. Изученные андезито-базальты – в различной степени измененные породы с содержанием (в %): плагиоклаза от 4,5 до 44,80, ортоклаза от 6,7 до 15,2, пироксена (гиперстен ?) – от 14,9 до 29. Кварц, как правило, вторичный и местами его содержание достигает 30,6%. Акцессорные минералы представлены (в %): апатитом 0,17–0,54, магнетитом 3,2–4,0, ильменитом 1,7–3,0, вторичные ми-

нералы – серицитом 1,6–10,9 и карбонатом 1,4–12,8%. Плагиоклаз наименее измененных пород имеет состав андезина (до 49% an), в сильно измененных образцах его количество снижается до 4,5%, и он представлен альбитом. Дайки гранит-порфиров также имеют невыдержанный минералогический состав (в %): кварц 28,8–39,0, ортоклаз 3,1–27,2, плагиоклаз 14,0–58,0, пироксен (?) 0,32–0,83, магнетит 1,16–2,03, ильменит 0,08–0,65, апатит 0,02–0,31. В отдельных образцах в незначительных количествах развиты (в %): карбонат до 0,2, пирит до 0,32 и серицит 0,7–3,4. Наибольшие вариации содержания характерны для калишпатов (3–27%), что вместе с изменением состава плагиоклазов (4–47% an), вероятно, обусловлено степенью изменения пород.

Дузуньинский массив расположен в долине нижнего течения р. Ольчан, левого притока р. Индибирка. Он имеет субизометрично-неправильную форму площадью около 4,5 км². Сложен массив крупнозернистыми биотитовыми гранитами, интенсивно грейзенизированными и калишпатизированными, особенно в северной его части, где наблюдаются многочисленные жильные образования кварц-мусковит-турмалиновых грейзенов, нередко с сульфидно-вольфрамитовой, молибденовой и касситеритовой минерализацией.

Плутоны прорывают терригенные породы норийского яруса верхнего триаса. Осадочные породы в зоне экзоконтакта преобразованы в кордиеритовые, андалузитовые и биотитовые роговики, а песчаники с карбонатным цементом – в диопсид-гранатовые микроскарны. Для всех разновидностей ороговикованных пород характерно присутствие значительного количества биотита (20–45%), а в зоне непосредственного экзоконтакта отмечена биотит-кварцевая оторочка мощностью до нескольких десятков сантиметров. Ширина ореола контактово-метаморфизованных пород составляет 500–700 м. В контактовых зонах массива развиты дайки аплитов и пегматитов широтного и северо-восточного простираний мощностью от 0,2 до 2,5 м и протяженностью до 450 м.

Был изучен штуф (Дз-11-15) крупнозернистого биотитового гранита, отобранного из центральной части массива [1]. Порода сложена плагиоклазом (до 32%), состав которого колеблется от олигоклаза An₂₀ до альбита, ортоклазом (32,2%), кварцем (27,7%), биотитом (1%) переменного состава, от неизмененного до частично или полностью хлоритизированного, редкими чешуями мусковита. Акцессорные минералы представлены апатитом (0,26%), магнетитом (2,1%), ильменитом (1%), цирконом, ортитом, сфеном, флюоритом и мелкими зернами недиагностированных редкоземельных минералов. Апатит представлен в основном F-апатитом (F 2,54–4,59%), ильменит – марганцовистой разновидностью (MnO от 3,78 до 6,45%). Хлорит развивается по биотиту и по данным микросондового анализа относится к магнезиально-железистой триоктаэдрической разновидности (рипидолит), реже отмечаются и железистые разновидности (дафнит и брунсвит).

1. Химический состав магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны

Компоненты	Образцы								
	Тю-29-15	Тю-40-15	Тю-57-15	Дз-12-15	Тю-37-15	Тю-41-15	Дз-3-15	Дз-4-15	Дз-11-15
	Дайки								Массив
	Андезито-базальты				Гранит-порфиры				Граниты
SiO ₂ , %	52,02	51,87	47,24	52,51	75,47	72,94	73,38	73,35	71,32
TiO ₂	1,1	1,6	0,89	1,23	0,04	0,14	0,1	0,34	0,52
Al ₂ O ₃	14,55	16,47	13,75	15,81	13,75	13,98	14	13,45	14,21
Fe ₂ O ₃	2,78	2,34	2,19	2,3	1,69	1,33	1,81	1,4	1,47
FeO	3,57	5,12	4,54	3,85	0,57	0,86	0,43	1,14	1,43
MnO	0,12	0,11	0,1	0,1	0,06	0,04	0,02	0,01	0,04
MgO	4,91	7,05	7,51	4,77	0,33	0,25	0,14	0,14	0,12
CaO	7,18	5,79	6,57	6,43	0,52	0,75	0,86	1,69	1,55
Na ₂ O	0,53	2,93	0,66	1,18	4,88	3,65	2,72	3,21	3,33
K ₂ O	2,57	1,14	2,24	2,56	1,84	4,6	4,36	4,11	5,44
H ₂ O ⁻	0,22	0,3	0,08	0,17	0,22	0,26	0,04	0,1	0,06
H ₂ O ⁺	3,64	3,28	4,02	4,01	0	0	0,99	0	0,35
П.П.П	0	1,16	0	0	1,04	0,78	0,65	0,71	0,27
P ₂ O ₅	0,23	0,12	0,07	0,11	0,13	0,01	0,01	0,03	0,11
CO ₂	6,84	0,62	9,77	4,66	0	0	0,05	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0
Сумма	100,05	99,61	99,57	99,54	100,34	99,35	99,70	99,61	100,19
Li, г/т	55,3	38,1	57,6	56,2	7,4	4,4	7,9	18,6	44,6
Rb	55,8	19,2	36,6	64,9	63,1	83,2	88,7	91,4	131,7
Cr	290	760	680	120	510	590	410	290	340
Ni	7,5	70	130	15	13	13	6,4	7,5	11
V	150	130	130	150	9,6	5,9	8,2	10	18
Sc	27	29	26	22	3	3	3	4,3	6,3
Co	12	27	18	15	3	3	3	3	3
Ba	610	1100	560	540	230	880	800	1000	770
Sr	510	300	260	410	170	110	100	140	130
Nb	7,5	7,5	7,5	7,5	13	8,3	10	7	19
Zr	110	95	66	110	82	64	66	100	160
Y	14	16	10	15	5,5	4,7	4,7	8,5	39
Yb	2,7	2,6	1,8	2,4	0,5	0,5	0,5	0,8	3,7
K ₂ O/Na ₂ O	4,85	0,39	3,39	2,17	0,38	1,26	1,60	1,28	1,63
Na ₂ O+K ₂ O	3,1	4,07	2,90	3,74	6,72	8,25	7,08	7,32	8,77
Fe ₂ O ₃ /FeO	0,78	0,46	0,48	0,60	2,96	4,55	4,21	1,23	1,03
K/Rb	384	495	510	329	243	461	410	375	344
Mg#	43,60	48,59	43,15	43,68	12,74	10,24	5,88	9,86	3,97
ASI	0,87	0,99	0,89	0,96	1,25	1,13	1,30	1,05	1,00
T °C расплава	1014±46	1036±13	997±3	1015±8	567±45	758±15	709±8	897±7	924±7
T _{зr}	708	723	–	720	750	–	735	749	780
fO ₂ (T _{зr})	-14,05	-14,14	–	-13,93	-11,87	-13,19	-11,25	-13,32	-12,92
ΔNi-Ni	+2,56	+2,08	–	+2,36	+3,69	–	+4,67	+2,26	+1,95

Примечание. индекс: ASI – глиноземистости, Mg# – магнезиальности пород; T °C расплава – температура формирования расплава; T_{зr} – температура кристаллизации магмы по насыщению его цирконием; fO₂(T_{зr}) – фугитивность кислорода пород при температуре формирования циркона; ΔNi-Ni степень окисленности пород относительно Ni-NiO буфера; расчеты значений ASI, T °C расплава и T_{зr} проведены по программе GDK-3 [4], а fO₂(T_{зr}) и ΔNi-Ni по работе [5].

Петрохимические особенности магматических пород. По химическому составу изученные магматические породы дайкового комплекса и гранитоиды Дузуньинского массива относятся к щелочноземельной серии. Андезито-базальты (SiO_2 47,24–52,51%) при содержании Na_2O 0,53–2,93 и K_2O 1,14–2,57% характеризуются пониженной суммой щелочей (2,9–4,7%) и значительными колебаниями $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 0,39–4,85 (табл. 1), что, вероятно, обусловлено высокой подвижностью щелочей в связи с влиянием поздних наложенных процессов. Для андезито-базальтов характерны низкие значения величин $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ (0,48–0,60), и по величине индекса глиноземистости ($\text{ASI}=0,87\text{--}0,96$) андезито-базальты относятся к метаалюминиевым породам. Гранит-порфиры (SiO_2 71,32–75,47%) характеризуются также варьирующими содержаниями Na_2O 2,72–4,88 и K_2O 1,87–5,44%, суммы щелочей (6,72–8,77%), величиной $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 0,38–1,67 и $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 1,03–4,55. Такая гетерогенность состава гранитоидов также обусловлена влиянием поздних наложенных процессов. По величине ASI гранитоиды (1,00–1,30) – пералюминиевые породы. Соответственно основности различные типы пород характеризуются и различным содержанием элементов-примесей (см. табл. 1). Предполагается, что различия в значениях $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ и ASI магматических пород связаны с различной природой их протолитов.

Rb-Sr изотопная систематика пород. В настоящее время, как уже показано, для магматических пород Ольчан-Нерской зоны имеются лишь редкие K-Ar датировки по отдельным массивам гранитоидов. Дайковый комплекс в этом плане практически не изучен, и определения их изотопного возраста авторам неизвестны. Для гранитов из северной части Дузуньинского плутона, где проявлена рудная минерализация, авторы ранее определили K-Ar возраст 91 ± 1 млн. лет. Для уточнения возрастного положения магматических пород района

была исследована их Rb-Sr изотопная систематика. Результаты Rb-Sr изотопного анализа (табл. 2) показывают для андезито-базальтов из даек относительно пониженное содержание ^{87}Rb (7,10–26,39 мкг/г) и повышенное содержание ^{86}Sr (27,12–42,18 мкг/г) относительно пород даек гранитного состава (23,65–41,72 и 7,77–13,94 мкг/г, соответственно). Граниты Дузуньинского массива характеризуются самым высоким содержанием ^{87}Rb (62,08 мкг/г) и промежуточной концентрацией ^{86}Sr (23,57 мкг/г) между андезито-базальтами и гранит-порфирами даек. Величины отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ находятся в положительной зависимости от содержания в породах ^{87}Rb и обратной от содержания ^{86}Sr , что, соответственно, определяет их высокие значения для образцов гранитоидов (1,34–4,65) и более низкие – для андезито-базальтов (0,21–0,72).

На Rb-Sr изохронной диаграмме все проанализированные образцы формируют 4 линии зависимости (рис. 2). Они определяют возраст пород в интервале времени 132–151 млн. лет и значения первичного изотопного отношения Sr (I_0) на период их формирования от 0,7073 до 0,7150 (табл. 3). Наиболее молодая датировка $132 \pm 0,1$ млн. лет ($I_0=0,7073 \pm 0,0001$) получена по минеральной изохроне (порода+биотит+калишпат) для гранита Дузуньинского массива. Образцы андезито-базальтов, исключая образец Тю-29-15, характеризуются наиболее древней Rb-Sr изохронной датировкой 151 ± 3 млн. лет и повышенной величиной $I_0=0,7108 \pm 0,0001$. На эту же изохрону попадает образец гранит-порфира (Дз-3-15). По двухточечным изохронам для пород даек были определены также две одинаковые датировки – 146 млн. лет, но с различными и высокими значениями I_0 , равными 0,7123 и 0,7150 (см. табл. 3). Эти датировки магматических пород дайкового комплекса предполагают их формирование в интервале 146–151 млн. лет в позднеюрское время. Различие значений I_0 , определенных по различным изохронным зависимостям для пород

2. Результаты Rb-Sr изотопного анализа магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны

Образцы	Порода, минерал	^{87}Rb	^{86}Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
		Дайковый комплекс			
Тю-29-15	Андезито-базальт	19,915	42,1756	0,4668	0,7133
Тю-40-15		7,0985	33,0215	0,2125	0,7114
Тю-57-15		17,3589	27,1237	0,6326	0,7120
Дз-12-15		26,3883	36,4361	0,7159	0,7122
Тю-37-15	Гранит-порфир	23,6525	17,4791	1,3376	0,7151
Тю-41-15		41,7242	8,9135	4,6272	0,7246
Дз-3-15		36,5642	7,7661	4,654	0,7208
Дз-4-15		36,7698	13,9408	2,6072	0,7204
Дузуньинский массив					
Дз-11-15	Гранит	62,0813	23,5723	2,6034	0,7121
Дз-11-15	Ортоклаз	80,7199	36,7675	2,1702	0,7114
Дз-11-15	Биотит	112,8132	1,4300	77,9831	0,8535

Примечание. Содержание изотопов Rb и Sr приведено в мкг/г.

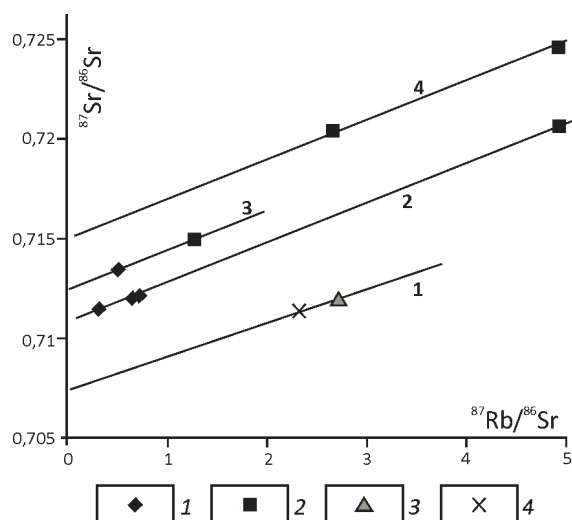


Рис. 2. Параметры Rb-Sr изохрон для магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны:

дайки: 1 – андезито-базальты, 2 – гранит-порфиры; Дузуньинский массив: 3 – граниты, 4 – ортоклаз (точка биотита не показана в связи с масштабом диаграммы); числа около линий отвечают номерам изохрон в табл. 3

даек, вероятно, связано с различной степенью их изменения при наложении поздних геологических процессов. В частности, отмечается прямая корреляционная связь между содержанием стронция в породах и степенью их карбонатизации ($r=0,83$) и серицитизации ($r=0,76$). Это может свидетельствовать о разнообразных источниках стронция и его различном изотопном составе в породах даек. Данные по Rb-Sr системам карбонатных прожилков из минерализованных участков западной части Ольчан-Нерской зоны и песчаников (T_3) бассейна р. Тарын (табл. 4) показывают, что значения их изотопного состава Sr на период формирования пород даек были достаточно высокими (0,7094–0,7158), и они могли служить дополнительными источниками Sr в эти магматические породы.

Магмоформирующие источники пород и геодинамическая история их формирования. Различный состав изученных пород предполагает разнообразие их магмоформирующих субстратов. Для определения протолитов данные по химическому составу пород были вынесены на дискриминантную диаграмму, на которой поля магмогенерирующих субстратов были выделены на основе экспериментальных исследований [6]. Фигуративные точки составов андезито-базальтов полностью лежат в поле амфиболитовых протолитов, а гранитоидных пород – продолжают андезито-базальтовый тренд в направлении поля метаграувакков (рис. 3).

3. Параметры Rb-Sr изохрон для магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны

Материал пробы	n	Возраст, млн. лет	I_0
1. Гранит Дузуньинского массива (порода, биотит, калишпат)	3	132±0,1	0,7073±0,0001
2. Дайки (Дз-3-15, Дз-12-15, Тю-57-15, Тю-40-15)	4	151±3	0,7108±0,0001
3. Дайки (Тю-37-15, Тю-29-15)	2	146	0,7123
4. Дайки (Дз-4-15, Дз-41-15)	2	146	0,7150

Примечание. n – число образцов; I_0 – первичный изотопный состав Sr.

4. Результаты Rb-Sr изотопного анализа жильного карбоната западной части Ольчан-Нерской зоны и песчаников (T_3) бассейна р. Тарын

Образцы	Материал	^{87}Rb	^{86}Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	I_0
Гидротермальные прожилки карбоната (Ольчан-Нерская зона)						
29-A-80	Доломит				0,7103	0,7103
54-A-80		0,0162	285,4710	0,00006	0,7107	0,7107
450 ^b -A-82	Кальцит				0,7107	0,7107
454-A-82					0,7098	0,7098
468-A-82					0,7093	0,7093
506-A-82	Доломит	0,0010	175,2550	0,00004	0,7097	0,7097
806-A-85	Кальцит				0,7109	0,7109
807-A-85		0,0368	193,4150	0,00019	0,7094	0,7094
Дк-30 ^a -80		0,0248	270,4480	0,00009	0,7098	0,7098
Песчаники, T_3 (бассейн р. Тарын)						
06-АП-12	Песчаник	19,043	30,4683	0,3418	0,7149	0,7136
06-АП-14		7,3722	21,3181	0,6179	0,7171	0,7158

Примечание. Первичный изотопный состав Sr (I_0) рассчитан на возраст 151 млн. лет; образцы из коллекции карбонатов В.А.Амузинского, песчаников – А.В.Прокопьева.

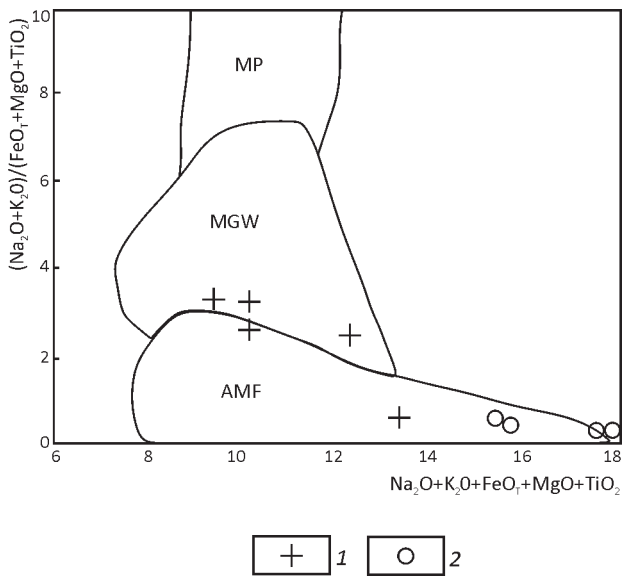


Рис. 3. Диаграмма $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/(\text{FeO}_1+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$ – $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{FeO}_1+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$ для магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны:

1 – граниты; 2 – андезито-базальты; поля протолитов по работе [6]: MP – метапелиты, MGW – метаграувакки и AMF – амфиболиты; $\text{FeO}_1+\text{Fe}_2\text{O}_3/1,11+\text{FeO}$

Это подразумевает, что в формировании гранитоидных магм участвовали разные по составу протолиты. Значения K/Rb в породах неравномерны и выше, чем для типичных гранитоидов, что подчеркивает повышенную основность протолитов. Для андезито-базальтов величина этого отношения изменяется от 329 до 510, а для гранитоидов – от 241 до 461 (см. табл. 1). Кроме того, по соотношению величины индекса магнезиальности Mg# 43,2–48 и содержания SiO_2 47,2–52,5% [5] протолитами андезито-базальтов могли быть амфиболиты (метабазальты), а гранитоидов (Mg# 4,0–12,7 и SiO_2 71,3–75,5) – метаграувакки. На дискриминантных геохимических диаграммах (рис. 4) все изученные авторами образцы магматических пород района лежат в поле вулканических островных дуг. Природа этих дуг отчетливо фиксируется на диаграмме (рис. 5) в координатах Rb/Zr–Nb [8], где точки андезито-базальтов лежат в поле перекрытия пород примитивных и нормальных континентальных дуг, а гранитоидов – в поле нормальных континентальных дуг. В настоящее время недостаточно ясно, являются ли протолиты продуктами предшествующих геохимических процессов (палеосубдукции ?), или формирование магматических расплавов непосредственно обусловлено субдукционными процессами.

Физико-химические условия формирования и кристаллизации пород. Различия химического состава магматических пород предполагает не только различие состава их протолитов, но и условий образования расплавов и физико-химических условий их кристаллизации.

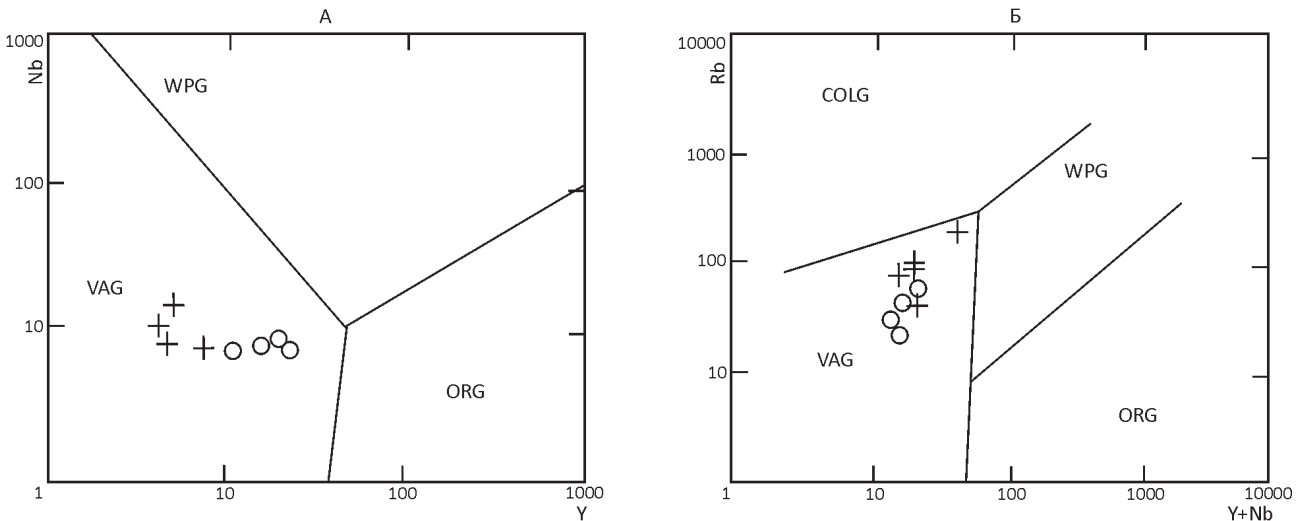


Рис. 4. Дискриминантные диаграммы Nb–Y (А), Rb–(Y+Nb) (Б) для магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны:

поля по работе [6]: WPG– внутриплитные, VAG – вулканических островных дуг, COLG – коллизионные, ORG –океанических хребтов; см. услов. обозн. к рис. 3

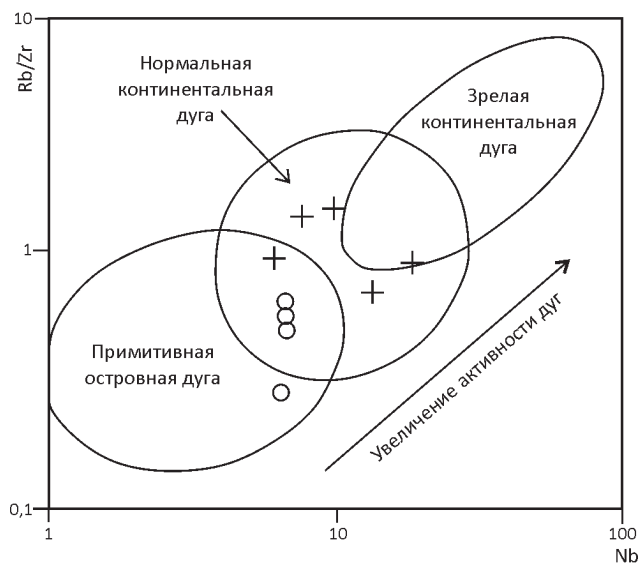


Рис. 5. Геохимическая диаграмма для магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны:

поля по работе [8]; см. услов. обозн. к рис. 3

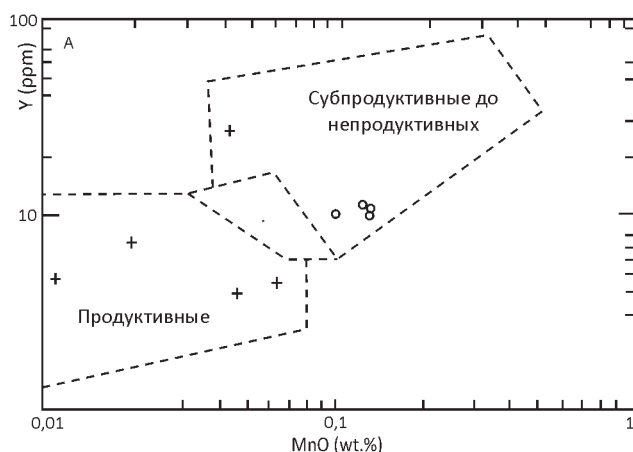


Рис. 6. Дискриминантная диаграмма MnO–Y [3] для идентификации продуктивности на Cu–Au минерализации магматических пород западной части Ольчан-Нерской зоны:

см. услов. обозн. к рис. 3

По результатам расчетов на основании микрозондовых анализов минералов, гранитоиды Дузуньинского плутона формировались при P 223 ± 31 МПа и при T кристаллизации биотита $686 \pm 24^\circ\text{C}$ [1]. Дальнейшее охлаждение пород и увеличение флюидной фазы приводит к переравновесию состава биотита (при T 424 – 591°C) и полевых шпатов (142 – 378°C) и образованию по биотиту хлоритов (183 – 374°C). Рассчитаны температуры

расплава и кристаллизации цирконов, которые соответственно равны $924 \pm 7^\circ\text{C}$ и 780°C (см. табл. 1). Имеющиеся данные позволяют предположить длительный температурный интервал становления плутона. При кристаллизации циркона граниты имели относительно повышенную степень окисленности выше Ni–NiO буфера (+1,95), а при кристаллизации биотита величина $\Delta\text{Ni–NiO}$ несколько понижается (от +1,20 до –0,66), указывая на некоторое снижение окисленности гранитов. В участках изменения пород повышается степень их окисления ($\Delta\text{Ni–NiO}$ от +8,0 до +8,4) до магнетит-гематитового буфера.

Породы даек комплексов по температурам формирующих их расплавов сильно отличаются (см. табл. 1). Магмы для андезито-базальтовых даек формировались при высоких температурах (997 – 1036°C), а для даек гранит-порфиров, исключая сильно альбитизированный и серитизированный образец Тю-37-15 – при относительно пониженных температурах (709 – 924°C). Однако температура кристаллизации магм ($T_{\text{кр}}$) была несколько выше для даек гранит-порфиров (735 – 750°C), чем для даек андезито-дацитов (708 – 723°C). Кристаллизация пород даек происходила в окислительных условиях (выше Ni–NiO буфера), но при несколько различных величинах фугитивности кислорода. Для андезито-базальтов были рассчитаны значения $\Delta\text{Ni–NiO}$ в пределах от +2,08 до +2,56, и еще большие величины для гранит-порфиров – от +2,26 до +4,67.

Таким образом, полученные данные по возрасту, составу магматических пород Ольчан-Нерской металлогенической зоны и физико-химическим условиям их формирования позволяют предположить, что они, вероятно, имели не только различные магмогенерирующие субстраты, но и различные физико-химические условия становления. Это могло обуславливать различную рудогенерирующую способность магматических расплавов и возможную связь с ними рудопроявлений золота. На диаграмме MnO–Y (рис. 6), которая предлагается [3] как индикаторная для определения перспективности магматических пород на образование Cu–Au минерализации, в поле продуктивных на Cu–Au месторождений попадают только образцы даек гранит-порфиров. Согласно этой диаграмме, андезито-базальты не являются перспективными для формирования Cu–Au минерализации.

Образец биотитового порфировидного гранита Дузуньинского плутона, где проявлены кварц-мусковит-турмалиновые грейзены, нередко с сульфидно-вольфрамитовой, молибденовой и касситеритовой минерализацией, также попадает в поле бесперспективных на золотое оруденение пород.

В заключение следует отметить, что геологические процессы, обусловленные длительной и многократной тектономагматической активизацией региона, вероятно, модифицируют первичные особенности состава магматических пород и их изотопные системы.

Поэтому для дальнейшего уточнения истории развития Ольчан-Нерской зоны необходимо сделать более детальный и тщательный отбор образцов как магматических, так и гидротермально измененных пород разного состава для более четкого установления этапов их формирования, модификации и датирования возраста сопутствующей минерализации. При этом желательно привлечение различных изотопных методов датирования, включая Ag-Ag по минералам и U-Pb по циркону.

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2014-0008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцев А.И., Кудрин М.В., Фридовский В.Ю.* P-T условия формирования Дузуньинского гранитоидного массива (Восточная Якутия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2016. С. 343–345.
2. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия).* – М.: «Наука/Интерпериодика», 2001.
3. *Baldwin J.A., Pearce J.A.* Discrimination of productive and nonproductive porphyritic intrusions in the Chilean Andes // *Economic Geology*. 1982. Vol. 77. Pp. 665–674.
4. *Janoušek V., Farrow C.M., Erban V.* Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit) // *Journal of Petrology*. 2006. Vol. 47. № 6. Pp. 1255–1259.
5. *A Mössbauer study of the oxidation state of Fe in silicate melts / K.D.Jayasuriay, H.S.O'Neil, A.J.Berry, S.A.Campbell* // *American Mineralogist*. 2004. Vol. 89. Pp. 1597–1609.
6. *PatinoDouce A.E.* What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? // *Geological Society, London, Special Publications*. 1999. Vol. 168. Pp. 55–75.
7. *Pearce J.A., Harris N., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonics Interpretation of Granitic rocks // *Journal Petrology*. 1984. Vol. 25. № 4. Pp. 956–983.
8. *Rao D.R., SHARMAR.* Arc magmatism in eastern Kumaun Himalaya, India: A study based on geochemistry of granitoid rocks // *Island Arc*. 2011. Vol. 20. Pp. 500–519.