ТИХООКЕАНСКАЯ ГЕОЛОГИЯ, 1996, том 15, № 3, с.98-107

УДК 553.212(553.412)

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ РИОЛИТОВ ЯКУТСКОЙ И АВГУСТОВСКОЙ ВУЛКАНОСТРУКТУР (ПРИМОРЬЕ).

В.К. Попов, А.В. Гребенников

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН г. Владивосток

Изложены результаты геологического и петролого-геохимического изучения риолитов Якутинской вулканоструктуры и Августовского серебро-полиметаллического месторождения, отражающих раннепалеогеновый этап вулканизма Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Показано, что "родоначальные" риолиты являются производными единого глубинного очага гранитной магмы. Характер дифференциации кислых расплавов в близповерхностных условиях определялся степенью открытости (закрытости) магматических очагов с внешней средой. Риолиты вулканических построек характеризуются укороченным трендом дифференциации (по кремнекислотности, щелочности, распределению редких и рудных элементов). Высококремнистые, ультракалиевые риолиты даек, флюидно-эксплозивные брекчии, автометасоматические и гидротемальные образования купольной структуры месторождения отражают процессы флюидной дифференциации гранитного расплава в квазистатических (закрытых) условиях, ведущие к формированию гидротермальных рудных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Проводимые в последнии годы теоретические и экспериментальные исследования по флюидно-магматическому распределению рудных элементов в процессе эволюции гранитных систем [5,6,12,18,19 и др.], требуют детального изучения процессов дифференциации кислых расплавов в близповерхностных магматических очагах, приводящих к обособлению и последующему отделению высокотемпературных флюидно-солевых расплавов-растворов, экстрагирующих рудные компоненты. Однако, реализация этого механизма зависит от многих в том числе и немагматических факторов. Важнейшим из них, на наш взгляд, является степень открытости или закрытости магматического очага с внешней средой.

В настоящей статье изложены результаты геологического и петролого-геохимического изучения магматических образований Якутинской вулкано-тектонической структуры и сопряженной с ней Августовской интрузивно-купольной структуры, в сводовой части которой расположено одноименное серебро-полиметаллическое месторождение жильного типа. На основании полученных данных вещественного состава риолитов и их производных, включая автометасоматически и гидротермально измененные породы, рассмотрены особенности близповерхностной дифференциации кислых расплавов в условиях открытой (вулканическая постройка) и закрытой (интрузивно-купольная структура) магматических систем.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКУТИНСКОЙ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И АВГУСТОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Якутинская вулкано-тектоническая структура (ВТС) расположена в тыловой зоне Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса на стыке крупных рудных районов - Кавалеровского, Дальнегорского и Краснореченского. По своей морфологии структура представляет вулканический массив, вытянутый в северо-западном направлении на 40 км, достигая в поперечнике 20 км (рис.1), образованный в результате деятельности нескольких вулканических аппаратов. Она ограничена прямолинейными и дуговыми разломами, часто залеченными субвулканическими телами гранит-порфиров и дайками риолитов. Северо-западная часть массива в значительной степени эродирована до уровня близповерхностных магматических очагов, выполненных субвулканическими гранитами.

В истории формирования Якутинской структуры можно выделить два этапа. В первый (маастрихт) произошло накопление пирокластических отложений, выполняющих вулканическую впадину (сияновская свита). Во второй (данийпалеоцен) сформировались мощные вулканические сооружения, сложенные разнофациальными вулканитами кислого состава (богопольский комплекс). Геологическое строение Якутинской структуры наиболее полно приведено в работе В.А.Михайлова [10].

Стратифицированные образования, выполняющие основание структуры, представлены лавами андезитов, туфами и игнимбритами дацитов и риодацитов сияновской свиты. Выходы этих пород наблюдаются в бортовых частях кальдеры и в эрозионных окнах среди вулканитов богопольского комплекса, характеризующегося широким развитием, наряду с пирокластическими, лавовых и экструзивно-интрузивных фаций. В целом для комплекса характерны кислый состав вулканитов, широкое развитие вулканических стекол, преобладание игнимбритов, гиалоигнимбритов и спекшихся туфов

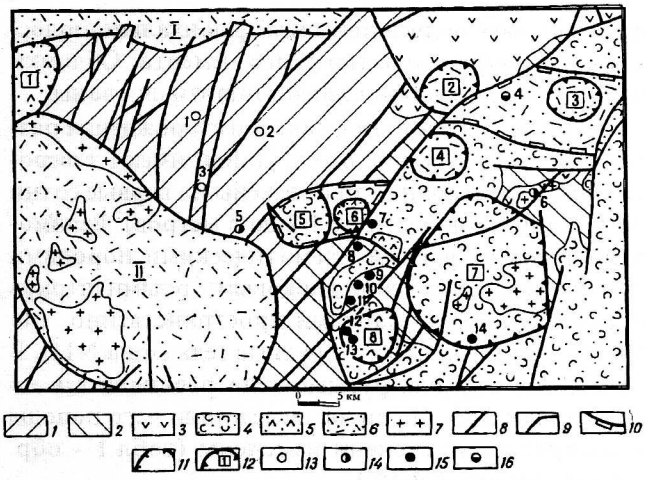


Рис.1. Схема вулкано-тектонических структур Дальнегорского и Краснореченского рудных районов.

1-2 - терригенные образования: 1-Журавлевский террейн, 2-Таухинский террейн; 3-12 - Восточно-Сихоте-Алинский вулканический пояс: 3-Синанчинская свита - (андезиты, андезидациты их туфы, туфоалевролиты, туфопесчаники); 4-Приморская серия - (туфы и игнимбриты риолитов, риодацитов, туффиты, туфопесчаники); 5-Сияновская свита - (туфы дацитов и риодацитов, туффиты, туфы и лавы андезидацитов); 6-Богопольская свита - (риолиты, перлиты, дациты, туфы и игнимбриты); 7-интрузии гранодиоритов; 8-разломы; 9-геологические границы; 10-вулкано-тектонические структуры длительного развития (полигенные). 11-вулкано-тектонические структуры (1-Березовская, 2-Якутинская); 12-кальдеры проседания (1-Караванная, 2-Верхне-Базовская, 3-Кедровская, 4-Перевальная, 5-Барачная, 6-Николаевская, 7-Дальнегорская, 8-Солонцовская); 13-16 - месторождения: 13-оловянные (1-Южное, 2-Встречное, 3-Смирновское); 14-серебро-полиметаллические (5-Августовское, 6-Майминовское); 15-полиметаллические (7-Николаевское, 8-Верхнее, 9-Первое Советское, 10-Второе Советское, 11-Восточный Партизан, 12-Западный Партизан, 13-Светлый Отвод, 14-Садовое); 16-олово-полиметаллическое (4-Черемуховое).

риолитов. Субвулканические образования, слагающие купола, можно подразделить на два типа. К первому относятся экструзии риолитов и вулканических стекол (г.Нежданка, г.Горелая и др.), иногда переходящие в короткие мощные лавовые потоки. Второй представлен массивами гранитов и гранит-порфиров (интрузии г.Мира, г.Светлой). Последние прорывают вулканиты сияновской свиты, туфы и игнимбриты риолитов нижней части разреза богопольского комплекса, не оказывая на них сколько-нибудь заметного термального воздействия. Кроме того, субвулканические тела гранит-порфиров выполняют кольцевые разломы, ограничивающие вулканоструктуру. Это свидетельствует о наличии на глубине крупного гранитного массива. Для вулканических построек подобного строения вполне применим термин "вулканы над интрузиями" [8].

Наиболее молодыми породами в пределах структуры являются экструзии и дайки андезитов и андезибазальтов, которые совместно с риолитами и гранит-порфирами образуют дайковый пояс в северо-восточной части структуры (междуречье руч.Березового и р.Нежданки).

Августовское серебро-полиметаллическое месторождение расположено в пределах одноименной купольно-горстовой структуры - южного фрагмента Смирновского блока (рис.1), сложенного раннемеловыми терригенными образованиями уктурской свиты (флишевая формация). С юга месторождение примыкает к Якутинской вулканоструктуре. С востока оно ограничивается Прибрежным разломом, представляющим собой зону сочленения региональных тектоностратиграфических блоков (Журавлевского и Таухинского террейнов) с различной геологической историей [1] и металлогенической специализацией. Так, для западного (Журавлевского) террейна характерен оловянный профиль оруденения (Кавалеровский и Краснореченский рудные районы), для восточного (Таухинского) - полиметаллический (Дальнегорский рудный район). Серебряная минерализация, являясь "сквозной", генетически связана с формированием свинцово-цинковых руд. По отношению к оловянному оруденению она является наложенной и проявлена незначительно.

Особенностью структурного положения Августовского месторождения является его приуроченность к зоне сочленения указанных террейнов, слагающих фундамент Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса и, следовательно, Якутинской вулканоструктуры. Это отразилось в специфике как магматизма, так и рудной минерализации месторождения.

Осадочные породы, слагающие фундамент Августовской структуры, представлены песчаниками аркозового состава, чередующимися с алевролитами и редкими прослоями гравелитов, конгломератов, кремней. По данным П.В.Маркевича [7], они сформировались в готериве-альбе и относятся к флишевой формации Сихотэ-Алиня. В пределах месторождения породы смяты в крутые складки волочения, часто разбитые и смещенные по зонам северо-западных, северо-восточных и субширотных тектонических нарушений.

В сводовой части горста осадочные образования прорываются штокообразными телами кварцевых монцодиоритов, которые были впервые описаны М.А.Фаворской как "интрузии ключа Лапшина" [16]. На месторождении закартировано четыре интрузивных штока, имеющих незначительные размеры (от 0,1х0,3 км до 0,3х1 км) и крутые контакты. Конфигурация массивов сложная с

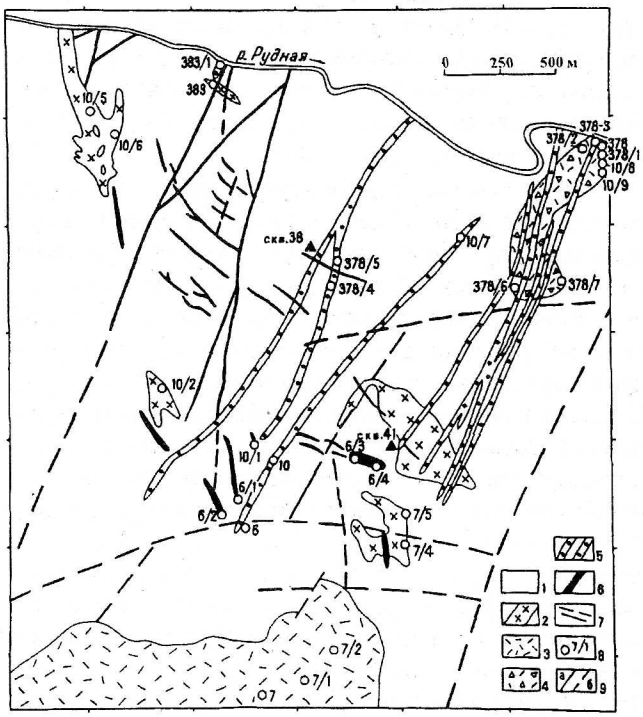


Рис.2 Геологическая схема Августовского серебро-полиметаллического месторождения.

1-осадочные породы, 2-штоки и дайки монцодиоритов, 3-вулканические образования Якутинской ВТС, 4-риолиты флюидно-эксплозивной брекчии, 5-дайки андезибазальтов, 6-дайки риолитов, 7-кварц-полиметаллические жилы, 8-номера проб, 9-разломы: а-достоверные, б-предполагаемые.

многочисленными апофизами и крупными блоками вмещающих пород в теле интрузии. В плане штоки отчетливо вытянуты в северо-западном направлении, образуя сводовую структуру того же простирания (рис.2). Эти данные, наряду с порфировидным обликом пород, позволяют относить их к апикальным выходам скрытого глубинного массива, с внедрением которого связано образование интрузивно-купольной структуры.

В северо-восточной части месторождения находится выход трубки взрыва, имеющей в плане вытянутую в северо-восточном направлении слабо изогнутую дугообразную форму размером 0,75х0,2 км. Эруптивное тело сложено полимиктовой брекчией, сцементированной магматическим материалом риолитового состава. По своей морфологии и составу оно относится к флюидно-эксплозивному типу брекчиевых тел [15]. Характеризуется слабой сортировкой материала, размеры обломков которого варьируют от нескольких миллиметров до первых метров. Обломки составляют 30-60% и представлены риолитами, песчаниками и алевролитами. Риолиты и песчаники имеют угловатую слабо "окатанную" форму. Обломки алевролитов значительно деформированы вплоть до появления фьямме- и лентообразной их формы, подчеркивающей флюидально-полосчатую текстуру магматического цемента. Обломки пород в значительной степени пиритизированы.

На юго-западном фланге месторождения развит комплекс даек риолитов. Дайки имеют северо-западное простирание, прослежены на первые сотни метров (при мощности от 1-2 до 5 метров). Взаимоотношения с другими магматическими породами выражены в пересечении дайковыми телами штоков монцодиоритов. С дайками пространственно (по простиранию) сопряжены рудные тела (зона N11). В отдельных случаях рудные тела развиваются по зальбандам даек риолитов, вследствии чего породы в значительной степени изменены (табл.1 - обр. АВ-6/3, АВ-6/4, АВ-10/1).

Наибольшее развитие на месторождении имеют дайки андезитов и андезибазальтов, которые сформировали дайковый пояс северо-восточного простирания. Протяженность даек составляет порядка 1-2 км, мощность от 2 до 5 метров. По простиранию дайковые тела часто сближены и переходят друг в друга. Дайки прорывают монцодиориты и эруптивную брекчию, но пересекаются рудными телами (зоны N5 и N14).

Рудные тела приурочены к оси интрузивного купола и образуют жильную серию шириной до 600 м и общей протяженностью 2,5 км. Они представлены кварцевыми жилами мощностью от 5-10 см до 2 метров в раздувах. По простиранию протягиваются на 0,5-0,7 км. Рудная минерализация выражена в развитии сульфидов свинца, цинка, меди, сульфосолей серебра.

Тесная пространственная сопряженность рудных тел с дайками риолитов, характер автометасоматических и более поздних гидротермальных преобразований риолитов даек и эруптивной брекчии, сопровождаемых оруденением обломков в последней свидетельствуют о близко-одновременности проявления кислого магматизма и оруденения.

Следует отметить, что структурное положение Августовского поднятия относительно Якутинской структуры (см.рис.1) таково, что риолиты северо-восточного "выступа" вулканоструктуры и месторождения образуют единый дайковый пояс.

ПЕТРОГРАФО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Изучение экструзивно-лавовых образований Якутинской ВТС в пределах вулканических построек, смежных с Августовским месторождением, показало следующее. Экструзия г.Горелой, находящаяся в непосредственной близости от Августовского поднятия, сложена флюидальными риолитами. Она прорывает туфы и игнимбриты риолитов, переслаивающиеся с лавовыми потоками вулканических стекол и игнимбритоподобных кластолав. Экструзив-

Таблица1

Химический состав магматических пород Якутинской ВТС и Августовского месторождения (мас. %)

Окислы	АВ-7/4	АВ-10/5	П-379/2	П-379/3	П-379	П-378/5	П-378	П-378/2	АВ-10/8	АВ-6/1	АВ-6/2
SiO_2	61.13	57.28	60.49	59.78	63.43	77.47	72.01	76.74	76.99	78.51	77.81
TiO_2	0.70	1.06	0.76	0.73	0.54	0.14	0.02	0.03	0.03	0.16	0.16
Al_2O_3	15.98	19.91	15.18	17.94	14.60	12.41	14.92	13.29	12.50	13.53	13.40
Fe_2O_3	1.62	2.41	1.76	3.20	3.02	0.15	0.67	0.40	0.82	0.63	0.25
FeO	3.85	3.92	3.95	0.96	1.97	0.91	0.34	0.18	0.10	0.10	0.35
MnO	0.14	0.08	0.08	0.06	0.24	0.04	0.02	0.005	0.02	0.01	0.01
MgO	3.60	3.90	2.88	2.41	1.75	0.41	0.50	0.17	0.16	0.75	0.76
CaO	3.28	0.48	5.07	1.92	2.87	0.19	0.19	0.12	0.22	0.32	0.48
Na_2O	2.59	1.63	3.63	5.40	0.25	0.20	1.49	1.54	1.69	0.89	1.31
K_2O	3.53	6.28	2.16	4.57	3.79	4.36	6.35	4.53	4.97	3.15	3.49
P_2O_5	0.16	0.09	0.16	0.14	0.18	0.02	0.02	н.о.	0.06	0.04	0.04
H_2O^-	н.о.	н.о.	0.17	0.14	0.27	0.40	0.20	0.30	н.о.	0.10	0.09
п.п.п.	2.98	2.53	3.20	2.76	7.25	2.95	2.95	2.25	1.94	1.32	1.71
Сумма	99.56	99.57	99.49	100.01	100.16	99.65	99.68	99.55	99.50	99.51	99.86

Таблица1 (продолжение)

Окислы	АВ-10/1	АВ-6/3	АВ-6/4	П-378/3	АВ-10/7	АВ-10	АВ-6	АВ-7/1	АВ-7	АВ-7/2
SiO_2	84.50	78.87	78.31	47.36	48.40	50.95	68.40	67.37	73.97	74.00
TiO_2	0.13	0.03	0.03	1.09	1.13	1.35	0.21	0.25	0.20	0.23
Al_2O_3	8.12	13.79	13.39	16.40	16.25	16.16	12.20	13.10	13.56	11.40
Fe_2O_3	0.36	0.08	0.12	1.67	2.79	3.61	2.09	1.87	2.00	1.36
FeO	0.33	0.18	0.14	6.59	5.01	4.11	0.70	1.06	0.41	0.87
MnO	0.02	н.о.	0.07	0.13	0.17	0.08	0.02	0.01	0.01	0.02
MgO	0.10	0.22	0.17	4.00	4.36	4.80	0.14	0.59	0.73	0.09
CaO	0.07	0.12	0.18	7.00	10.20	8.68	1.42	2.54	0.42	0.55
Na_2O	0.50	0.11	0.29	2.16	1.86	2.23	3.30	2.46	1.78	2.20
K_2O	2.84	3.25	5.02	1.91	0.91	1.19	2.20	2.43	4.39	5.00
P_2O_5	н.о.	н.о.	н.о.	0.30	0.26	0.41	0.04	0.07	0.05	0.05
H_2O^-	0.15	0.24	0.18	0.13	0.29	0.08	0.32	2.13	0.27	н.о.
п.п.п.	2.51	2.61	1.77	11.33	7.97	6.69	8.64	5.72	1.70	4.20
Сумма	99.63	99.50	99.67	100.07	99.60	100.34	99.68	99.60	99.49	99.97

Примечание: Августовское месторождение: АВ-7/4 - кварцевый монцодиорит, руч. Мал. Лапшин, расчистка №26; АВ-10/5 - турмалинизированный монцодиорит, руч. Лев. Лапшин, расчистка №9, т. 300 м; П-379/2 - кварцевый монцодиорит из зоны контакта с алевролитами, скв. 41, инт. 165 м; П-379/3 - зона максимального осветления монцодиоритов, скв.41, 200 м; П-379 - метасоматит по дайке андезитов, скв. 38, инт. 96 м; П-378/5 - то же, расчистка №33; П-378 - риолит из матрицы эруптивной брекчии, правый борт р. Рудная; П-378/2 - то же (автометасоматический измененный), левый борт р. Рудная; АВ-10/8 - обломок риолита из брекчии, там же; АВ-6/1 - риолит, автометасоматически измененный, дайка, руч. Лев. Лапшин, расчистка №7; АВ-6/2 - то же, лев. борт руч. Лев. Лапшин, АВ-10/1 - риолит, гидротермально измененный, дайка, расчистка №10; АВ-6/3, АВ-6/4 - то же, руч. Мал. Лапшин, канава №106; П-383/1 - андезибазальт, дайка, штольня №2; П-378/3 - то же, устье руч. Мал. Лапшин; АВ-10/7 - то же, руч. Лев. Лапшин; АВ-10 - то же, в 400 м. от устья руч. Лев. Лапшин.

Якутинская структура: АВ-6 - вулканическое стекло, руч. Лев. Лапшин; АВ-7/1 - то же, 200 м от вершины г.Горелой; АВ-7 - риолит, экструзивный, вершина г.Горелой; АВ-7/2 - гиалоигнимбрит риолита, основание вулканической постройки г.Горелой.

Анализы петрогенных элементов выполнены методом "мокрой" химии, аналитики: З.С.Натарова, Л.В.Недашковская, В.Г.Коханова, ДВГИ ДВО РАН.

ные риолиты имеют порфировую структуру. Вкрапленники составляют 7-10 %, представлены кварцем и полевыми шпатами. Основная масса характеризуется стекловатой (до фельзитовой) структурой. Вторичные изменения незначительны, выражены в частичном выщелачивании калиевого полевого шпата, пелитизации и серицитизации альбит-олигоклаза, и слабой хлоритизации стекла основной массы в результате автометасоматоза экструзии. Вулканические стекла характеризуются порфировой структурой. Фенокристаллы и кристаллокласты (20-25% от общего объема породы) имеют следующий количественно-минеральный состав: кварц (20%-30%), олигоклаз-An_{23} (30-40%), калиевый полевой шпат (20%), авгит (5-8%). Содержание акцессорных магнетита, циркона и ортита составляет от 0.5 до 1 %. Основная масса имеет флюидальную структуру за счет чередования бурого и прозрачного вулканического стекла. Вторичные изменения проявлены весьма незначительно.

Породы г. Горелой относятся к риодацитам - риолитам калиевой серии (Na_2O/K_2O= 0.41), в вулканических стеклах отношение щелочей близко к единице при незначительном преобладании натрия. Породы весьма высокоглиноземистые (al'=3.72-4.32). Химический состав близок среднему составу аналогичных пород богопольского вулканического комплекса [9,10]. От вулканических стекол к экструзивным риолитам возрастает содержание кремнезема, калия, суммы щелочей, глинозема, наблюдается снижение концентрации CaO, Fe общ., MgO (табл.1). В геохимическом отношении вулканические стекла, так же как и породы богопольского комплекса , в целом, обогащены Pb, Zn, Ag, Ba, Sr, Zr и легкими РЗЭ (Nd, La, Ce). Характерно поведение этих элементов в экструзивных риолитах, где с привносом B наблюдается рост содержаний Sn, Pb, Zn и Ag, и одновременное падение концентраций всех щелочно-земельных элементов, особенно Sr, что коррелирует с поведением Na_2O и CaO.

Интрузивные образования Августовского месторождения сложены кварцевыми монцодиоритами. Аналогичные по составу тела были описаны М.А.Фаворской [16] за пределами рудного поля в бассейне руч.Шелепов, Ветвистый (левые притоки р.Рудной). Породы, слагающие эти тела, представляют собой переходный ряд от двупироксеновых с керсутитом монцодиоритов до биотит-роговообманковых гранодиоритов с постоянным присутствием кварца и ортоклаза. Монцодиориты образуют слабо дифференцированную серию с вариациями содержаний SiO_2 от 54 до 62 (мас.%) при высокой глиноземистости (al'=1-1.7) и преобладании натрия над калием (см. табл.1). Невысокие значения коэффициента окисленности железа ($f=Fe^{+3}/(Fe^{+3}+Fe^{+2})$; мас.%) от 0.3 до 0.38 указывают на формирование пород в условиях сравнительно низкой фугитивности кислорода. Для комплекса в целом характерны повышенные содержания Co, Cr, V, Pb, Zn и B (табл.2). При этом наблюдается прямая корреляция между содержанием бора и рудных элементов. Аналогичное поведение обнаруживают рудогенные элементы и в измененных породах. Так ,в турмалинизированных монцодиоритах резко возрастают концентрации Sn, Pb, Zn. В пропилитизированных породах значения этих элементов и B крайне невысоки. Это в определенной мере, указывает на геохимическую связь рудных элементов с боросодержащими флюидами. Содержания серебра для обоих типов метосоматически измененных пород резко понижены (ниже предела чувствительности метода). Геохимической спецификой пород этого комплекса являются повышенные концентрации Rb, Ba и низкие – Sr и Zr (табл.2).

Цементирующая (магматическая) масса флюидно-эксплозивной брекчии сложена порфировыми риолитами. Фенокристаллы и кристаллокласты представлены кварцем, кислым плагиоклазом, калиевым полевым шпатом. Содержания полевых шпатов крайне неравномерны. В отдельных образцах (П-378) они представлены в основном калиевым полевым шпатом, в других (П-378/6) преобладает альбит-олигоклаз. Для вкрапленников калиевого полевого шпата характерны выщелоченные пустотки, в отдельных случаях заполненные серицитом. Акцессорные минералы представлены еденичными раздробленными кристаллами циркона. Основная масса имеет флюидальную текстуру, обусловленую чередованием слоев с фельзитовой и микрофельзитовой структурой. Она сложена кварц-полевошпатовым агрегатом, содержащим пылевидные выделения рудных минералов. Вторичные изменения проявлены незначительно. Необходимо отметить, что вкрапленники кислого плагиоклаза по краям замещены адуляром, в то время как по калиевому полевому шпату развивается альбит, что, по всей видимости, связано с перераспределением щелочей в процессе автометасоматоза.

По химическому составу (см.табл.1) породы относятся к калиевой серии (Na_2O/K_2O=0.23-0.34, мас.%), весьма и крайне высокоглиноземистых (al'=9.9-11.6) риолитов. Составы пород приближаются к средним составам риолитов Березовской и Якутинской ВТС [10], отличаясь от них повышенными содержаниями глинозема и калия, пониженными– титана, натрия, кальция и более низким коэффициентом железистости (см.табл.1). Породы обогащены оловом, свинцом, медью, серебром и бором, обеднены элементами группы железа. Характерной особенностью этих пород являются низкие (ниже кларковых) содержания Sr, Zr, Nd, La, Ce (см.табл.2).

Таблица 2

Микроэлементный состав магматических пород Якутинской ВТС и Августовского месторождения (г/т)

Элементы	АВ-7/4	АВ-7/5	АВ-10/2	АВ-10/5	П-379/2	П-379/3	П-379/1	П-379	П-378/4	П-378/5	П-378	П-378/1	П-378/2	П-378/6
Ni	28	32	60	120	28	45	33	33	н.о.	н.о.	н.о.	20	н.о.	22
Co	17	19	28	26	12	14	18	12	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Cu	7	55	51	12	24	14	23	26	13	7	32	9	15	5
Cr	86	100	120	240	54	120	79	74	н.о.	н.о.	н.о.	23	н.о.	14
V	150	160	280	370	130	140	140	98	5	н.о.	8	38	13	22
B	46	44	34	1000	27	н.о.	160	170	25	32	72	150	110	250
Sn	3	4	6	36	4	3	4	4	3	3	4	5	5	6
Pb	23	37	16	60	14	6	44	15	25	8	28	17	28	51
Zn	75	100	68	85	92	31	160	130	190	100	52	190	25	93
Ag	0.08	0.15	0.20	н.о.	н.о.	н.о	0.13	0.23	н.о	н.о.	0.49	н.о.	н.о.	н.о.
Rb	131	123	56	187	100	н.а	104	154	н.а	144	206	101	151	180
Ba	889	784	578	1338	432	н.а.	680	254	н.а.	1100	871	369	455	536
Sr	475	382	370	189	443	н.а.	416	104	н.а.	27	40	59	81	46
Zr	188	198	188	167	213	н.а.	179	136	н.а.	261	82	79	50	58
Y	22	17	19	25	22	н.а.	12	15	н.а.	22	22	н.о.	4	16
Nb	9	9	12	13	13	н.а.	11	12	н.а.	16	6	10	12	13
Nd	35	32	24	38	н.а.	н.а.	31	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	20	26	26
La	30	37	29	29	н.а.	н.а.	39	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	19	18	15
Ce	63	62	54	55	н.а.	н.а.	63	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	53	38	43

Таблица 2 (продолжение)

Элементы	АВ-6/4	АВ-10/1	П-378/3	АВ-10/7	АВ-10	АВ-6	АВ-7/1	АВ-7	АВ-7/2	АВ-10/8	АВ-10/9	АВ-6/1	АВ-6/2	АВ-6/3
Ni	12	н.о.	23	23	24	н.о.	н.о.	10	8	н.о.	9	н.о.	н.о.	н.о.
Co	н.о.	н.о.	21	46	36	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Cu	17	5	75	43	48	6	10	25	17	22	21	6	5	4
Cr	н.о.	н.о.	120	210	160	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
V	н.о.	н.о.	250	430	430	5	13	33	24	17	6	3	6	н.о.
B	520	150	22	20	13	7	8	49	35	140	180	150	130	640
Sn	3	3	4	3	4	2	2	4	3	7	9	7	6	14
Pb	54	6	20	16	11	15	25	53	35	49	43	35	38	23
Zn	39	31	200	140	140	56	67	83	70	64	90	20	39	140
Ag	0.38	0.16	н.о.	н.о.	0.10	0.12	0.12	0.20	0.18	0.25	0.23	0.61	0.68	0.37
Rb	180	59	67	21	8	78	153	147	142	157	138	107	113	117
Ba	407	319	1522	682	645	1287	1946	1058	1096	652	767	562	1048	116
Sr	43	25	801	794	688	977	1204	63	60	71	41	42	46	30
Zr	79	278	151	96	114	321	346	278	286	38	36	294	276	71
Y	44	7	23	9	15	8	37	36	11	10	12	19	28	н.о.
Nb	15	11	8	9	6	14	16	13	16	4	1	13	11	11
Nd	26	22	н.а.	24	23	47	61	48	45	22	27	32	50	12
La	25	28	н.а.	22	18	79	89	77	50	19	22	40	61	7
Ce	54	67	н.а.	33	35	258	285	116	101	32	38	82	101	18

Примечание: АВ-7/5 - кварцевый монцодиорит, руч. Мал. Лапшин, расчистка №26; АВ-10/2 - то же, руч. Лев. Лапшин, в 65 м. от устья скв. 22; П-379/1 - то же, скв. 41, инт.214 м.; П-378/4 - метасоматит по андезиту, дайка, расчистка №33; П-378/1 - риолитовая матрица из эксплозивной брекчии, р.Рудная; П-378/6 - риолит флюидальный, обломок в эксплозивной брекчии, руч. Лев. Лапшин; АВ-10/9 - риолит оруденелый (обломок в эксплозивной брекчии), р.Рудная. Привязка остальных проб дана в табл.1.

Анализы (Ni, Co, Cu, Cr, VB, Sn, Pb, Zn,Ag) выполнены методом оптической спектрометрии. Анализы (Rb, Ba, Sr, Zr, Y, Nd, Nb, La,Ce) выполнены рентген-радиометрическим методом (лаборатория ПО "Приморгеология"); н.о. - не обнаружено; н.а. - не анализировалось.

Дайки риолитов в петрографическом отношении близки экструзивным риолитам г.Горелой, а приведенный в табл.1,2 их вещественный состав практически идентичен (АВ-7, АВ-6/2). Как отмечалось выше, иногда рудные тела развиваются по зальбандам риолитов и в этом случае метасоматические процессы в дайках проявлены в наиболее полной мере, что фиксируется в петрографическом и химическом составах. В частности, фенокристаллы калиевого полевого шпата полностью или частично (центральная часть) выщелочены и замещены гидрослюдами в ассоциации с бурыми агрегатами окислов железа. Основная масса перекристализована в тонкий афировый кварц-полевошпатовый агрегат. В химическом составе это выражено в заметном росте содержаний кремнезема, глинозема, калия и бора при резком снижении концентраций титана, натрия, бария, циркония и легких РЗЭ (см. табл.1,2).

Как отмечалось выше, наибольшее распространение на месторождении имеют дайки плагиоклаз-пироксеновых андезибазальтов. Породы в значительной степени изменены. Содержание кремнезема (в пересчете на сухой остаток) в них варьирует от 53 до 55 мас.% (табл.1,4). Состав наименее измененных пород близок андезибазальтам [2], отличаясь от последних несколько большими значениями глинозема и калия при пониженных содержаниях натрия, что характерно для всех пород Августовского месторождения. Они обогащены Co, Cr, V, Pb, Zn, Cu и B при низких содержаниях Ag (см.табл.2). Характерной особенностью являются высокие содержания бария и стронция при очень низких - рубидия.

Вторичные изменения, проявленные в дорудных андезибазальтах, связаны с наложенным гидротермальным процессом, вследствии чего эти породы в значительной степени пропилитизированны и осветлены и практически не отличимы от гидротермально измененных даек риолитов. Однако, если в риолитах с привносом SiO_2 и K_2O и одновременным выносом других петрогенных элементов наблюдается рост содержаний Sn, Pb, Zn, Cu и Ag, то в метасоматически измененных андезибазальтах наблюдается полный вынос рудных элементов (см.табл.1, 2). Это является их основным отличительным признаком.

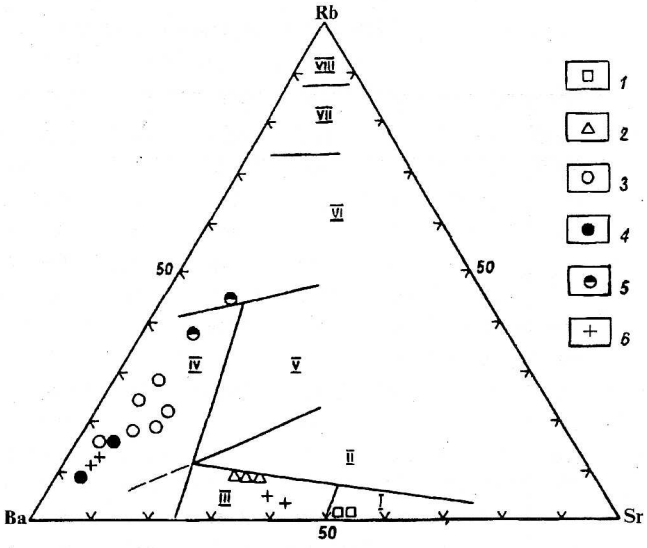


Рис.3. Диаграмма Ba-Rb-Sr для магматических пород Августовского месторождения и Якутинской ВТС.

I-VIII - Поля гранитоидных фаций: I-толеитовых плагиогранитов, II-известковистых гранодиоритов, III-монцонит-латитов, IV-ультраметаморфических гранитоидов, V-известково-щелочных гранитов, VI-плюмазитовых лейкогранитов, VII-агпаитовых калиевых гранитов, VIII-щелочных натриевых гранитов. Августовское месторождение: 1-андезибазальты, 2-монцодиориты, 3,4-риолиты эруптивной брекчии (3) и даек (4), неизмененные и автометасоматически преобразованные, 5-риолиты даек, гидротермально измененные. Якутинская ВТС: 6-вулканические стекла и экструзивные риолиты г.Горелой.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные по геологическому строению, петрографо-геохимическому составу, а также распределению редких и рудных элементов в близких по фациальному типу риолитах Якутинской ВТС и Августовского месторождения позволяют рассмот-

Таблица 3

Среднее содержание щелочно-земельных элементов в кислых породах (г/м)

	К-во проб	K	Ca	Ba	Rb	Sr	K/Rb	Ca/Sr	Rb/Sr
Якутинская ВТС									
Вулканические стекла	2	9607	14157	1612	116	1091	83	13	0.106
Экструзивные риолиты	2	19484	3468	1077	145	62	134	56	2.339
Августовское месторождение									
Дайки риолитов	1	14484	3432	1048	113	46	128	75	2.457
Риолиты из эруптивной брекчии	2	22576	1108	663	179	61	126	18	2.934
Метасоматит по риолиту	2	17160	1073	262	149	37	115	29	4.027

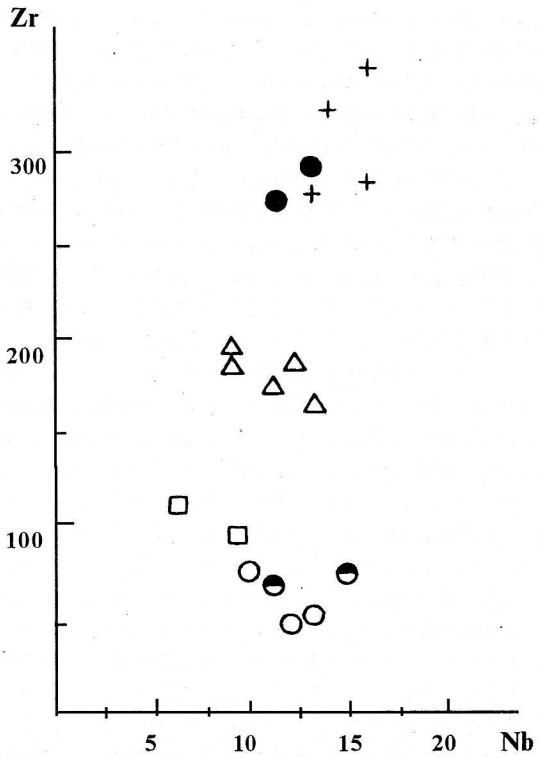


Рис.4. Диаграмма Zr-Nb для магматических пород Августовского месторождения и Якутинской ВТС. Условные обозначения см. на рис.3.

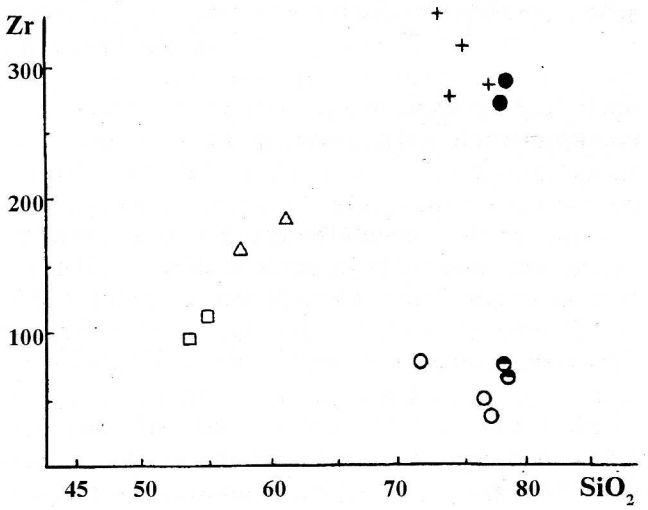


Рис.5. Диаграмма Zr-SiO2 для магматических пород Августовского месторождения и Якутинской ВТС. Условные обозначения см. на рис.3.

реть проблему генетической взаимосвязи риолитов, проследить эволюцию кислых расплавов и выявить особенности их дифференциации в близповерхностных магматических очагах под вулканическими постройками (открытые магматические системы) и в субвулканических купольных структурах (закрытые магматические системы).

Как было отмечено выше, в целом риолиты вулканоструктуры и месторождения имеют как пространственную взаимосвязь, так и сходный петрографический и вещественный состав, что наводит на мысль об их генетическом родстве. Это подтверждается и особенностями распределения Rb, Ba и Sr - чувствительных индикаторов генезиса и эволюции гранитоидных магм [11,14]. Так, на тройной диаграмме Rb-Ba-Sr (рис.3) точки составов риолитов Августовского месторождения и Якутинской структуры образуют единый эволюционный тренд, располагаясь в области ультраметаморфических гранитоидов, образование которых связано с палингенным плавлением корового материала [11]. В то же время сравнительный геохимический анализ этих пород указывает на неоднородность состава кислых магматических образований. Они характеризуются различными содержаниями K, Rb, Ba, Sr, Zr, La, Nd, Ce и рудных элементов, а также значениями отношений K/Rb, Rb/Sr и др. (табл.3). На диаграммах Zr-Nb, Zr-SiO_2 (рис.4-5,табл.3) точки составов пород (независимо от интенсивности проявленного автометасоматоза) формируют два обособленных поля. Первое образуют эффузивные породы г.Горелой и дайки риолитов месторождения. Во второе попадают риолиты эксплозивной брекчии и гидротермально измененные дайки риолитов, пространственно сопряженные с рудными телами. Самостоятельные поля на указанных диаграммах образуют точки составов монцодиоритов и андезибазальтов.

Известно, что парные отношения редких элементов в магматических породах (Rb/Sr, K/Rb, Ba/Sr и др.) используются в качестве индикаторов, отражающих характер и степень дифференцированности магматического расплава [13,14,17]. Полученные геохимические характеристики пород риолитовой серии (см.табл.2) позволяют остановиться на некоторых вопросах эволюции кислых расплавов.

Таблица 4

Химический состав андезито-базальтов (пересчитанный на сухой остаток и приведенный к 100 %)

	П-378/3	АВ-10	АВ-10/7
SiO_2	53.98	54.83	53.55
TiO_2	1.24	1.45	1.26
Al_2O_3	18.69	17.39	17.97
Fe_2O_3	1.90	3.88	3.08
FeO	7.51	4.43	5.54
MnO	0.15	0.09	0.19
MgO	4.56	5.16	4.82
CaO	6.99	8.65	10.24
Na_2O	2.46	2.40	2.06
K_2O	2.18	1.28	1.00
P_2O_5	0.34	0.44	0.29

Примечание: Привязка проб дана в таблице 1.

Как свидетельствуют низкие значения Rb/Sr отношений, наименее дифференцированными среди кислых магматических образований конечного этапа формирования вулканоструктуры являются вулканические стекла г.Горелой. Это подтверждается и химическим составом пород - относительно низкой кремнекислотностью и отношением щелочей калия и натрия, близким к единице. Экструзивные риолиты г.Горелой, завершающие вулканизм в пределах северо-восточной части Якутинской структуры, сформировались после излияния вулканических стекол, о чем свидетельствуют геологические взаимоотношения и более высокое значение Rb/Sr (табл.3). Условия дифференциации риолитового расплава с ростом содержаний Si, Al, K и B приводили к накоплению Sn, Pb, Zn, Cu, Ag (см.табл.2). Как известно [4,5,20 и др.], повышение кремнекислотности расплавов, с одновременным накоплением калия (относительно натрия), магмофильных: бора, фтора и рудных компонентов, вплоть до появления аномальных высококремнистых, ультракалиевых риолитов может быть обусловлено фильтрацией флюидов, связанной с быстрой потерей летучих (в первую очередь легко отделяющихся CO_2, Cl) в результате быстрого подъема магмы к земной поверхности. Формированием аналогичных по составу риолитам г.Горелой экструзивных тел завершается магматическая активность и других вулканических центров (экструзии г.Нежданка, г.Березовая) Якутинской структуры, развивающихся по типу открытых магматических систем.

Близкие с экструзией г.Горелой значения Rb/Sr отношений имеют дайки риолитов Августовского месторождения, что в соответствии с приведенными выше данными свидетельствует о синхронности развития близповерхностных магматических очагов в пределах рассматриваемых структур. Однако, если вулканизм Якутинской вулкано-тектонической структуры завершился экструзией и незначительным автометасоматозом риолитов, в пределах Августовского поднятия развитие магматического очага имело свое продолжение и осуществлялось в квазистатических (закрытых) условиях. Следствием этого явилось формирование флюидно-эксплозивного брекчиевого тела. Установлено [15], что флюидно-эксплозивные структуры подобного типа не связаны с поверхностью в момент их образования. Их формирование обусловлено длительной флюидизацией расплава и последующим взрывным (кессонно-эксплозивным) эффектом. Наличие в брекчии оруденелых обломков риолитов (аналогичных по составу магматическому цементу) свидетельствует о развитии доэруптивной пневматолито-гидротермальной деятельности магматического очага, а автометасоматический характер изменения риолитового цемента - об активном участии магматических остаточных растворов. Дальнейшая эволюция очага кислой магмы привела к площадному гидротермальному метасоматозу в пределах месторождения. Зоны метасоматитов развивались по дайковому комплексу пород, в том числе и прорывающих флюидно-эксплозивную структуру. Значение отношений K/Rb и Rb/Sr в породах даек, флюидно-эксплозивной брекчии и гидротермально измененных риолитах (см.табл.3) позволяют говорить о генетическом единстве и последовательности развития магматических постмагматических процессов.

Как видно из табл.1,2 в процессе гидротермального изменения риолитов наблюдается привнос кремнезема, глинозема, калия и бора и вынос натрия, кальция, титана, железа, магния, а также - Ba, Zr, Nd, La и Ce. Обогащение метасоматически измененных риолитов калием и глиноземом и вынос инертных Zr и Ti свидетельствуют о сильно кислотном характере подпитывающих растворов, обогащенных B, S, K. Это подтверждается и характером метасоматических преобразований даек андезибазальтов в местах их пересечения рудными жилами, где они значительно осветлены и в химическом отношении не отличимы от риолитов (см.табл.1, обр.П-378/5). Аналогичное поведение петрогенных элементов было установлено Г.П.Зарайским [3] в экспериментах по кислотному выщелачиванию гранитов в высокотемпературных условиях (T=500° C), при участии соляной кислоты. В целом, направленность авто- и метасоматических процессов вписывается и завершает общий тренд геохимической дифференциации кислых магматических расплавов. Поведение рудных элементов в риолитах, пространственно совмещенных с рудными телами, крайне неоднородно и обусловлено их неоднократным перераспределением в магматическую, поздне- и постмагматическую стадии. Однако, характер распределения рудных элементов в магматических породах, развитие минерализации в обломках риолитов флюидно-эксплозивного тела и по зальбандам метасоматически измененных даек риолитов указывает на концентрацию рудных компонентов в процессе дифференциации расплавов. Логичным продолжением рассматриваемой магматической системы является появление в постмагматический этап гидротермальных растворов - производных остывающего очага кислой магмы, - обусловивших проявление серебро-полиметаллической кварцево-жильной минерализации в пределах поднятия.

Таким образом, полученные данные структурного и геологического строения, особенности геохимического состава кислых магматических образований Августовского серебро-полиметаллического месторождения и Якутинской вулканоструктуры, позволяют сделать следующие выводы:

1. Кислый магматизм завершающего этапа формирования Якутинской вулкано-тектонической структуры и Августовского месторождения развивался синхронно и генетически связан с единым глубинным очагом гранитной магмы.

2. Риолиты Якутинской вулканоструктуры характеризуются большими обьемами, укороченным трендом дифференции по кремнекислотности, щелочности, распределению редких и рудных элементов, и в большей мере отражают эволюцию глубинного магматического очага.

3. Магматические образования Августовской купольной структуры с неоднородным составом риолитов, развитием флюидно-эксплозивных тел брекчий, автометасоматитов и гидротермальных метасоматитов отражают особенности близповерхностной дифференциации флюидизированного кислого расплава, эволюционирующего по типу закрытой магматической системы, и завершающегося формированием гидротермальных жил с серебро-полиметаллической минерализацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код 93-05-14206).

ЛИТЕРАТУРА

1. Голозубов В.В., Ханчук А.И., Кемкин И.В. и др. Таухинский и Журавлевский террейны (Южный Сихоте-Алинь): Препринт. Владивосток: ДВО РАН, 1992.
2. Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород. М.: Недра, 1985. 511 с.
3. Зарайский Г.П. О дифференциальной подвижности компонентов при экспериментальном диффузионном метасоматозе. // Проблемы физико-химической петрологии. т.2. М., 1979. С.118-144.
4. Маракушев А.А., Яковлева Е.Б. Генезис кислых лав. // Вестн. МГУ. Сер. геология. 1975. №1. С. 3 24.
5. Маракушев А.А. Шаповалов Ю.Б. Экспериментальное исследование процесса рудной концентрации в гранитных системах. // Докл. РАН. 1993. т.330, №4. С 484 - 488.
6. Маракушев А.А. Шаповалов Ю.Б. Экспериментальное исследование рудной концентрации во фторидных системах. // Петрология. 1994. Т. 2, №1. С. 4 - 23.
7. Маркевич П.В. Геохимия и минералогия осадочных комплексов Дальнего Востока. Владивосток, 1979.
8. Масуренков Ю.П. Вулканы над интрузиями. М.: Наука, 1979. 219с.
9. Матюнин А.П. Магматизм Кавалеровского и Верхнеарминского оловорудных районов: Автореф. дис. .....канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1988.
10. Михайлов В.А. Магматизм вулкано-тектонических структур южной части Восточно-Сихоте-Алинского вулканического пояса. Владивосток, 1989. 164с.
11. Недашковский П.Г., Ленников А.М. Барий-рубидий-стронциевые отношения как индикатор эволюции и генезиса гранитоидов. // Тихоокеан. геология. 1992.№ 4. С.117-127.
12. Рейф Ф.Г. Рудообразующий потенциал гранитов и условия его реализации. М.: Наука, 1990. 180с.
13. Ставров О.Д. Геохимия лития, рубидия, цезия в магматическом процессе. М.: Недра, 1978. 214с.
14. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 280с.
15. Туговик Г.И. Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. М.: Наука, 1984. 93с.
16. Фаворская М.А. Верхнемеловой и кайнозойский магматизм восточного склона Сихоте-Алиня. М.: Изд-во АН-СССР, 1956.
17. Фор Г., Пауэл Дж. Изотопы стронция в геологии. М.: Мир. 1974. 214с.
18. Чевычелов В.Ю. Возможный механизм формирования рудоносного (свинец- и цинксодержащего) магматогенного флюида. // Построение моделей рудообразующих систем. Новосибирск, 1987. С. 71 -84.
19. Чевычелов В.Ю. Распределение полиметаллов между гранитоидным расплавом, флюидно-солевой и флюидной фазами. // Докл. РАН. 1992. Т. 325, №2. С. 378 - 381.
20. Эпельбаум М.Б. Силикатные расплавы с летучими компонентами. М.: Наука. 1980. 225с.

Поступила в редакцию 5 декабря 1994г.

V.K.Popov, A.V.Grebennikov

Geological and geochemical correlation of rhyolites from the Yakutsk and the avgustovsk volcanostructures (Primorie).

Results of geological and petrologic-geochemical study of the Yakutinskaya volcanostructure rhyolites and Avgustovskoe Ag-Pb-Zn deposit, reflecting early Paleogene stage of East Sikhote-Alin ridge volcanicity are stated. "Primary" rhyolites are derivative of the uniform deep-seated granitic magma chamber. Differentiation of the acid melts under sub-surfacial conditions was defined by a degree isolation of magma chambers in respect to external environment. Rhyolites of volcanic edifices are characterized by shortened trends of differentiation (SiO_2, high-potassium, distribution of rare and ore elements). High-sialic, high-potassium ryolities in dikes, explosive breccias, autometasomatic and hydrothermally altered rocks of the deposit's dome structure reflect prosecces of differentiation of the granite melt under closed conditions, leading to the formation of hydrothermal ore systems.