

ГЕОХИМИЯ Au, Ag, Ge, Ga В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ
ОБРАЗОВАНИЯХ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

А.Ю. Антонов

Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск

Исследовано распределение Au, Ag, Ge, Ga в вулканитах различной кислотности 50 наземных и подводных четвертичных вулканов вкрест и по простиранию Курильской островной дуги (ОД). От фронтальной к тыловой вулканической зоне средние содержания Au (в отличие от Ag) в базальтах постепенно уменьшаются, а в андезитах - увеличиваются. В базальтах это, скорее всего, обусловлено максимальным насыщением мантийного магмогенерирующего субстрата во фронтальной зоне ОД. "Обратная" зональность в андезитах находит свое объяснение лишь в случае их происхождения в результате смешения мантийных базальтоидных и коровых салических магм. Это указывает на большее Au-обогащение корового магмогенерирующего субстрата именно в тылу ОД. Максимально "золотоносны" базальты всех зон Курильской ОД на участке ее "перегиба" по центру.

В отдельных вулканах Курил наиболее часто максимальные средние содержания Au выявлены в базальтах, менее часто - в андезибазальтах и еще реже - в андезитах. Содержание Au и Ag в вулканитах зависит как от Au- и Ag-обогащения первичных магм, так и от их насыщения летучими компонентами (прежде всего S и Cl). Понижение щелочности магм способствует эманационному накоплению и интенсивности выноса Au и Ag из расплавов вместе с летучими компонентами и определяет их повышенный рудогенерирующий потенциал на эти элементы. Множество причин обусловило почти равномерное рассеяние Ge и Ga на всех этапах эволюции магм.

Таким образом, фронтальная вулканическая зона, а также вся поперечная зона "перегиба" в центре Курильской ОД наиболее благоприятны для рудопроявлений Au. Заметное Ag, Ge-обогащение и Au-обеднение вулканитов Северных Курил относительно таковых Южных отражает разную рудную специализацию районов на эти элементы.

Ключевые слова: геохимия, вулканиты, базальты, андезиты, геохимическая зональность Курильская островная дуга.

ВВЕДЕНИЕ

Геохимия Au, Ag, Ge и Ga в четвертичных вулканитах Курильской островной дуги (ОД) к настоящему времени изучена весьма слабо. Так, до начала наших работ имелись лишь весьма отрывочные и малопредставительные данные по распределению Au и Ag в породах только нескольких надводных вулканов главной цепи островов [1, 4], а по распределению Ge и Ga данные отсутствовали вообще. Весомым дополнением к этому послужила наша относительно недавняя статья по геохимии Au в четвертичных вулканитах Курильской ОД [7], причем не только в продуктах надводных, но и большого количества подводных вулканов, в максимальной степени характеризующих собой обширную тыловую зону вулканизма региона. Представленные материалы были получены в результате длительных и обширных комплексных исследований совместной экспедиции Института вулканологии ДВО РАН, ГЕОХИ СО АН СССР и ИГЕМ АН СССР по изучению геологического строения, прежде всего, подводной части Курильской ОД, а также

минералогии и геохимии четвертичных вулканитов всего этого региона. При этом, наши опубликованные данные по распределению Au являлись лишь частью имеющихся и касались в основном четвертичных вулканитов Южной и Центральной частей региона (выделенных в соответствии с [2]), т.е. проявленных лишь в пределах примерно половины изученной территории. Результаты анализов по Au в вулканитах Северных Курил (116 проб с 21-ной в разной степени дифференцированной вулканической постройки) были получены несколько позднее и приводятся в данной статье вместе с другими новыми геохимическими данными, характеризующими вулканизм всего региона в целом (рис.). В предлагаемой статье, кроме Au, по курильским вулканитам самой различной кремнеземистости охарактеризовано распределение Ag, а также (впервые) Ge и Ga, причем Ag и Ge - в 69 пробах с 16 вулканов всей Курильской ОД, а Ga - в 39 пробах с 11 вулканов Южных Курил. Соответственно, все это дало возможность на новом и гораздо более высоком уровне рассмотреть закономерности распределения отмеченных элементов в ходе

магматических процессов как в целом по Курильской ОД, так и по всем ее частям и зонам, оценить потенциальную рудоносность всего региона на эти элементы, а также провести представительное геохимическое сопоставление данных четвертичных вулканитов с таковыми других регионов магматизма (прежде всего мел-палеогеновыми магматическими образованиями смежной территории Малой Курильской гряды, материалы по распределению Au и Ag в которых опубликованы нами совсем недавно [8]).

Полученные аналитические результаты определения Au, Ag, Ge, Ga во всех главных типах вулка-

нитов Курил от базальтов до риолитов обобщены в таблицах 1–6. В них же отражены интервалы колебания концентраций и средние содержания этих элементов как для пород отдельных вулканов, так и для их совокупностей в пределах всех 3-х основных продольных зон вулканизма Курильской ОД (а именно: фронтальной, промежуточной и тыловой [2]), где щелочность вулканитов по мере удаления их в сторону континента закономерно увеличивается. Оценка распределения элементов в вулканитах разных зон ОД и их частей (Южной, Центральной и Северной) проведена по усредненным составам пород в пределах 8-

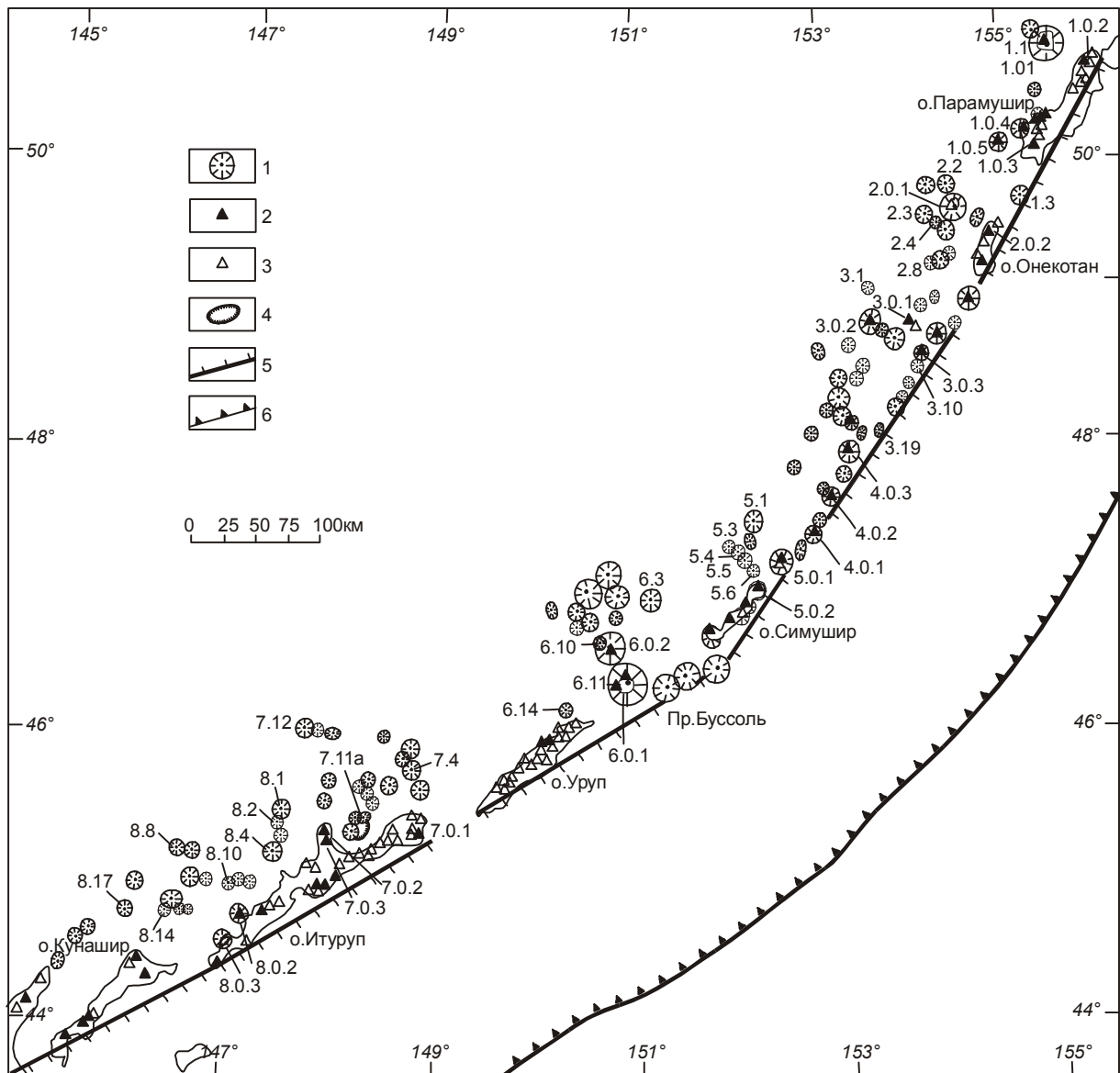


Рис. Схема расположения вулканов Курильской островной дуги.

1 – подводные вулканы; 2,3 – активные (2) и потухшие (3) наземные вулканы; 4 – подводные кальдеры; 5 – вулканический фронт; 6 – ось Курило-Камчатского глубоководного желоба. Номера обозначены изученные вулканы, причем те из них, которые обозначены 2-мя значащими цифрами (разделенных одной точкой) соответствуют подводным вулканам по каталогу [2], а которые обозначены 3-мя значащими цифрами (разделенных 2-мя точками) – наземным вулканам. Первые цифры номеров вулканов (от 1 до 8) отражают порядковый номер изученных поперечных профилей региона, выделенных по [2].

ми выделенных поперечных профилей [2], равномерно распределенных по всему простиранию дуги (рис.). Таким образом было прослежено распределение Au, Ag, Ge и Ga в продуктах вулканизма и вдоль, и поперек Курильской ОД, причем как на ее отдельных участках, так и в целом.

Для минимальной статистической оценки распределения Au, Ag, Ge и Ga в вулканитах различных типов их содержания определялись преимущественно не менее чем в 2-3-х пробах пород близкой кремнеземистости каждого вулкана. Лишь для некоторых вулканов эти концентрации в соответствующих типах пород были охарактеризованы одной пробой, в основном из-за не всегда достаточного количества имеющегося каменного материала (прежде всего с подводных построек).

Локализация и геологическое строение изученных надводных вулканов Курильской ОД наиболее детально описаны в книге Г.С.Горшкова [9], а подводных – в нашей монографии [2]. В последней наиболее полно отражена и вещественная характеристика вулканитов данного региона на все главные элементы и более чем на 40 микроэлементов (кроме тех, которые здесь рассматриваются).

МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Все аналитические работы проводились в Институте геохимии СО РАН. Концентрации Au в породах определялись абсорбционным методом с предварительным химическим обогащением (экстракцией 0.5 мл толуола) из навески 1–5 г. Замеры проводились на атомизаторе с использованием кюветы (прибор Perkin-Elmer-503). Чувствительность метода определения элемента (предел обнаружения) – 0.0002 г/т, относительное стандартное отклонение – 0.15; аналитики – С.Е.Чернигова, А.А.Хлебникова.

Содержания Ag, Ge, Ga в породах определялись количественным эмиссионным спектральным методом. Пределы обнаружения их концентраций соответствуют: Ag – 0.03 г/т, Ge – 0.8 г/т, Ga – 3.0 г/т. Величина относительного стандартного отклонения при определении Ag соответствует 0.50; Ge – 0.25; Ga – 0.30. Аналитики – А.И.Кузнецова, Н.Л.Чумакова.

ФАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

ЗОЛОТО. Как следует из таблиц 1–3, а также данных [7], содержания Au в изученных вулканитах сильно варьируют: от <0.20 до 16 мг/т (более, чем в 80 раз). При этом, в пределах конкретных вулканов повышенные концентрации Au, как и максимальные интервалы его концентраций, в основном свойственны наиболее мафическим вулканитам – базальтам, т.е. породам, наиболее близким к составу первичных выплавов. Так, независимо от локализации вулканов в

пределах той или иной зоны ОД средние концентрации Au в базальтах 17 построек (из 41 изученной, где они были установлены) превышают 2–3 мг/т, т.е. приближаются к кларковым для основных пород по А.П.Виноградову (4.0 мг/т) или превышают их. Однако в базальтах 13-ти вулканов средние содержания составляют 1.0–1.5 мг/т, а еще 11-ти – менее 1 мг/т.

В базальтах различных вулканических зон и частей Курильской ОД отмечается отчетливо неравномерное распределение золота (табл. 2). Так, в 5 из 8 изученных поперечных профилей региона средние содержания Au достаточно постепенно уменьшаются от наименее щелочных толеитовых базальтов фронтальной зоны ко все более щелочным базальтам промежуточной и, далее, субщелочным базальтам тыловой вулканической зоны ОД. Соответственно, в этом же направлении средние концентрации Au в базальтах закономерно уменьшаются и в целом по Курилам, от 3.36 через 2.76 до 1.87 мг/т, фиксируя по ним поперечную зональность. Это вполне соответствует закономерности, ранее выявленной и для позднемиловых–палеогеновых базальтоидов Малой Курильской гряды [8], где содержания Au от толеитовых базальтов матакотанской свиты (5.57 мг/т) к известково-щелочным базальтам зеленовской свиты (1.9 мг/т) и ноторо-томаринского комплекса (2.1 мг/т) и далее шошонитам малокурильской свиты (1.7 мг/т) также заметно понижаются. При этом, несмотря на то, что в среднем наиболее высокие содержания Au проявлены в базальтах фронтальной зоны вулканизма Курил, распределение этого элемента в породах здесь весьма неоднородно и, как следует из наших петрографических наблюдений [7], во многом подчиняется двум противоположным тенденциям. Так, с одной стороны, обычно наиболее обогащены золотом именно те разности, которые при минимальной кремнеземистости максимально обогащены вкрапленниками темноцветных минералов, т.е. пироксенов и, прежде всего, оливина. С другой стороны, количество Au в плагиофировых и субплагиофировых базальтах здесь обычно самое низкое (до < 0.5 мг/т).

Полученные средние содержания Au в базальтах разных вулканических зон Курил заметно выше таковых для кайнозойских базальтов всей Курило-Камчатской провинции (1.73 мг/т) и о-ва Парамушир (1.85 из 8 анализов), но несколько ниже таковых для базальтов о.Симушир (4.25 мг/т из 7 анализов) [4], магнезиальных (4.3 мг/т) и субщелочных глиноземистых (7 мг/т) базальтов Толбачинского извержения на Камчатке [5], а также континентальных толеитовых базальтов Сибирской платформы [4] и Каскадных гор США [23].

В 2-х профилях (V и III) региона распределение Au в базальтах изменяется незакономерно. Так, максимальные средние содержания Au проявлены в

Таблица 1. Au в четвертичных вулканитах базальт–андезитового ряда Северной части Курильской ОД.

Зона ОД	Номер и название вулкана	Базальты			Андезибазальты			Андезиты		
		Распределение Au (мг/т)								
		n	Интервал	Среднее	n	Интервал	Среднее	n	Интервал	Среднее
Фронтальная	H4.0.5. Распуа	2	0.5–1.2	0.85	3	0.7–1.5	1.07	5	0.4–0.8	0.68
	ПЗ.19	3	0.9–2.0	1.33	3	0.6–0.9	0.70	2	0.4–1.0	0.70
	ПЗ.10	3	0.3–0.5	0.40	3	0.3–1.2	0.63	1	0.6	0.60
	H3.0.3. Кунтоминтар	1	–	1.50	2	1.0–1.4	1.20	2	2.9–6.5	4.70
	H2.0.2. Кальдера Нэмо	3	2.4–3.6	2.87	2	0.8–1.2	1.00	2	0.8–1.0	0.90
	П1.3	1	1.9	1.90	3	0.5–10.0	3.77	3	н/об–0.8	0.27
	П1.0.3. Чикурачки	3	0.4–0.6	0.47	2	0.5–1.0	0.75	1	0.5	0.50
	H1.0.2. Эбеко	4	0.3–0.6	0.45	1	–	1.00	2	0.9–1.5	1.20
	Среднее по зоне	20	0.3–3.6	1.22	19	0.3–10.0	1.26	18	н/об–6.5	1.19
Промежуточная	H4.0.2 Матуа	1	–	0.40	3	0.5–1.6	0.97	–	–	–
	H3.0.1 Райкоке	3	1.5–3.0	2.07	–	–	–	–	–	–
	П2.8 плато Порфирит	1	–	1.10	3	0.2–0.8	0.43	1	–	0.50
	П2.4 Пийпа	–	–	–	–	–	–	1	–	0.60
	H2.0.1 Маканруши	2	0.6–1.1	0.85	2	0.7–1.5	1.10	–	–	–
	H1.0.4 Фусса	–	–	–	3	0.3–0.7	0.50	3	1.0–1.7	1.27
	Среднее по зоне	7	0.4–3.0	1.10	11	0.2–1.6	0.75	5	0.5–1.7	0.79
Тыловая	H3.0.2 Чиринкотан	1	–	1.40	–	–	–	3	1.5–3.0	2.50
	ПЗ.1 Эдельштейна	1	–	1.00	3	0.3–4.8	3.13	1	–	0.80
	П2.3 скалы Авось	2	0.8–1.2	1.00	3	0.5–1.8	1.00	–	–	–
	П2.1 Белянкина	3	0.7–1.0	0.80	–	–	–	–	–	–
	П1.0.5 Анциферова	3	0.6–0.7	0.63	3	0.3–0.5	0.43	2	0.8–0.8	0.80
	П1.0.1 Алаид	3	0.8–1.5	1.17	–	–	–	–	–	–
	П1.1 Григорьева	3	0.4–0.9	0.67	–	–	–	–	–	–
	Среднее по зоне	16	0.4–1.5	0.95	9	–	1.52	6	0.8–3.0	1.37

Примечание. В таблицах первая буква перед номером вулкана обозначает подводные (П) и наземные (Н) вулканы; номера вулканов соответствуют обозначенным на рисунке.

базальтах промежуточной зоны, причем либо с близкими пониженными его содержаниями во фронтальной и тыловой зоне, либо с наиболее низкими – в тыловой зоне. В одном из профилей (VIII) какого-либо значимого изменения содержания Au в базальтах разных зон не улавливается. Данное соотношение накладывает свой отпечаток на характер изменения средних содержания Au поперек ОД в пределах 3-х ее основных частей, что выразилось в отсутствии зональности в целом как в пределах Южной, так и Северной частей Курил (табл. 2).

Наиболее часто повышенные средние содержания Au (> 2 мг/т) в базальтах, независимо от их приуроченности к той или иной вулканической зоне, выявлены в пределах Южных и, прежде всего, Центральных Курил (пролив Буссоль), а также одного примыкающего к ним с севера профиля (V) в проливе Диана, т.е. зоны основного “перелома” направления островной дуги (рис.). Именно в базальтах “переломного” участка дуги выявлены максимальные

содержания Au, более чем вдвое превышающие кларковые для основных пород (11.7 мг/т и 9.53 мг/т в базальтах вулканов Пб.13 и Кетой). Выявленное может рассматриваться в качестве критериев повышенной Au-рудной специализации этих районов.

Содержания Au в андезибазальтах (0.2–10.0 мг/т), в целом, близки базальтовым, хотя интервалы содержания элемента в них несколько меньше (табл. 1–2, а также данные [7]).

Средние концентрации Au от базальтов к андезибазальтам в пределах как отдельных вулканов Курил, так и совокупностей вулканов различных вулканических зон и их частей могут уменьшаться, увеличиваться и оставаться на близком уровне, хотя и в несколько большей степени уменьшаются. Так, во фронтальной зоне они уменьшаются в этом ряду вулканических 8 вулканов из 15 изученных, в промежуточной зоне – 5 вулканов из 9, а в тыловой зоне – 5 вулканов из 8, т.е. в целом в ~56% вулканов. С другой стороны, множество отклонений от выявленной

Таблица 2. Средние содержания Au (мг/т) в четвертичных вулканитах базальт–андезитового ряда в различных частях и поперечных зонах Курильской островной дуги.

Профиль	Номер и название вулканов	Базальты		Андезибазальты		Андезиты	
		Распределение Au (мг/т)					
		n	Среднее	n	Среднее	n	Среднее
Фронтальная зона							
Южные Курилы							
VIII	H8.0.3 (Львиная пасть), H8.0.2	8	3.04	6	2.80	3	0.70
VII	H7.0.1 (Кальдера Медвежья)	5	1.26	1	2.40	3	0.67
	Среднее по участку	13	2.15	7	2.60	6	0.68
Центральные Курилы							
VI	П6.13	1	11.70	2	0.74	-	-
Северные Курилы							
V		4	5.28	5	1.65	3	0.69
IV		6	1.66	7	0.90	10	0.78
III		7	1.07	8	0.84	5	2.00
II		3	2.87	2	1.00	2	0.90
I		8	0.94	6	1.84	6	0.66
	Среднее по участку	28	2.36	28	1.25	26	1.01
	Среднее по зоне (по 8 профилям)	42	3.48	37	1.52	32	0.91
Промежуточная зона							
Южные Курилы							
VIII	П8.4 (Крылатка)	3	3.13	4	1.56	3	0.88
VII	H7.0.2, H7.0.3, П7.11, П7.4	6	1.00	5	1.13	8	0.90
	Среднее по участку	9	2.06	9	1.34	11	0.89
Центральные Курилы							
VI	П6.14, H6.0.1 (Кальд.Горшкова)	8	4.76	8	0.96	8	1.44
Северные Курилы							
V	П5.5, П5.6	3	7.00	1	1.70	-	-
IV	H4.0.2 (Матуа)	1	0.40	3	0.97	-	-
III	H3.0.1 (Райкоке)	3	2.07	-	-	-	-
II	П2.8, П2.4, H2.0.1 (Маканруши)	3	0.98	5	0.76	2	0.55
I	H1.0.4 (Фусса)	-	-	3	0.50	3	1.27
	Среднее по участку	10	2.61	12	0.98	5	0.91
	Среднее по зоне (по 8 профилям)	27	2.76	29	1.08	24	1.01
Тыловая зона							
Южные Курилы							
VIII	П8.1, П8.2, П8.10, П8.8	9	3.14	8	1.38	4	3.42
VII	П7.12	-	-	-	-	2	0.92
	Среднее по участку	9	3.14	8	1.38	6	2.17
Центральные Курилы							
VI	H6.0.2 (Броутона), П6.10, П6.3	12	3.75	9	2.51	8	1.67
Северные Курилы							
V	П5.1, П5.3, П5.4	3	1.39	8	2.27	6	1.11
III	H3.0.2 (Чирикотан), П3.1	2	1.20	3	3.13	4	1.65
II	П2.3, П2.1 (Беянкина)	5	0.90	3	1.00	-	-
I	П1.1, H1.0.1 (Алаид), H1.0.5	9	0.82	3	0.43	2	0.80
	Среднее по участку	19	1.08	17	1.71	12	1.19
	Среднее по зоне (по 7 профилям)	40	1.87	34	1.79	26	1.60

тенденции в породах других вулканов, при нередко весьма значительных вариациях содержания элемента (табл. 1–2), приводит к тому, что в совокупности вулканитов в целом по фронтальной и промежуточной вулканическим зонам средние содержания Au уменьшаются, а в ряду пород тыловой зоны – остаются почти на одном уровне (табл. 2).

В андезибазальтах различных вулканических зон Курильской ОД также проявлено весьма не-

однородное распределение Au. При этом, в половине из 8 изученных профилей, а именно во всех (2-х) южных и только в 2-х наиболее северных средние содержания Au постепенно уменьшаются от пород фронтальной зоны к породам промежуточной и далее тыловой зоны вулканизма Курил. Во всех остальных профилях они, наоборот, несколько увеличиваются. Соответственно, какого-либо достаточно значимого постепенного одностороннего изме-

нения средних содержаний Au по андезибазальтам разных вулканических зон Курильской ОД в целом не выявляется, и эти содержания в вулканитах как фронтальной (1.52 мг/т), так и тыловой (1.79 мг/т) зон оказались весьма близкими.

Повышенные средние содержания Au (>2 мг/т) выявлены в андезибазальтах как фронтальной, так и тыловой зон вулканизма ОД (что следует и из предыдущего раздела). При этом, во фронтальной зоне они проявлены в основном в породах Южной части Курил, а в тыловой зоне – в породах прежде всего Центральной части Курил и одного профиля Северных Курил, непосредственно примыкающего к Центральным Курилам.

В андезитах отдельных вулканов Курил [7] (табл. 1) средние содержания Au обычно ниже, чем в базальтах и андезибазальтах, а интервал содержаний еще «уже» (0.29–7.60 мг/т). Как и в ранее описанном ряду более мафических вулканитов, при переходе от андезибазальтов к андезитам в пределах отдельных вулканов и их совокупностей (на участках разных вулканических зон и в целом по зонам) средние содержания Au варьируют самым различным образом, но по большей мере – уменьшаются. Так, в пределах фронтальной зоны вулканизма они уменьшаются в этом ряду пород 8 вулканов из 12 (где они были изучены), промежуточной зоны – 4 вулканов из 8, а тыловой зоны – 6 вулканов из 8, т.е. в целом в ~65 %. Как и в случае с базальт–андезибазальтовым рядом вулканитов, многочисленные отклонения от выявленной общей тенденции приводят к тому, что средние содержания Au в целом заметно уменьшаются лишь во фронтальной вулканической зоне Курил (от 1.52 до 0.91 мг/т), а в промежуточной (1.08–1.01 мг/т) и тыловой (1.79–1.60 мг/т) зонах они остаются почти на одном уровне, причем всегда меньшем в андезитах, чем в базальтах.

Как и в более мафических вулканитах, распределение Au в андезитах отдельных вулканов и их совокупностей по мере их удаления от фронта вулканизма Курильской ОД отчетливо неоднородно. Так, в этом направлении средние содержания Au в андезитах совокупности вулканов почти всех, а именно 6 из 8, выделенных поперечных профилей региона (по IV и II оставшимся профилям Северных Курил мало данных) постепенно увеличиваются, т.е. наблюдается поперечная зональность, которая к тому же является обратной по отношению к зональности по базальтам. В целом по Курильской ОД средние содержания Au слабо увеличиваются от андезитов фронтальной зоны вулканизма (0,99 мг/т) к андезитам промежуточной зоны (1.01 мг/т) и более резко – к андезитам тыловой зоны (1.60 мг/т). Выявленная тенденция обогащения золотом четвертичных андезитов именно максимальной щелочности в пределах Большой Курильской гря-

ды соответствует тенденции, свойственной и мел–палеогеновым андезитам Малой Курильской гряды [8], где хотя низкощелочные андезиты толеитовой серии и не выявлены, но от известково-щелочных андезитов зеленовской свиты (<0.5 мг/т) и ноторо-томаринского комплекса (<0.3 мг/т) к латитам малокурильской свиты (1.7 мг/т) средние содержания Au явно увеличиваются.

Повышенные средние содержания Au (> 2 мг/т) в андезитах отдельных вулканов региона проявлены очень редко, и какой-либо заметной приуроченности их к вулканитам той или иной части или участка Курильской ОД не выявляется. Так, в пределах фронтальной вулканической зоны они отмечены лишь в андезитах вулкана Кунтоминтар (4.70 мг/т) северной части Курил; в промежуточной зоне они не выявлены, а в тыловой зоне они обнаружены только в андезитах 3-х вулканов, расположенных во всех частях Курил: на вулкане П8.2 (3.42 мг/т) Южных Курил, на вулкане П6.10 (2.40 мг/т) Центральных Курил и на вулкане Чиринкотан (2.50 мг/т) Северных Курил.

Почти все приведенные средние содержания Au в андезитах отдельных вулканов и все – в андезитах разных зон Курил несколько ниже значений, приводимых ранее Г.Н.Аношиным [4] для андезитов всей Главной вулканической зоны Курильской ОД (2 мг/т) и островов Парамушир (1.88 мг/т), Симушир (1.7 мг/т) и Кунашир (2.2 мг/т), но они близки к значениям в андезитах островов Чирпой (1.52 мг/т) и Броутона (0.83 мг/т) и, в соответствии с [1], значительно ниже, чем в андезитах вулкана Тятя на о-ве Кунашир.

Как следует из таблицы 3, содержания Au в кислых вулканитах дацит–риолитового ряда Курил также могут варьировать весьма значительно, причем их интервал значений в дацитах (13 проб) оказался даже “шире”, чем в базальтах (от <0.2 до 12.6–16.0 мг/т). Резко повышенные концентрации Au, близкие или значительно превышающие таковые в наиболее мафических вулканитах региона и в 1.5–3.5 раза – кларковые для кислых пород по А.П.Виноградову (4.5 мг/т), обнаружены в дацитовых пемзах и некоторых экструзивных образованиях вулканов всех зон южной и центральной частей Курильской ОД. В изученных риодацитах (2 пробы, <0.20–0.73 мг/т) и риолитах (2 пробы, 0.60–1.50 мг/т) содержания Au обычно низки и минимальны по отношению к более мафическим образованиям соответствующих вулканов. В некоторых случаях (2-х из 6-ти изученных) они отражают довольно равномерное уменьшение содержаний Au во всем дифференциальном ряду пород вулканов от базальтов до дацитов и риодацитов (кальдера Нэмо и вулкан Броутона). Судя по имеющимся, хотя и очень ограниченным данным, повышенные содержания Au несколько

Таблица 3. Распределение Au в четвертичных вулканитах дацит–риолитового ряда Курильской ОД.

Зона ОД	Номер, название вулкана	Порода	Au (мг/т)		
			n	Интервал	Среднее
Фронтальная	Н8.0.3 Кал.Львиная пасть	Дацит, лавовые потоки	4	0,4–1,2	0,70
	- " -	Дацит, пемза	1	-	16,0
	Н4.0.1 Ушишир	Дацит, экструзия	1	-	0,50
	Н4.0.3 Расшуа	Дацит	1	Н/об.	Н/об.
	Н2.0.2 Кальдера Нэмо	Дацит	2	Н/об. –0,3	<0,15
Промежуточная	- " -	Риодацит	2	Н/об.	Н/об.
	Н6.0.1 Кал.Горшкова	Дацит, пемза	1	-	5,50
Тыловая	- " -	Риолит, пемза	1	-	0,60
	П8.14	Дацит. Экструзия I	2	0,5–0,7	0,61
	- " -	Дацит. Экструзия II	1	-	12,60
	Н6.0.2 Броутона	Риолит, лавовые потоки	2	1,0–2,0	1,50
	П6.10	Риодацит, пемза	2	0,4–1,2	0,73

чаще характерны для высококремнеземистых вулканитов именно тыловой зоны вулканизма Курил (причем как дацитов, так и риолитов).

Определенные нами концентрации Au в кислых вулканитах Курил ниже средних концентраций элемента в кислых вулканитах о-ва Кунашир и Главной зоны Курил (1,96 мг/т), приводимых Г.Н.Аношиным [4].

Таким образом, несмотря на то, что в отдельных вулканах Курильской ОД распределение Au в дифференциальных рядах вулканитов весьма неравномерно, наиболее часто повышенные содержания Au проявлены в базальтах, менее часто – в андезибазальтах и еще реже – в андезитах и т.д. При этом, по содержаниям Au в базальтах и андезитах вулканов вкост простирания Курильской ОД от ее фронтальной зоны вулканизма к тыловой зоне выявляется поперечная зональность, выражающаяся либо в их постепенном уменьшении (в базальтах), либо увеличении (андезитах). Кроме того, в пределах Южной и прежде всего, Центральной части Курил (профиль пролива Буссоль в зоне “перелома” островной дуги) вместе с единственным примыкающим к ней с севера профилем в проливе Диана, содержания Au в наиболее мафических вулканитах максимальны (в 3–4 раза выше, чем в базальтах Северных Курил) почти независимо от их локализации в той или иной продольной вулканической зоне (в базальтах всех зон вулканизма, а в андезибазальтах – фронтальной и тыловой зон). Выявленное может рассматриваться в качестве соответствующих критериев повышенной рудной специализации данных районов ОД на Au.

СЕРЕБРО. Содержания Ag (табл. 4–5) изучались нами в 69 пробах вулканитов 16 вулканов Курильской ОД, и они по сравнению с Au хотя и гораздо менее, но тоже заметно варьируют, от 29 до 110 мг/т (т.е. почти в 4 раза). При этом, во всем ряду изученных вулканитов от базальтов до риодацитов могут проявляться повышенные содержания Ag при

весьма близких интервалах средних содержаний элемента, соответственно 31–80 мг/т – в базальтах, 29–95 мг/т – в андезибазальтах, 31–80 мг/т – в андезитах и 40–82 мг/т – в дацитах и риодацитах. Эти содержания ниже кларковых (100 мг/т) для основных пород по А.П.Виноградову и в обе стороны варьируют от кларковых для пород среднего состава (70 мг/т). Только в дацитах и риодацитах они либо близки, либо превышают кларковые для пород кислого состава (50 мг/т).

В целом, данные содержания Ag либо близки, либо, по большей мере, ниже, чем таковые для мелпалеогеновых вулканитов базальт–андезитового ряда всех свит Малой Курильской гряды [8] (в толеитовых и известково-щелочных базальтах – 70–140 мг/т, в андезитах – 90 мг/т, в шошонитах – 230 мг/т) и пермь-триасовых долеритов траппов Сибирской платформы (78–94 мг/т, по [19]). При этом, они, по большей мере, выше, чем таковые в базальтах Северного (21–22 мг/т) и Южного (33–44 мг/т) прорывов Толбачинского извержения на Камчатке [5].

В четвертичных базальтах вулканов фронтальной зоны Курильской ОД несколько пониженные содержания Ag, как и Au, проявлены в их плагиофировых разностях (32 против 38–48 мг/т, кальдера Львиная пасть).

В изученных нами эволюционных рядах (11) вулканитов Курильской ОД от базальтов к андезитах однонаправленное изменение средних содержаний Ag выявлено только 2 раза: в 1-м случае это было слабое их увеличение (вулкан Б.Хмельницкого), а во 2-м – уменьшение (вулкан П6.3). В 7 случаях от базальтов к андезибазальтам отмечается некоторое их уменьшение, а к андезитах – некоторое увеличение, причем в 4 случаях в андезитах они выше, чем в базальтах, а в 2-х случаях – близки. В 2-х случаях (вулканы Чикурачки, Невельского) к андезибазальтам сначала отмечалось их увеличение, а потом –

Таблица 4. Распределение Ag (мг/т) и Ge (г/т) в четвертичных вулканах Курильской островной дуги.

Профиль, номер и название вулкана	Базальты						Андезибазальты						Андезиты					
	Ag		Ge		Ag		Ge		Ag		Ge		Ag		Ge			
	п	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	п	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее	п	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее			
Н8.0.3 Львиная пасть Н8.0.2 Алсопури Среднее по участку	2	32-38	35	1.1-1.5	1.3	2	32-35	34	1.3-1.7	1.5	3	42-59	48	1.1-1.5	1.3			
	2	38-48	43	1.4-1.5	1.4	1	-	53	-	1.4	-	-	-	-	-			
	4	-	39	1.4	1.4	3	-	44	-	1.4	3	-	48	-	1.3			
	Северные Курилы																	
Н4.5	2	50-70	60	<1.0-1.4	<1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Н1.0.3 Чукурачки	2	80-90	85	<1.0	<1.0	2	80-110	95	>1.0-1.6	>1.3	1	-	80	-	<1.0			
Среднее по участку	4	-	72	<1.1	<1.1	2	-	95	-	>1.3	1	-	80	-	<1.0			
Среднее по зоне	8	-	56	<1.2	<1.2	5	-	70	-	>1.4	4	-	64	-	<1.2			
Промежуточная зона																		
Южные Курилы																		
Н8.4 Крылатка	1	-	53	-	1.5	1	-	40	-	1.1	1	-	59	-	1.1			
Н7.0.2 Чирип	1	-	38	-	1.4	1	-	29	-	1.4	1	-	51	-	1.3			
Н7.0.3 Б.Хмельницкого	1	-	31	-	1.3	1	-	54	-	1.3	1	-	56	-	0.9			
Среднее по участку	3	-	41	-	1.4	3	-	41	-	1.3	3	-	55	-	1.1			
Н1.0.4 Фусса	2	70-90	80	1.1-1.2	1.2	2	40-50	45	<1.0-1.4	<1.2	2	60-70	65	<1.0-1.2	<1.1			
Среднее по зоне	5	-	60	1.3	1.3	5	-	43	-	<1.2	5	-	60	-	<1.1			
Тыловая зона																		
Южные Курилы																		
Н8.1 Невельского	2	36-42	39	1.2-1.5	1.4	1	-	58	-	1.1	1	-	32	-	<1.0			
Н8.2	2	32-41	36	1.3-1.3	1.3	1	-	34	-	1.0	1	-	39	-	<1.0			
Н8.8	-	-	-	-	-	1	-	42	-	1.2	-	-	-	-	-			
Н8.10	1	-	31	-	1.7	1	-	29	-	1.2	1	-	31	-	1.3			
Н8.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	32	-	1.2			
Н8.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	31	-	1.1			
Среднее по участку	5	-	35	-	1.5	4	-	41	-	1.1	5	-	33	-	<1.1			
Н6.3	5	40-110	66	<1.0-1.4	<1.1	2	50-70	60	1.1-1.1	1.1	2	40-40	40	1.4-1.4	1.4			
Н1.0.5 Анциферова	3	70-90	80	<1.0-1.2	<1.1	3	40-70	57	1.0-1.4	1.2	2	80-80	80	1.1-1.2	1.2			
Среднее по зоне	13	-	60	<1.2	<1.2	9	-	53	-	1.1	9	-	51	-	<1.2			

Таблица 5. Распределение Ag и Ge в четвертичных дацитах и риодацитах Курильской островной дуги.

Профиль, номер и название вулкана	Дациты и риодациты				
	Ag (мг/т)			Ge (г/т)	
	n	Интервал	Среднее	Интервал	Среднее
Фронтальная зона Южных Курил					
П8.0.3 Львиная пасть	2	41–45	43	<1.0	<1.0
Тыловая зона Южных Курил					
П8.8	1	–	82	–	<1.0
П8.14	1	–	53	–	<1.0
П8.17	2	36–44	40	<1.0	<1.0
Среднее по участку	6		58		<1.0

уменьшение до минимума. В дацитах кальдеры Львиная пасть, единственного вулкана фронтальной зоны, где содержания Ag нами были изучены в кислых породах, среднее содержание Ag близко таковому в андезитах, которое заметно повышено относительно более мафических образований того же вулкана. При этом, в 2-х из 3-х вулканов тыловой зоны средние содержания Ag в ~ 1.5 раза возрастают от андезитов к дацитам (риодацитам), а в 1-м случае, где андезиты не изучались, вдвое возрастают от андезибазальтов до дацитов. Таким образом, в пределах отдельных вулканов Курильской ОД средние содержания Ag в кислых породах обычно наиболее высоки.

Средние содержания Ag в изученных вулканах базальт–андезитового ряда разных продольных зон Южных Курил однозначно понижены относительно таковых Северных Курил, причем наиболее заметно (в ~2 раза) в базальтах, а также во всех породах фронтальной зоны данного участка. В целом же, во всех продольных зонах вулканизма Курильской ОД для этих пород они остаются весьма близкими, и четкой однонаправленной поперечной зональности не улавливается как по вулканитам отдельных профилей, так и частей Курил, а соответственно и по всем Курилам в целом. Отметим лишь их совсем слабое постепенное уменьшение в андезитах (от 64 до 51 мг/т) и увеличение в дацитах (от 43 до 58 мг/т) к тыловой зоне ОД.

Учитывая нередко проявляющуюся в магматическом процессе связь Ag с Au, отметим, что в 5 из 9 изученных эволюционных рядов вулканитов Курил от базальтов до андезибазальтов значения Ag/Au увеличиваются (во фронтальной зоне только в 1-ном из 3-х рядов, в промежуточной – в 1-ном из 2-х рядов, а в тыловой – в 3-х из 4-х рядов) и только в 3-х

рядах уменьшаются. При этом, они увеличиваются в 6 из 9 изученных андезибазальт–андезитовых рядов: во фронтальной зоне во всех рядах, в промежуточной – в 3-х из 4-х рядов, а в тыловой – в 1-ном из 2-х рядов. В рядах от базальтов до андезитов (5) однонаправленного изменения значений Ag/Au отношения не выявлено. Практически во всех случаях отмечается сначала некоторое их уменьшение, а затем – увеличение, причем в андезитах они в основном выше (в 3-х случаях), чем в базальтах. Во всех дацитах (2 пробы) эти значения одни из самых высоких (72–86). Исходя из выявленного, можно полагать, что к андезитам и более салическим вулканитам (т.е. по мере увеличения в породах содержаний SiO_2 и K_2O) значения отношения Ag/Au в них имеют тенденцию возрастать, отражая накопление в этом процессе Ag по отношению к Au.

Кроме того, максимальные значения Ag/Au (100–212), как и максимальные средние содержания Ag, выявлены во всем ряду вулканитов самого северного (Алаидского) профиля Курил. Это может указывать на проявление в этом районе именно Ag-рудно-геохимической специализации.

ГЕРМАНИЙ изучался в 69 пробах вулканитов (табл. 4–5) и распределен в них довольно равномерно. Его содержания варьируют лишь в интервале от <1.0 до 1.7 г/т (т.е. почти в том же интервале, 0.7–2.2 г/т, как и в мел–палеогеновых вулканитах Малой Курильской гряды [8]), будучи либо близкими, либо ниже кларковых для основных и средних пород (1.5 г/т) по А.П.Виноградову. Большинство самых высоких содержаний Ge и самые широкие интервалы его средних содержаний проявлены в базальтах (<1.0–1.7 г/т) и андезибазальтах (1.0–1.5 г/т). Несколько “уже” этот интервал в андезитах (<1.0–1.4 г/т). Минимальные содержания Ge выявлены в дацитах и риодацитах (<1.0 г/т), они всегда ниже кларковых для кислых пород (1.4 г/т).

В изученных эволюционных сериях вулканитов Курил (11) от базальтов к андезитам средние содержания Ge в 1-ном случае (вулкан 6.3) увеличиваются, в 4-х случаях остаются почти без изменения, а в 6-ти случаях постепенно уменьшаются, что продолжается и далее до их минимальных значений в дацитах и риодацитах. Таким образом, с увеличением SiO_2 в рядах вулканитов Курил имеется некоторая тенденция к уменьшению содержаний германия.

С другой стороны, средние содержания Ge в вулканитах базальт–андезитового ряда почти во всех продольных зонах Южных Курил однозначно понижены относительно таковых Северных Курил (только в андезибазальтах и андезитах тыловой зоны этих частей Курил они близки). При этом, в среднем по этим породам всех продольных зон вулканизма Курильской ОД они остаются весь-

ма близкими, и четкой поперечной зональности не улавливается как в пределах отдельных профилей, так и частей Курил, а соответственно и всех Курил в целом. Последнее несколько отличается от тенденции, выявленной среди вулканитов Малой Курильской гряды [8], где среди наиболее мафических вулканитов средние содержания Ge в наиболее щелочных шохонитах малокурильской свиты (1.6 г/т) повышены относительно таковых в толеитовых и известково-щелочных базальтах (1.1 г/т) региона.

ГАЛЛИЙ, изучавшийся только в 39 пробах вулканитов 11 вулканов Южных Курил, распределен наиболее равномерно (табл. 6). Его содержания варьируют лишь в интервале 11–21 г/т, будучи либо близкими к кларковым (18–20 г/т) для основных, средних и кислых магматических пород по А.П.Виноградову, либо несколько ниже их. При этом, слабоповышенные содержания Ga почти в равной степени свойственны всем типам изученных вулканитов региона, в которых интервалы их средних содержаний весьма близки: 11–21 г/т в базальтах и андезибазальтах, 12–20 г/т в андезитах, дацитах и риодацитах.

В изученных нами эволюционных рядах (7) вулканитов от базальтов к андезитам средние содержания Ga постепенно увеличиваются в 3-х случаях, уменьшаются в 1-ом случае, в 1-ом случае остаются почти на одном уровне и в 2-х случаях – распределены незакономерно. При этом, в дацитах и риодацитах отдельных вулканов они обычно максимальны.

Это позволяет полагать, что с увеличением кремнезема в породах отдельных вулканов Курил проявляется некоторая общая тенденция к слабому обогащению галлием.

Средние содержания Ga в базальтах (15 г/т) и андезибазальтах (16 г/т) фронтальной зоны Курил чуть понижены относительно таковых в этих же породах промежуточной и тыловой зон (соответственно 16 и 18 г/т), в андезитах же к тыловым зонам они наоборот слабо уменьшаются (от 17 до 15 г/т). Таким образом, по распределению Ga в вулканитах Курильской ОД намечается как прямая, так и обратная поперечная зональность.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как показано многочисленными исследованиями, распределение Au и Ag на ранних стадиях эволюции базитовых расплавов, характеризующихся наиболее восстановительными условиями, определяется преобладающим проявлением их халькофильных свойств, то есть связью с серой, а на поздних, при повышении окислительного потенциала в магмах, – их связью с другими летучими компонентами и прежде всего с хлором [3, 6, 10, 13–16, 18, 19, 22, 24–27]. Так, Au и Ag в виде комплексных соединений с S и Cl могут не только мигрировать в пределах магматических камер, но и покидать расплав в составе водных магматических флюидов и газов. При этом, если поведение Au в магматическом процессе во многом определяется еще и сильными сидерофиль-

Таблица 6. Распределение Ga (г/т) в четвертичных вулканических образованиях Южной части Курильской островной дуги.

Профиль, номер и название вулкана	Базальты			Андезибазальты			Андезиты			Дациты (П8.14 г-д)		
	n	Интервал	Среднее	n	Интервал	Среднее	n	Интервал	Среднее	n	Интервал	Среднее
Фронтальная зона												
Н8.0.3 (Львиная пасть)	2	12–15	14	2	16–16	16	3	16–20	17	2	17–17	17
Н8.0.2 (Атсонупури)	2	15–18	16	1	–	17	–	–	–	–	–	–
Среднее по участку	4		15	3		16	3		17	2		17
Промежуточная зона												
П8.4 (Крылатка)	1	–	20	1	–	16	1	–	14			
Н7.0.2 (Чирип)	1	–	16	1	–	17	1	–	18			
Н7.0.3 (Хмельницкого)	1	–	11	1	–	21	1	–	14			
Среднее по участку	3		16	3		18	3		15			
Тыловая зона												
П8.1 (Невельского)	2	15–16	16	1	–	21	1	–	14	–	–	–
П8.2	2	14–18	16	1	–	13	1	–	14	–	–	–
П8.8	–	–	–	1	–	18	–	–	–	1	–	20
П8.10	1	–	17	1	–	18	1	–	19	–	–	–
П8.14	–	–	–	–	–	–	1	–	13	1	–	12
П8.17	–	–	–	–	–	–	1	–	16	2	15–19	17
Среднее по участку	5		16	4		18	5		15	4		16

ными свойствами элемента, то есть связью с железом – его основным элементом модификатором [14], то для поведения Ag дополнительным важным свойством является значительная реакция на изменение кислотности–щелочности среды [15, 22, 25].

К сожалению, для изученных здесь четвертичных вулканитов у нас пока не имеется возможности провести строгий количественный анализ связи Au и Ag с S и Cl ввиду отсутствия данных по их распределению в одних и тех же породах (что является задачей ближайшего времени). В то же время, во многом отмеченные выше положения подтверждаются при анализе составов общей совокупности магматических образований Курильской ОД на основании хотя и небольших, но имеющихся литературных материалов, в том числе и наших. Так, с учетом данных по распределению S и Cl в четвертичных вулканитах нескольких построек фронтальной зоны вулканизма Курил [7] и в мел–палеогеновых вулканитах Малой Курильской гряды [8], концентрации этих элементов даже в породах близкой основности и щелочности могут заметно варьировать. При этом, содержания серы часто изменяются прямо пропорционально концентрациям Ag и, особенно, Au [8]. Эти же данные [7, 8] подтверждают важную роль серы в магмах на всех этапах их эволюции и несколько повышенную роль хлора в магмах на ее поздних этапах. Отмеченное, скорее всего, является отражением связи данных элементов во время камерной дифференциации расплавов и возможности их потери при определенных тектонических условиях. Соответственно, и в предложенной здесь статье выявленный нами характер распределения содержаний Au и Ag в четвертичных вулканитах Курил, которые часто подвержены весьма значительным колебаниям в слабой зависимости (или вне всякой зависимости) от их кремнеземистости, наиболее хорошо увязываются именно со сложным режимом летучих компонентов, и прежде всего, S и Cl в магматических системах.

Известно, что эволюция магм в вулканических процессах не всегда происходит в закрытой системе, так как магматические камеры могут неоднократно «приоткрываться» при тектонических подвижках, включая и связанные с ними извержения магм. Это может приводить к неоднократному и в разной степени интенсивному сбросу летучих компонентов из расплавов. Там же, где данный сброс наиболее интенсивен, т.е. тектоническая активность максимальна, это, скорее всего, должно приводить и к наиболее заметному обеднению магм золотом и серебром. Одним из наглядных подтверждений этого процесса может служить то, что плагиофировые разности базальтов и андезибазальтов, которые, судя по [20], являются отражением «осушения» натровых толеитовых базальтовых расплавов фронтальной зоны вул-

канизма Курильской ОД, обычно характеризуются и минимальными содержаниями Au и Ag.

Таким образом, более часто наблюдаемые высокие содержания Au в базальтах фронтальной зоны Курильской ОД во многом, скорее всего, связаны с наличием под этой территорией наиболее крупных и долгоживущих магматических камер, где процессы эманационного накопления золота вместе с серой могли проявляться наиболее отчетливо. С другой стороны, основной причиной выявленного «крупномасштабного» изменения золотоносности базальтоидов в пределах Курильской ОД, а именно закономерного увеличения средних содержаний Au в наименее щелочных базальтах фронтальной зоны вулканизма ОД относительно более высокощелочных тыловых базальтов, а также некоторого общего обогащения золотом базальтоидов Южной части Курил относительно таковых Северной (независимого от вулканической зоны локализации), по большей мере, скорее всего, обусловлено некоторой изначальной обогащенностью золотом на этих участках ОД магмогенерирующего мантийного субстрата.

Повышенная щелочность базальтоидов и их локализация в тыловой зоне ОД не всегда являются достаточными критериями того, что данные базальтоиды должны быть именно минимально обогащенными золотом (табл. 2). Так, в центре Курильской ОД в зоне ее «перегиба» (пролив Буссоль), несмотря на то, что от фронта вулканизма к его тылу в базальтах также отмечается некоторое обеднение золотом, в то же время, все они (независимо от зоны локализации) являются максимально «золотоносными» по региону. При этом, средние содержания Au в наиболее щелочных тыловых базальтоидах здесь превышают таковые в базальтах фронтальной зоны ОД (как в целом, так и на отдельных участках). Данный факт, на наш взгляд, может указывать на наиболее сложные тектоно-магматические процессы в данной поперечной зоне. К тому же, это позволяет нам полагать, что отмеченную поперечную зону Курильской ОД (как и подобные ей другие поперечные зоны на других участках дуги) можно рассматривать как типичную рифтогенную зону, где обогащенность золотом вулканитов может быть обусловлена неоднократным подтоком обогащенного золотом и т.п. вещества (как магм, так и флюидных потоков) с глубин иного, более высокого уровня за счет процессов, вызванных подъемом мантийного диапира.

Проявление повышенных средних содержаний Au в андезитах тыловой зоны Курильской ОД по сравнению с андезитами фронтальной может объясняться по-разному. При этом, наиболее проблематичными объяснениями, на наш взгляд, выглядят те, которые связаны с дифференциацией базальтоидных магм различной щелочности. Так, если принять фор-

мирование всех андезитов региона в результате камерной дифференциации базальтовых магм, то во фронтальной зоне в ходе этого процесса наиболее поздние низкощелочные андезитовые магмы могут как обедняться золотом (учитывая предполагаемую возможность его максимального сброса в условиях повышенной тектонической активности региона), так и обогащаться этим элементом (ввиду возможности значительных эманаций Au в верхние горизонты дифференцирующих базальтоидных магм в магматической камере, где и формируются андезиты).

С повышением щелочности в расплавах должна возрастать и активность железа – основного модификатора золота. Поэтому, по мере дифференциации и кристаллизации более щелочных и обычно менее золотоносных мафических магм тыловой зоны, Au несколько более активно фиксируется именно в ранних Fe-минералах [6]. Соответственно, Au в меньшей степени имеет возможность выноситься из этих расплавов в составе газовой-флюидной фазы (чему способствует здесь и несколько меньшая тектоническая активность региона). При этом, если данный процесс в какой-то степени и может привести к некоторому частичному выравниванию средних содержаний Au в тыловых базальтах относительно изначально несколько более обогащенных базальтоидов фронтальной зоны ОД, то он никак не может привести не только к какому-то значительному обогащению золотом поздних андезитовых дифференциатов базальтоидных магм, но и к обогащению их золотом вообще. К тому же, обеднение золотом высокощелочных андезитов в этом случае скорее должно быть проявлено даже в большей степени, чем в их низкощелочных разностях, а это, соответственно, не может привести к выявленной нами “обратной” поперечной зональности распределения Au в андезитах ОД.

С другой стороны, происхождение большей части магм средней основности также может объясняться смешением мантийных базальтоидных и салических коровых расплавов. В этом случае, обогащение андезитов золотом в тыловой зоне вулканизма Курильской ОД может быть обусловлено тем, что салические магмы, а также и их коровый магмогенерирующий субстрат здесь были в соответствующей степени более богаты золотом, чем во фронтальной зоне. Учитывая, что в салических вулканиках тыловой зоны Курил повышенные концентрации Au выявлены чаще, чем в таковых фронтальной зоны (табл. 3), данное предположение пока кажется нам наиболее приемлемым, хотя оно конечно же (в силу весьма ограниченных сведений по золотоносности кремнекислых вулкаников региона) требует дальнейшего более представительного исследования и доказательства.

Здесь же добавим, что последнее исследование должно учитывать и то, что проявление повышенных концентраций Au в некоторых пемзовых и экстрезивных дацитах по сравнению с обычно низкими содержаниями элемента в наиболее салических риодацитовых и риолитовых разностях может быть обусловлено, как и в случае с андезитами, смешением Au-обогащенных мафических и Au-обедненных салических магм.

Отсутствие уменьшения содержаний Ag в вулканиках от фронта к тылу Курильской ОД (в отличие от распределения Au), на наш взгляд, может объясняться прежде всего однородностью в отношении Ag мантийного субстрата, из которого происходили базальтоидные выплавки различной щелочности. При этом, в низкощелочных магмах фронтальной зоны дуги (ввиду наибольших размеров здесь магматических камер и наиболее интенсивной тектонической обстановки) имеются повышенные возможности эманационного накопления Ag.

Как известно [12,17 и др.], основным фактором, определяющим геохимическую специализацию и потенциальную рудоносность магматических систем является способность расплавов к эманационному накоплению рудных элементов и сбросу их из расплавов вместе с водными флюидами, благодаря чему могут формироваться рудопроявления и даже месторождения этих элементов. Понятно, что данная способность для разнообразных магматических комплексов в отношении различных элементов может значительно отличаться, так как определяется большим количеством причин, в том числе: общим петрохимическим составом расплавов и насыщенностью их соответствующими летучими и рудными компонентами, мобильностью этих компонентов в расплавах, всем комплексом физико-химических условий эволюции расплавов, а также тектонической активностью региона магматизма.

Учитывая вышесказанное, следует признать, что наименее щелочные четвертичные базальтоидные магмы фронтальной зоны Курильской ОД, так же как и наименее щелочные меловые базальтоидные магмы матакотанской свиты Малой Курильской гряды, в продуктах кристаллизации которых проявлена высокая дисперсия концентраций Au (а также S, по [8]) при, в среднем, максимальной и вышекларковой обогащенности пород этими элементами, имели высокий потенциал как к эманационной миграции и накоплению Au, так и к обогащению им отделяющихся из расплавов насыщенных серой флюидов. Соответственно, эти магмы и прежде всего четвертичные образования фронтальной зоны, где проявлена наибольшая тектоническая активность (т.е. здесь может проявиться максимальное отделение Au вместе с газовыми эманациями, а затем и его наи-

большее концентрирование на геохимических барьерах), без сомнения, обладают геохимической специализацией на Au и, скорее всего, могут являться потенциально рудоносными на этот элемент. Это и подтверждается наличием на некоторых островах фронта вулканизма Курильской ОД месторождений и рудопроявлений золота.

В целом несколько повышенные содержания Au в базальтах и андезитобазальтах Южных и, прежде всего, Центральных Курил (с примыкающим к последним с севера профилем пролива Диана) могут рассматриваться в качестве дополнительного критерия повышенной золоторудной специализации данных районов относительно Северных Курил.

С другой стороны, почти всегда низкие (ниже кларковых) концентрации Ag во всем ряду четвертичных вулкаников Курильской ОД не позволяют предполагать какую-либо высокую их рудно-геохимическую специализацию на этот элемент по всему региону. В то же время, проявление максимальных средних содержаний Ag в вулканиках всех зон Северных Курил и особенно самого северного их профиля относительно таковых Южных Курил может указывать на то, что первые (в противоположность вулканикам, специализированным на Au) характеризуются повышенной Ag-рудно-геохимической специализацией.

Ge и Ga весьма близки по своему атомному строению и являются наиболее характерными рассеянными элементами [11]. В эндогенных процессах оба этих элемента в некоторой степени проявляют сидерофильные и халькофильные свойства и способны к образованию фторкомплексов [11, 21]. При этом, ввиду наибольшей кристаллохимической близости Ge к Si, а Ga к Al, их главным свойством является способность к кристаллохимическому рассеянию.

Во всех изученных вулканиках Курильской ОД содержания Ge и Ga крайне низки и весьма слабо варьируют. Они нигде в достаточной степени не обогащают собой продукты как ранних, так и поздних, более салических фаз эволюции расплавов. Это указывает на весьма низкую способность магм региона к эманационному накоплению этих элементов. Следовательно, эти магмы, скорее всего, не являются геохимически специализированными на Ge и Ga. Судя по [2], выявленная тенденция к некоторому обогащению галлием базальтов фронтальной зоны вулканизма Курил по сравнению с базальтами их тыловой зоны, скорее всего, определяется общей повышенной глиноземистостью первых.

Работа над статьей проводилась при поддержке РФФИ (грант 95-05-15363).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахманов А.И., Федорченко В.И. Закономерности распределения некоторых редких (Sc, Zr, Y) и рудных (Cu, Au) элементов в четвертичных лавах Курильских островов // Вулканология и сейсмология. 1984. № 6. С.55–66.
2. Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Волюнец О.Н. и др. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992.
3. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. Геохимия серы в процессе эволюции основных магм. М.: Наука, 1982.
4. Аношин Г.Н. Золото в магматических горных породах. Новосибирск: Наука, 1977. 207 с.
5. Аношин Г.Н., Волюнец О.Н., Флеров Г.Б. К геохимии золота и серебра в базальтах Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. // Докл. АН СССР. 1982. Т.264. № 1. С.195–197.
6. Антонов А.Ю., Кузьмин М.И., Хлебникова А.А. Распределение золота в мезозойских гранитоидах Станового хребта // Геология и геофизика. 1980. № 9. С.68–78.
7. Антонов А.Ю., Волюнец О.Н., Королева Г.П., Чернигова С.Е., Хлебникова А.А. Золото в четвертичных вулканиках Курильской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 1992. № 2. С.19–29.
8. Антонов А.Ю. Геохимия Au, Ag, Ge, W и S в мел-палеогеновых магматических образованиях Малой Курильской гряды // Тихоокеан. геология. 1997. Т.16. № 1. С.21–31.
9. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1976. 287 с.
10. Гундобин Г.М., Захаров М.Н., Легейдо В.А., Петров Л.Л. Золото и серебро на позднемагматическом и постмагматическом этапах становления гранитоидных интрузий // Геология и геофизика. 1980. № 11. С.138–142.
11. Комплексные месторождения халькофильных редких элементов. М.: Недра, 1982. С.71–107.
12. Ломоносов И.С., Королева Г.П., Стефанов Ю.М. Теория и практика геохимических методов поисков в областях новейшего вулканизма // Современные проблемы теоретической и прикладной геохимии. Новосибирск: Наука, 1987. С.182–191.
13. Миронов А.Г., Жатнуев Н.С., Канакин С.В. Поведение золота и серебра при взаимодействии базальтового стекла с флюидом (по экспериментальным данным) // Докл. АН СССР. 1988. Т. 300, № 2. С.439–443
14. Миронов А.Г., Альмухамедов А.И., Гелетий В.Ф. и др. Экспериментальные исследования геохимии золота с помощью метода радиоизотопных индикаторов. Новосибирск: Наука, 1989.
15. Моисеенко В.Г., Михайлов М.А., Сахно В.Г. Поведение золота и серебра при осадконакоплении, вулканизме и метаморфизме. Новосибирск: Наука, 1974.
16. Рябчиков И.Д., Орлова Г.П. Золото в магматических флюидах // Физико-химические модели петрогенезиса и рудообразования. Новосибирск, 1984. С.103–111.
17. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 280 с.
18. Трошин Ю.П., Гребенщикова В.И., Антонов А.Ю. Летучие компоненты в биотитах и металлогеническая спе-

- циализация интрузий // Минералогические критерии оценки рудоносности эндогенных процессов. Л., 1982. С.74–83.
- 19.Феоктистов Г.Д., Сизых Ю.И., Новиков В.М. Распределение серебра в траппах юга Сибирской платформы // Геохимия. 1989. № 9. С. 1354–1359.
- 20.Фролова Т.И., Бурикова И.А., Гущин А.В. и др. Происхождение вулканических серий островных дуг. М.: Недра, 1985.
- 21.Bernstein Lawrence R. Germanium geochemistry and mineralogy // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1985. V. 49, N 11. P.2409–2422.
- 22.Boyle R.W. The geochemistry of silver and its deposits with notes on geochemical prospecting for the elements // *Bull. Geol. Surv. Canada*. 1968. N 60. 264 p.
- 23.Gottfried D., Rowe J.J., Tilling R.T. Distribution of gold in igneous rocks // *US Geol. Surv. Prof. Paper*. 1972. V. 727. 42 p.
- 24.Haughton D.R., Roeder P.L., Skinner B.J. Solubility of sulfur in mafic magmas // *Econ. Geology*. 1974. V. 69, N 4. P.451–467.
- 25.Liang Xiangji, Qiao Li. Experimental study about the activation and migration of gold and silver in volcanic rocks // *Water-Rock Interact: Proc. 6th Int. Symp.*, Malvern, 3–8 Aug., 1989; WRI-6. Rotterdam; Brookfield. 1989. P.785–788.
- 26.Manning D.A.C. Volatile control of tungsten partitioning in granitic melt – vapour systems // *Trans. Inst. Mining and Met.* 1984. B 93. Nov. P.185–189.
27. Nekrasov I.Ya. The distribution of silver between fluid and genesis of volcanogenic gold-silver deposits // *Meth. Geohem.Prospect: Int.Symp.Geochem.Prospect*, Prague, 1990; Extend Abstr. Prague. 1990. P.186.

Поступила в редакцию 12 октября 1998 г.

Рекомендована к печати А.И.Ханчуком

A.Yu. Antonov

Geochemistry of Au, Ag, Ge, Ga in the Quaternary volcanic rocks of the Kurile island arc

Au, Ag, Ge, and Ga distribution was investigated in volcanites of different acidity from 50 surface and submarine Quaternary volcanoes across and along the entire strike of the Kurile island arc (IA). The average Au-concentrations (as opposed to Ag) in the basalts gradually decrease from the frontal zone to the rear volcanic zone of the Kurile IA, while in the andesites they increase. In the basalts it is most likely conditioned by the maximum saturation of the mantle magma-generating substrate in its frontal zone. The "reverse" zoning in the Kuril andesites can be explained only in the case when most of these rocks are the result of a mixture of the mantle basaltoid and crustal salic magmas. This indicates a greater Au-saturation of the crustal magma-generating substrate in the IA rear volcanic zone. Basalts of all zones in the "bend" part of the Kurile IA center are maximally Au-saturated. The maximum average variations of Au-concentration are often found in the basalts, less often - in andesibasalts, still less often - in andesites. The composition of volcanites depends on the Au- and Ag-saturation of the initial magmas and on their saturation in volatiles (primarily, S and Cl). A decrease in magma alkalinity assists emanation accumulation and intensity of Au- and Ag removal from the melt with volatiles, and determines its increased ore-generating potential of these elements. A great number of causes stipulated almost uniform Ge- and Ga dispersion at all stages of magma evolution.

Thus, the frontal zone of volcanism of the Kurile island arc and also the entire transverse "bend" zone of the IA center are most favorable for ore occurrences. The noticeable Ag-Ge-enrichment and Au-impoverishment of North Kurile volcanic rocks as opposed to South Kurile rocks reflect a different Ag-Ge specialisation of these regions.