ВУЛКАНИТЫ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АДАКИТОВ ИЗ ВЕРХНЕПЛИОЦЕНОВЫХ РАЗРЕЗОВ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА

© 2018 В.М. Газеев^{1, 2}, к.г-м.н., А.Г. Гурбанов^{1, 2}, к.г-м.н., Ю.В. Гольцман¹, к.г-м.н., Т.И. Олейникова¹, А.Б. Лексин¹, А.Я. Докучаев¹, к.г-м.н.

¹ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер.,35;

²ФГБУН Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: gurbanov@igem.ru.

В Осетинской впадине, Терско-Каспийского краевого прогиба, в разрезе акчагыл-апшеронских отложений залегает толща, содержащая большое количество переотложенного вулканического материала. Проведено петрографическое и геохимическое изучение этих вулканитов. Приведены результаты *RFA*, *ICP-MS*, изотопного (*Rb*, *Sr*, *Sm*, *Nd*) анализа пород. Показано, что вулканиты обладают адакитоподобными характеристиками. Рассмотрены вопросы потенциальной рудоносности этих пород. Сделано предположение о том, что зоны вторичных изменений (пропилитизации) в пределах вулканических аппаратов, служивших источником сноса вулканического материала, могут содержать золото-серебрянное с висмутом оруденение.

Ключевые слова: Терско-Каспийский краевой прогиб, вулканиты, петрография, геохимия, геодинамические реконструкции, потенциальная рудоносность.

Краткая геология Терско-Каспийского краевого прогиба и свиты Рухс-Дзуар

Терско-Каспийский краевой прогиб (ТККП) расположен в восточном Предкавказье и как самостоятельная геологическая структура развивается с тарханско-конского времени (17,4–12,8 млн. лет назад). На северо-западе он граничит с эпипалеозойской Скифской плитой, на западе – обрамляется Минераловодским выступом, на юге - складчатым сооружением Большого Кавказа (БК). Поверхность палеозойского фундамента ТККП расположена на глубинах от 2-6 до 12 км и ступенчато погружается с запада на восток, а также с севера и с юга в сторону осевой части прогиба [Клавдиева, 2007]. В основании чехла залегают пестроцветные песчаники триаса, а выше них – юрские, меловые, палеоцен-эоценовые, олигоцен-нижнемиоценовые терригенные и карбонатные толщи, и моласса среднего миоцена-квартера. В раннем акчагыле длительное конседиментационно-прерывистое развитие структуры ТККП было резко нарушено проявлением интенсивного тектогенеза. В результате тектонических напряжений молассы среднего и верхнего миоцена местами смяты в узкие асимметричные антиклинали, осложненные надвигами и взбросами. Плиоцен-четвертичные молассы практически не дислоцированы [Марков и др., 2000]. В акчагыл (3,6-1,5 млн лет) – апшеронских (1,5-0,79 млн лет) отложениях ТККП залегает терригенная толща, содержащая большое количество переотложенного вулканического материала, выделенная В.П. Рентгартером в 1932 г. как свита Рухс-Дзуар (СРД). На поверхности фрагменты ее разреза присутствуют в моноклинали Черных гор, залегая с размывом и угловым несогласием на подстилающих толщах. По данным бурения они известны в Кабардинской и Осетинской впадинах ТККП (рис. 1). Терригенная толща СРД сложена слабо сцементированными валунно-галечниковыми конгломератами, переслаивающимися с прослоями гравелитов, песков, глин и суглинков. Характерной ее особенностью является преобладание галек и валунов эффузивных и кристаллических пород над осадочными. Местами, в ее разрезе присутствуют прослои (мощностью до 5-6 м), сложенные преимущественно вулканогенным материалом и горизонты (мощностью до 60–80 м), обогащенные вулканогенным материалом. Общее содержание переотложенного вулканического материала достигает 25–30% от объема пород свиты, а иногда и более. Мощность отложений СРД варьирует от 400 до 1200 м [Белуженко и др., 2009].



Рис. 1. Местоположение Осетинской впадины на карте региона и ее тектоническая схема. Дополнительно нанесены скрытые купольно-кольцевые структуры Владикавказской (Осетинской) котловины: I – Чиколинская, II – Нартовская, III – Назрановская. По материалам Владикавказской ГРЭ и [Марков и др., 2000].

Фактический материал и методы его исследования

В 2005 и 2010–2012 гг. сотрудниками Лаборатории петрографии ИГЕМ РАН и ВНЦ РАН были отобраны представительные образцы из главных разновидностей вулканитов СРД. Опробование проводилось на территории республики Северная Осетия-Алания: в обнажениях и русловом аллювии по долинам рек Ардон, Суадаг, Терек (район Эльхотовских ворот), Кабагалдон, Цраудон, Хусфарах, Скумлендон, Змисджиндон, Гизельдон, Бадзидон, Савнердон. При финансовой поддержке НИР КНИО ВНЦ РАН (тема №1) из собранных образцов были изготовлены шлифы и проведено их петрографическое изучение. Аналитические работы выполнены в

ЦКП «ИГЕМ–Аналитика»: Проведены определения концентраций петрогенных и микроэлементов рентгено-флюоресцентным анализом (*XRF*), рудных, редких и редкоземельных элементов, а также Au, Ag – методом спектроскопии с индукционно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (*ICP-MS*) на масс-спектрометре *X-Series II* с использованием международных и российских стандартов соответствующих пород. Изучение изотопного состава (*Rb*, *Sr*, *Sm* и *Nd*) проведено в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии, на многоколлекторном термоионизационном масс-спектрометре *Sector* 54. Использованы методики и условия анализов принятые в ИГЕМ РАН. Результаты этих исследований приведены в таблицах 1–3. На основе результатов аналитических исследований построены классификационные и петрогенетические диаграммы и графики.

Таблица 1.

Оксиды,		Номер образца											
элементы	106-1	106-3	106-4	106-7	110-2	110-4	109-1	109-3	109-8	111-3	111-4	111-6	111-7
SiO ₂	64,97	61,29	62,92	60,99	56,75	60,62	66,14	64,44	64,14	58,60	67,01	67,42	64,21
TiO ₂	0,62	0,79	0,64	0,71	1,16	0,86	0,35	0,73	0,69	0,51	0,56	0,48	0,65
Al ₂ O ₃	15,7	16,31	16,61	16,53	18,00	17,14	17,07	15,94	16,68	13,53	16,22	16,21	16,40
Fe ₂ O ₃	3,93	4,81	4,48	4,93	6,59	5,15	2,07	4,13	4,49	2,92	3,36	2,92	3,62
MnO	0,07	0,09	0,07	0,08	0,10	0,08	0,03	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06	0,07
MgO	2,71	3,36	2,09	3,88	3,27	2,85	1,04	2,18	1,86	1,67	1,43	1,09	1,46
CaO	3,89	4,5	5,11	5,74	6,29	5,62	3,91	4,18	4,66	9,54	3,73	3,37	3,87
Na ₂ O	4,08	4,08	4,60	4,13	4,68	4,40	5,23	4,16	4,34	3,40	3,73	3,99	4,06
K ₂ O	2,39	2,34	2,32	2,14	1,75	1,60	1,81	2,31	2,27	2,46	2,52	2,42	2,47
P ₂ O ₅	0,18	0,23	0,27	0,22	0,29	0,23	0,13	0,19	0,22	0,18	0,15	0,11	0,18
S	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
П,п,п,	1,15	1,87	0,5	0,29	0,48	1,26	2,01	1,41	0,38	6,99	1,03	1,57	2,76
Сумма	99,71	99,69	99,63	99,66	99,38	99,83	99,81	99,76	99,83	99,88	99,83	99,66	99,77
Cr	78	95	67	120	122	129	27	76	44	44	47	41	46
V	72	79	84	62	130	130	33	94	91	39	59	66	79
Со	6	6	12	8	25	18	6	12	10	-	9	8	10
Cu	10	10	10	14	29	9	-	8	9	12	7	6	5
Ni	17	14	14	34	67	65	12	30	22	13	12	12	63
Zn	42	44	38	44	83	56	36	55	59	47	643	61	58
Pb	22	26	23	20	21	16	22	70	23	21	27	30	28
Rb	91	85	79	73	41	46	57	82	74	93	91	103	87
Sr	456	531	733	606	629	537	736	558	532	290	364	299	402
Nb	10	8	10	10	13	11	-	10	10	14	13	10	11
Y	17	17	18	18	20	11	10	15	17	17	15	11	12
Zr	159	171	170	155	195	149	125	134	177	140	183	154	192

Результаты *RFA* вулканитов свиты Рухс-Дзуар (оксиды в мас, %; элементы в г/т)

Таблица	2.
---------	----

Результаты	ICP-MS аналі	іза вулканитов	в свиты Р	ухс-Дзуар	(элементы в г/т	.)
•		•				/

	Номер образца									
Элементы	109-1/11	109-3/11	109-8/11	110-2/11	110-4/11	111-4/11	111-6/11	111-7/11		
Li	18	26	14	12	17	30	26	21		
Be	2,6	2,9	2,9	1,9	1,7	2,9	2,9	2,7		
Sc	1,5	7,8	7,1	8,5	8,8	1,1	3,6	1,1		
Ti	1989	3279	4575	6833	4574	3434	2678	3693		
V	33	64	79	122	92	51	44	52		
Cr	24	62	46	208	116	41	32	29		
Mn	175	424	530	663	543	318	355	341		
Co	4,8	11	14	23	17	6,6	5,8	7,8		
Ni	8,8	28	27	71	67	8,6	10	12		
Cu	<ПО	40	549	406	19	24	53	0,2		
Zn	30	41	58	76	57	49	36	45		
Rb	18	70	47	26	39	31	77	37		
Sr	535	554	406	512	532	113	197	176		
Y	7	13	12	12	9,5	5,7	8,8	6,4		
Nb	3	5	6	10	6,9	7,2	4,5	5,6		
Мо	<ПО	<ПО	<ПО	0,71	0,38	5,4	<ПО	<ПО		
Ag	0,11	0,24	0,37	0,49	0,33	0,29	0,39	0,26		
Cd	0,03	0,10	0,19	0,21	0,11	0,09	0,13	0,13		
Cs	2,9	5,1	1,6	1,2	2,2	2,2	8,2	2,6		
Ba	292	458	349	397	414	144	285	201		
La	13	23	19	23	21	8,6	15	12		
Ce	26	50	43	51	41	20	32	27		
Pr	3,3	5,7	4,8	5,5	4,5	2,3	3,6	3,1		
Nd	12	21	19	21	17	8,8	13	12		
Sm	2,3	4,1	3,5	4,1	3,1	1,8	2,7	2,2		
Eu	0,87	1,1	1,0	1,2	0,92	0,47	0,71	0,64		
Gd	2,0	3,7	3,4	3,8	2,9	1,7	2,5	2,1		
Tb	0,22	0,43	0,39	0,44	0,31	0,20	0,28	0,22		
Dy	1,3	2,4	2,5	2,5	1,9	1,2	1,6	1,4		
Но	0,19	0,41	0,41	0,41	0,31	0,18	0,26	0,22		
Er	0,59	1,1	1,3	1,1	0,83	0,53	0,79	0,67		
Tm	0,056	0,14	0,14	0,12	0,082	0,039	0,075	0,057		
Yb	0,56	1,1	1,1	1,0	0,72	0,51	0,72	0,50		
Lu	0,050	0,12	0,13	0,10	0,079	0,039	0,080	0,042		
Hf	1,0	2,1	3,5	4,1	3,0	2,6	3,3	2,5		
Та	0,13	0,30	0,37	0,52	0,37	0,27	0,29	0,33		
W	0,50	1,1	0,71	1,0	0,67	0,75	0,81	0,75		
Pb	22	39,8	17	14	13	13	12	18		
Bi	0,32	0,36	0,15	0,059	0,14	0,31	0,23	0,23		
Th	4,8	8,3	6,1	6,1	6,2	3,1	5,9	4,4		
U	1,6	3,1	2,9	2,1	1,9	1,7	2,2	2,6		

Таблица 3.

№ Обр,	Порода	Rb, ppm	Sr, ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr ±2σ	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr ±2σ	Nd, ppm	Sm, ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd ±2σ	143 Nd/ 144 Nd $\pm 2\sigma$	E _{Nd}
109-1	Дацит	54	820	0,191±1	0,704886±10	13,1	2,4	0,1102±2	0,512722±6	1,64±11
109-8	Дацит	81	535	0,440±1	0,704691±10	22,0	4,1	0,1136±1	0,512737±6	1,93±11
110-2	Андезит	44	665	0,01897±6	0,704501±10	25,5	4,8	0,1147±3	0,512768±6	2,54±11
110-5	Андезит	44	535	0,02497±8	0,704401±9	21,0	4,0	0,1166±1	0,512799±6	3,14±11
111-6	Дацит	115	340	0,987±2	0,705689±9	16,5	3,2	0,1173±3	0,512645±6	0,14±11

Результаты изотопного (Rb, Sr, Sm, Nd) анализа вулканитов свиты Рухс-Дзуар

Петрографическая характеристика вулканитов

Изученные обломки вулканитов представлены лавами андезитового, дацитового, составов и пемзами (рис. 2, 3). В единичных случаях обнаружены обломки трахиандезибазальтов и пропилитов. Андезиты представлены пироксеновыми, амфибол-пироксеновыми и амфибол-пироксен-биотитовыми разновидностями. Микроструктура пород порфировая, сериально-порфировая, гломеропорфировая. Во вкрапленниках установлены: плагиоклаз, пироксен, реже амфибол и биотит. Плагиоклаз присутствует в виде зональных кристаллов нескольких генераций. Первая генерация – ситовидные кристаллы лабрадора (рис. 3-5), размером до 2,0×2,4 мм, содержащие включения авгита, реже амфибола. Вторая генерация – это кристаллы андезина, размером до 0,2×1,5 мм, которые иногда заметно корродированы (рис. 3-2). Пироксен представлен бесцветными либо буроватыми кристаллами авгита и клиноэнстатита и их реликтами размером до 0,8×1,2 мм. Амфибол – «базальтическая» роговая обманка, часто с опацитовой или пироксеновой каемкой. Биотит, размером до 1,5 мм, замещается агрегатом мелких зерен плагиоклаза, пироксена, рудного минерала. Основная масса микролитовая, гиаломикролитовая, реже микропойкилитовая и состоит из плагиоклаза, амфибола, рудного минерала и стекла. В андезитах отмечаются субизометричные включения размером до 5-6 мм, состоящие из кристаллов пироксена и рудного минерала, или кристаллов плагиоклаза, пироксена, амфибола, рудного минерала, иногда с карбонатом, хлоритом и клиноцоизитом. Дациты представлены амфиболовыми, биотит-амфиболовыми с примесью пироксена и пироксеновыми разновидностями. Структура пород сериально-порфировая, и невадитовая. В амфиболовых и биотит-амфиболовых разновидностях во вкрапленниках присутствуют: плагиоклаз (андезин) двух генераций, пироксен, амфибол, биотит и кварц. Ранний плагиоклаз – кристаллы до 2,0×2,5 мм с включениями бурой роговой обманки. В периферийной зоне отмечаются его срастания с биотитом. Плагиоклаз второй генерации – кристаллы до 0,2×0,7 мм, в срастаниях с пироксеном. Амфибол - «базальтическая» роговая обманка, иногда с пироксеновой каемкой. Биотит – пластинки размером до 1,5 мм, часто с плагиоклаз-пироксеновой каемкой. Кварц - субизометричные выделения размером до 2,0 мм, корродируемые основной массой и часто с пироксеновой каемкой. В пироксеновых разновидностях дацитов, состав ранних кристаллов плагиоклаза – основной

андезин-лабрадор, поздних – олигоклаз-андезин. Пироксен – авгит, по которому развивается бурая роговая обманка. Основная масса микролитовая, гиаломикролитовая, пилотакситовая, реже микропойкилитовая, состоящая из микролитов плагиоклаза, кварца, амфибола, в микропустотках присутствуют пластинки тридимита. В дацитах встречаются «инородные» высокоглиноземистые включения, с зеленой шпинелью, силлиманитом, корундом (рис. 3-6). **Пемзы и пеплы** имеют дацитовый состав и сложены кристаллами и обломками кварца, плагиоклаза, биотита, амфибола, реже пироксена, погруженных в флюидально-пористую, гиалиновую основную массу. **Пропилиты** – обладают реликтовой порфировой структурой. Плагиоклаз вкрапленников замещен карбонатным, карбонат-альбит-монтмориллонит-хлоритовым или гидрослюдистым агрегатом. По основной массе развивается хлоритоподобный минерал. Микропустотки выполнены карбонатом, клиноцоизитом и цоизитом.

Петрохимические, геохимические и изотопные характеристики пород

Фигуративные точки составов вулканитов СРД (табл. 1) на классификационной диаграмме вулканических пород $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$ (рис. 2) сгруппированы преимущественно в поле андезита и дацита, но единичные пробы попадают в поля риодацита, трахидацита, трахиандезита и трахиандезибазальта. Это низкотитанистые, в основном, умеренно и частично высококалиевые породы, для которых характерна прямая корреляция Na_2O , Na_2O+K_2O и обратная корреляция TiO_2 , CaO, MgO с SiO_2 (рис. 4). Отношение Na₂O/K₂O варьирует в пределах от 1,5 до 3,0. Тип щелочности калиево-натриевый, а в более кислых разновидностях – существенно натриевый. На диагностических диаграммах фигуративные точки составов пород расположены: на диаграмме FeO/(FeO+MgO)-SiO₂ в поле магнезиальных образований (рис. 4); на диаграмме (Sr/Y-Yppm) – в поле адакитов и в зоне неопределенности с типичными породами островных дуг (рис. 5a); на диаграмме ((La/Yb)_N-Yb_N) – в поле (Adakites high – AlTTD) высокоглиноземистых адакитов, рядом с трендом плавления 10% гранатового амфиболита (рис. 5б); на диаграмме Mg# – SiO₂ – в поле и вблизи поля (Adakite from N-AVZ) адакитов Северных Андийских вулканических зон (рис. 5в); на диаграмме *Th/Yb* – *Gd/Yb* – вдоль тренда (*Slab melts*) слэбовых расплавов (рис. 5г).

По геохимическим данным, полученным методом *ICP-MS* (табл. 2), построены спектры распределения *REE* (рис. 5е) и мультиэлементные спектры (рис. 5ж). На редкоземельных спектрах, нормированных по хондриту [Sun, McDonough, 1989], отмечается фракционирование редких земель: обогащение легкими *LREE*, обеднение *HREE*. La^{μ}/Lu^{μ} отношения в дацитах равно 20 и 25. в андезитах – 26 и 52. Соответственно $La^{\mu}/Yb^{\mu} - 14$ и 18. $La^{\mu}/Sm^{\mu} - 3,5$ и 3,9; $Gd^{\mu}/Yb^{\mu} - 2$ и 3. Величина количественного дефицита европия, используемая для оценки степени дифференциации расплава, характеризуется коэффициентом Eu/Eu^* где $Eu^* = \sqrt{(Sm_{nop.}/Sm_{xohd.} \times Gd_{nop.}/Gd_{xohd})}$. *Eu/Eu** в дацитах равно 1,02; в андезитах – 0,93, что указывает на отсутствии заметной дифференциации, со значительной ролью фракционирования плагиоклаза. Мультиэлементные спектры, нормированные по *N-MORB*, свидетельствуют о заметном обогащении пород легкими литофильными элементами (*LILE*) и обеднении высокозарядными элементами с высокой валентностью (*HFSE*). От-

мечается негативная аномалия тугоплавких элементов (Nb, Ta) и заметные минимумы в содержании фосфора и титана. Сравнение изученных образцов с эталонами кайнозойских вулканов Азии [Рассказов и др., 2012], образовавшихся из слебовых и надслебовых источников, показывает, что вулканиты СРД по содержанию целого ряда элементов близки к ним. Однако, от основных по составу пород, имеющих слэбовый источник, они отличаются наличием негативной Ta-Nb аномалии и отсутствием положительной аномалии Nd. С породами, образованными из надслэбовых источников, они имеют общие негативные аномалии Ta, Nb, Ti, но заметно отличаются меньшими содержаниям LILE, LREE, обогащение которыми обычно приписывается воздействию водного флюида. Величины стронциевых отношений (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) в андезитах, дацитах свиты Р-Д варьируют в пределах от 0,704401+9 до 0,705689±9, значения (143Nd/144Nd) – в пределах от 0,512645±6 до 0,512799±6 (табл. 3). По этим показателям вулканиты СРД вполне сопоставимы с миоценовыми адакитовыми гранитоидами Центрального Андского металлогенического пояса в Чили (${}^{87}Sr/{}^{86}Sr = 0,703761 - 0,704118$; ${}^{143}Nd/{}^{144}Nd = 0,512758 - 512882$) [Гусев, 2014]. На диаграмме $eNd(t) - ({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)$ (рис. 5д), фигуративные точки располагаются в поле и вблизи поля (Adakitic rocks derived from thickened lower crust) адакитов сформировавшихся при плавлении континентальной нижней коры.

Для выявления потенциальной рудоносности вулканитов СРД проведено сравнение содержаний в них рудных элементов (табл. 1, 2) с кларковыми концентрациями этих же элементов в средних по составу пород, т.е. проведен расчет коэффициента концентрации (Кк) для конкретного элемента. Установлено, что содержания большинства рудных элементов близки к кларковым величинам. В единичных случаях отмечено повышение содержаний молибдена до 5,4 г/т (Кк – 5) и меди до 406 и 549 г/т (Кк – 12). Установлены стабильно повышенные содержания серебра (Кк–4,4) и висмута (Кк-22). Проведенные дополнительные анализы (методом *ICP-MS*) четырех образцов (андезиты – 106–4/10, 110–4/11; пропилиты – 106–2/10, 106–3), для определения в них содержания Ag и Au, показали, что: содержание серебра в андезитах составило 0,30–0,38 г/т (Кк – 4,8); в пропилитах – 0,26–0,43 г/т (Кк – 46,4); в пропилитах – 0,12–0,35 г/т (Кк – 83,9).



Рис. 2. Положение вулканитов СРД на диаграмме (Na_2O+K_2O) – SiO_2



Рис. 3-1. Амфиболовый андезит. Диагональ снимка. (Д 3,5 мм)



Рис. 3-2. Амфибол-пироксеновый андезит. (Д 3,5 мм)



Bt Amf

Рис. 3-3. Пироксеновыйдацит. (Д 3,5 мм)





Рис. 3-5. Кристалл лабрадора с ситовидным ядром. (Д 3,5 мм)

Рис. 3-6. Включение со шпинелью и силлиманитом. (Д 3,5 мм)

Рис. 3. Микрофотографии вулканитов. СРД



Рис. 4. Составы вулканитов на вариационных диаграммах SiO₂ – петрогенные элементы



Рис. 5. Составы вулканитов СРД на петрогенетических диаграммах

Обсуждение результатов

Петрографическое изучение показало, что вулканиты СРД представлены, преимущественно, дацитами и андезитами. Они содержат: 1) Резорбированные кристаллы амфибола, биотита, кварца с реакционными каймами, образованными в результате их термического разложения и окисления (рис. 3-1, 3-2, 3-4); 2) «Ситовидные» плагиоклазы с включениями стекла (рис. 3-5), что указывает на неравновесный скелетный рост кристаллов из «переохлажденного» расплава, либо их кристаллизацию в условиях декомпрессии; 3) Редкие «инородные» высокоглиноземистые включения (рис. 3-6). Все это указывает на сложную эволюцию расплавов, из которых образованы вулканиты СРД.

Рассматриваемые породы характеризуются низкими содержаниями *Nb; Ta;* Y < 18 г/т; Yb = 0,5 - 1,1 г/т; и высокими величинами отношений: Sr/Y и La^H/Yb^H = 14 и 18. Характер распределения элементов на мультиэлементных и редкоземельных спектрах указывают на то, что имел место процесс фракционирования редких земель, обогащения пород *LILE, LREE* при обеднении *HFSE* и тяжелых *REE*. На диагностических диаграммах фигуративные точки составов вулканитов СРД группируются в полях и вблизи полей адакитов (*Sr/Y-Yppm*), (*Mg# – SiO*₂). По-видимому, они могут быть производными слэбовых расплавов (*Th/Yb – Gd/Yb*), либо производными от плавления континентальной нижней коры $eNd(t) - ({}^{87}Sr/{}^{86}Sr)$. Величины изотопных отношений: ${}^{87}Sr/{}^{86}Sr = 0,704401\pm9 - 0,705689\pm9$; ${}^{143}Nd/{}^{144}Nd = 0,512645\pm6 - 0,512799\pm6$, указывают на наличие в породах мантийной компоненты.

В настоящее время «адакиты» изучены во многих регионах земного шара. К ним относят низкокалиевые вулканиты средне-кислого состава, среди которых выделяют низко- и высококремнистые разности. Первые отличаются повышенным содержанием MgO, Gr, Ni. В целом, для адакитов характерны: высокие содержания $SiO_2 \ge 56\%$, $Al_2O_3 \ge 15\%$, Sr, LILE, V, Cr; низкие содержания Y < 18 г/т, Yb < 1,8 г/т, *HFSE, Nb, Ta*; и высокие величины отношений Sr/Y и $La^{\mu}/Yb^{\mu} > 8-10$ и низкие *K/La, Rb/La, Ba/La* [Туркина, 2014; Гусев, 2014; Авдеенко, 2011]. На основании выше изложенного мы считаем, что изученные породы (хотя бы частично) обладают характеристиками, свойственными адакитам. Обычно адакиты рассматривают как: 1) результат плавления базальтов молодой (<25 млн лет) и относительно горячей субдуцируемой плиты [Defant, Drummond, 1990]; 2) результат косой субдукциии и трансформного взаимодействия плит, обеспечивающего дополнительный разогрев [Авдеенко, 2011]; 3) плавление пород мантийного клина, метасоматизированного адакитовым расплавом [Bourdon, Eissen, et al., 2002]; 4) результат плавления подплитных метабазитов в подошве мощной континентальной коры [Petford, Atherton, 1996]. В результате моделирования определены условия образования адакитовых магм путем частичного плавления слеба. Они формируются на глубинах 25-90 км при давлении ниже стабильности граната (6-28 GPa) и температурах до 1050 °C. При этом большое значение придается восходящему флюидному мантийному потоку. С интрузивными адакитовыми породами доказана связь порфировых и эпитермальных медных и медно-золоторудных и золото-серебрянных месторождений в Чили и на Филлипинах, многих медно-порфировых месторождений в Восточной Азии и в других регионах мира, а также различные типы золоторудного оруденения [Гусев, 2014].

На основании вышеизложенного можно предположить, что появление пород с адакитовыми характеристиками в юго-западной части ТККП обусловлено проявле-

нием интенсивного предакчагыльского тектогенеза, в результате которого к поверхности прорывались расплавы, сформированные при плавлении подплитных метабазитов Черноморско–Закавказского микроконтинента. На это указывает близость геохимических характеристик вулканитов СРД с породами Кельского и Казбкеского вулканических районов и заметные их отличия от пород Эльбрус–Чегемской вулканической области [Газеев, Гурбанов и др., 2017; Газеев, Мясников и др., 2011]. Созданные этими расплавами вулканические постройки разрушались акчагылапшеронским морем и вновь возрождались на протяжении длительного отрезка времени. В пределах вулканических построек, имели место процессы вторичного изменения (пропилитизации) пород .В последующий, после апшерона, период времени, вулканическая активность здесь не возрождалась и остатки вулканических построек постепенно были погребены в недрах Осетинской впадины ТККП.

В результате геохимических исследований были выявлены повышенные содержания серебра, золота и висмута в вулканитах СРД, максимальные концентрации золота установлены в пропилитизированных вулканитах. Эти данные согласуются с результатами исследований А.Б. Дзайнукова, показавшими присутствие слабо окатанных очень мелких чешуек самородного золота в песчано-гравийных смесях в долинах рек Гизельдон, Ардон, Архонка, Дур-Дур, Камбилеевка, Терек (в районе «Эльхотовских ворот») в разрезах СРД. Так, по данным А.Б. Дзайнукова, в Гизельском карьере ПГС, в песчано-глинистой фракции (-0,5 мм) аллювиальных отложений содержание тонкого и сверхтонкого золота колеблется от 162 до 300 мг/м³. Выход фракции около 6%. В песчаной фракции (+0,5-5,0 мм), составляющей 20% от общей массы аллювия, содержание золота составило 0,0453 г/т или 67,8 мг/м³. Таким образом, среднее содержание золота в песчано-глинистой фракции аллювия (выход ее 26%) составило 106 мг/м³. Запасы разведанных месторождений песчаногравийных смесей (ПГС) в Республике Северная Осетия-Алания составляют более 480 млн м³, в том числе в них песчано-глинистой фракции – 124,8 млн м³. Ресурсы тонкого и сверхтонкого золота в этих запасах оцениваются примерно в 12,5 т. На основании выше изложенного можно предположить, что источником золота могли быть зоны вторичного изменения (пропилитизации) в пределах вулканических аппаратов, служивших поставщиками вулканического материала для СРД.

Заключение

1. Полученные в процессе комплексного изучения обломков вулканических пород свиты «Руах-Дзуар», распространенных в юго-западной части ТККП, геохимические, изотопные и петрографические данные показали, что вулканиты преимущественно, представлены андезитами и дацитами, прошедшими сложный эволюционный путь. Для них характерны такие явления как: рост кристаллов в условиях декомпрессии; термическое разложение кристаллов, автосмешивание расплавов; присутствие в расплавах мантийной составляющей (${}^{87}Sr/{}^{86}Sr$) = 0,704401±9 – 0,705689±9; ${}^{143}Nd/{}^{144}Nd$ = 0.512645±6 – 0,512799±6); и контаминация расплавов коровыми компонентами. Имел место процесс фракционирования редких земель, обогащения пород *LILE, LREE* при обеднении *HFSE* и тяжелыми *REE*.

2. Установлено, что вулканиты обладают характеристиками, близкими к адакитовым. Это подтверждается высокими содержаниями $SiO_2 \ge 56.\%$, $Al_2O_3 \ge 15\%$, Sr, LILE, низкими содержаниями Nb, Ta, Y<18 г/т, Yb = 0,5–1,1 г/т, высокими величинами отношений Sr/Y, $La^{\mu}/Yb^{\mu} = 14-18$, положением фигуративных точек на петрогенетических диаграммах (Sr/Y-Y г/т), ((La/Yb)_N – Yb_N), eNd(t) – (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr). 3. Показано, что вулканиты СРД характеризуются повышенными содержаниями золота, серебра, висмута. Концентрации золота повышаются в процессе пропилитизации вулканитов.

Работа поддержана Госзаданием ИГЕМ РАН «Петрология и минерагения магматизма внутриплитных и посторогенных обстановок: роль литосферных и астеносферных источников в формировании расплавов» и подготовлена при поддержке гос. темы НИР ВНЦ РАН № 0196-2015-0001 и темы НИОКТР: АААА-А17-117060910044-5 в КНИО ВНЦ РАН.

Литература

1. Авдеенко Г.П., Палуева А.А., Кувикас О.В. Адакиты в зонах субдукции Тихоокеанского кольца. Обзор и анализ геодинамических условий образования // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2011. – №1. Вып. 17. – С. 45–58.

2. Белуженко Е.В., Коваленко Е.И., Письменная Н.С. Стратиграфия олигоценэоплейстоценовых отложений Северной Осетии (лист К-38-IX) // Проблемы геологии, геоэкологии и минерагении юга России и Кавказа / Мат. V Междунар. науч. конф. – Новочеркасск. – 2009. – С. 34–39.

3. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Докучаев А.Я., Гурбанова О.А. Кельский вулканический район (республика Южная Осетия): геохимические особенности пород и геодинамическая интерпретация // Геология и Геофизика Юга России. – 2017. – №2. – С. 26–39.

4. Газеев В.М., Мясников А.В., Лексин А.Б., А.Б. Докучаев А.Б., Гурбанов А.Г. Зональность новейших вулканитов Большого Кавказа и ее геодинамическая интерпретация // Тезисы V Всероссийский Симпозиум по вулканологии и палеовулканологии. – Екатеринбург. – 21–27 ноября 2011. – С. 365–367.

5. Гусев А.И. Петрология адакитовых гранитоидов. – М.: ИД «Академия естествознания», 2014. – 133 с.

6. Клавдиева Н.В. Тектоническое погружение Предкавказских краевых прогибов в кайнозое // Дисс. на соиск. уч. степени к.г-м.н. МГУ. – 2007. – 179 с.

7. Марков А.Н., Самойлович В.Л., Копыльцов А.И. Уточнение геологического строения юрских подсолевых отложений Терско-Каспийского прогиба и оценка перспектив нефте-газоносности. – Ессентуки: СК ТГФ, 2000. – С. 110–172.

8. Рассказов С.В., Чувашова И.С., Ясныгина Т.А. и др. Калиевая и натриевая вулканические серии в кайнозое Азии. – Новосибирск: Акад. изд. «ГЕО», 2012. – 343 с.

9. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.

10. Bourdon E., Eissen J.P., Monzier M. et al. Adakite-like lavas from Antisana Volcano (Ecvador): Evidence for slab melt metasomatism beneath Andean Northern Volcanic Zone // Journal of Petrology. – 2002. – V. 43. №2. – P. 199–219.

11. Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // Nature. – 1990. – V. 347. №4. – P. 662–665.

12. Petford N., Atherton M. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith, Peru // J. Petrol. – 1996. – V. 37. №6. – P. 1491–1521.

13. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – №42. – P. 313–345. DOI: 10.23671/VNC.2018.3.16542

VOLCANITES WITH THE ADAKITE CHARACTERISTICS FROM UPPER PLIOCENE CROSS SECTIONS OF TERSKO-CASPIAN FOREDEEP DEPRESSION

© 2018 V.M. Gazeev^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A.G. Gurbanov^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), Yu.V. Goltsman¹, Sc. Candidate (Geol.-Min.), T.I. Oleiynikova¹, A.B. Lexin¹, A.Ya. Dokuchaev¹, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

¹Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, Russia, 119017, Moscow, Staromonetny Lane, 35;

²Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, 362027, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markusa Str., 22, e-mail: gurbanov@igem.ru

In the Osetian basin of Tersko-Caspian foredeep depression in a section of akchagil-apsheron sediments the terrane with a large number of redeposited volcanic rocks is bedding. The petrographical and geochemical investigation of these volcanic rocks was done. Results of XRF, ICP MS and isotope (*Rb*, *Sr*, *Sm*, *Nd*)) analyses were presented. It was shown, that volcanites are considerate adakite-like characteristics. The potential ore content of these rocks was done. We are suppose that in zones of secondary alteration (propylitization) within the volcanic apparatus, which served as a sources of the volcanic rocks removal, can occurs a gold-silver with bismuth mineralization.

Keywords. Tersko-Caspian foredeep depression, adakite-like volcanic rocks, petrography, geochemistry, geodynamical reconstructions, potential ore content.

References

1. Avdeenko G.P., Palueva A.A., Kuvikas O.V. Adakity v zonah subdukcii Tihookeanskogo kol'ca. Obzor i analiz geodinamicheskih uslovij obrazovanija [Adakites in the subduction zones of the Pacific ring. Overview and analysis of geodynamic conditions of education]. Vestnik KRAUNC. Nauki o zemle. 2011. No.1. Issue 17. Pp. 45–58. (in Russian)

2. Beluzhenko E.V., Kovalenko E.I., Pis'mennaja N.S. Stratigrafija oligocen-jeoplejstocenovyh otlozhenij Severnoj Osetii (list K-38-IX) [Stratigraphy of Oligocene-Eopleistocene deposits of North Ossetia (sheet K-38-IX)]. Problemy geologii, geojekologii i mineragenii juga Rossii i Kavkaza / Mat. V Mezhdunar. nauch. konf. Novocherkassk. 2009. Pp. 34–39. (in Russian)

3. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Leksin A.B., Dokuchaev A.Ja., Gurbanova O.A. Kel'skij vulkanicheskij rajon (respublika Juzhnaja Osetija): geohimicheskie osobennosti porod i geodinamicheskaja interpretacija [Kel volcanic region (South Ossetia republic): geochemical features of rocks and geodynamic interpretation]. Geologija i Geofizika Juga Rossii. 2017. No.2. Pp. 26–39. (in Russian)

4. Gazeev V.M., Mjasnikov A.V., Leksin A.B., A.B. Dokuchaev A.B., Gurbanov A.G., Zonal'nost' novejshih vulkanitov Bol'shogo Kavkaza i ee geodinamicheskaja interpretacija [Zoning of the newest volcanics of the Greater Caucasus and its geodynamic interpretation]. Tezisy V Vserossijskij Simpozium po vulkanologii i paleovulkanologii. Ekaterinburg. 21–27 nojabrja 2011. Pp. 365–367. (in Russian)

5. Gusev A.I. Petrologija adakitovyh granitoidov. [Petrology of adakite granitoids]. M. ID «Akademija estestvoznanija», 2014. 133 p. (in Russian) 6. Klavdieva N.V. Tektonicheskoe pogruzhenie Predkavkazskih kraevyh progibov v kajnozoe [Tectonic immersion of the Precaucasian marginal troughs in the Cenozoic]. Diss. na soisk. uch. stepeni k.g-m.n. MGU. 2007. 179 p. (in Russian)

7. Markov A.N., Samojlovich V.L., Kopyl'cov A.I. Utochnenie geologicheskogo stroenija jurskih podsolevyh otlozhenij Tersko-Kaspijskogo progiba i ocenka perspektiv nefte-gazonosnosti. [Refinement of the geological structure of the Jurassic subsalt deposits of the Tersko-Caspian trough and an assessment of the prospects for oil and gas content.]. Essentuki: SK TGF. 2000. Pp. 110–172. (in Russian)

8. Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Jasnygina T.A. i dr. Kalievaja i natrievaja vulkanicheskie serii v kajnozoe Azii. [Potassium and sodium volcanic series in the Cenozoic of Asia.]. Novosibirsk: Akad. izd. «GEO». 2012. 343 p. (in Russian)

9. Turkina O.M. Lekcii po geohimii magmaticheskogo i metamorficheskogo processov. [Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes]. Novosibirsk: RIC NGU, 2014. 118 p. (in Russian)

10. Bourdon E., Eissen J.P., Monzier M. et al. Adakite-like lavas from Antisana Volcano (Ecvador): Evidence for slab melt metasomatism beneath Andean Northern Volcanic Zone // Journal of Petrology. – 2002. – V. 43. №2. – P. 199–219.

11. Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // Nature. – 1990. – V. 347. №4. – P. 662–665.

12. Petford N., Atherton M. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith, Peru // J. Petrol. – 1996. – V. 37. №6. – P. 1491–1521.

13. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – №42. – P. 313–345.