

УДК 550.42

© 1992 г. А.Ю. АНТОНОВ, О.Н. ВОЛЫНЕЦ, Г.П. КОРОЛЕВА,  
СЕ. ЧЕРНИГОВА, А.А. ХЛЕБНИКОВА

**ЗОЛОТО В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИТАХ  
КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ**

Впервые на достаточно представительном уровне рассмотрены особенности распределения золота в четвертичных вулканитах разных вулканических зон южной и центральной частей Курильской островной дуги (205 проб с 29 в разной степени дифференцированных вулканов, в том числе 19 подводных). Установлено, что хотя распределение Au в породах во многих случаях может прямо коррелироваться с их основностью и меланократовостью, в наибольшей степени оно зависит от насыщения родоначальных магм летучими компонентами (например, S и Cl). Выявлены различия в характере распределения Au в вулканитах разных зон Курильской островной дуги (ОД), которые в достаточной мере могут быть увязаны с различиями родоначальных магм по щелочности и, на наш взгляд, с различной тектонической активностью этих зон ОД, ответственной за ту или иную возможность интенсивного выноса Au из расплавов вместе с летучими. Эти различия являются важными признаками при оценке территории на ее потенциальную золотоносность, в связи с чем фронтальная зона вулканизма Курильской ОД (где проявлена наиболее долговременная и повышенная тектоническая активность, а лавы характеризуются обычно минимальной щелочностью) может рассматриваться как наиболее благоприятная для формирования золоторудных проявлений и месторождений.

GOLD IN QUATERNARY VOLCANICS FROM KURILES, by Antonov A.Yu.\*, Volynets O.N.\*\*, Koroleva G.P.\*, Chernigova S.E.\* and Khlebnikova A.A.\* For the first time we studied the features of distribution of gold in Quaternary volcanics from different volcanic zones of the south and central parts of the Kurile island arc (205 samples from 29 volcanoes including 19 submarine volcanoes). It has been established that though the distribution of Au in rocks in many cases is directly correlated with their alkalinity and melanocrativity, in greater extent it depends on the saturation of parental magmas with volatiles (e.g. S and Cl). We also revealed the differences in the distribution of gold in volcanics from different zones of the Kurile island arc which to reasonable extent can be related to difference of the parental magmas in alkalinity as well as, in our opinion, to differences in the tectonic activity of the zones of the island arc responsible for this or other intensity of Au efflux from the melt with volatiles. These differences are very important in view of potential gold-bearing estimates of the area. In this respect the frontal zone of volcanism of the Kurile island arc (characterized by longest and highest tectonic activity with lavas of minimum alkalinity) can be regarded as the most favorable for formation of gold manifestations and deposits.

(Received June 26, 1990)

\* A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch, USSR Academy of Sciences, Irkutsk, 664033, USSR

\*\* Institute of Volcanology, Far East Division, USSR Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, USSR

Геохимия Au в четвертичных вулканитах Курильской островной дуги (ОД) изучена крайне слабо, в литературе имеются лишь весьма отрывочные и малопредставительные данные, касающиеся пород только нескольких надводных вулканов, в основном главной цепи островов [1,7]. Материалы по распределению Au в продуктах подводных вулканов, формирующих обширную тыловую зону вулканизма Курильской ОД, пока не публиковались. Все это затрудняет понимание закономерностей распределения Au в ходе магматических процессов в Курильском регионе, а также возможной рудоносности данной территории на этот элемент.

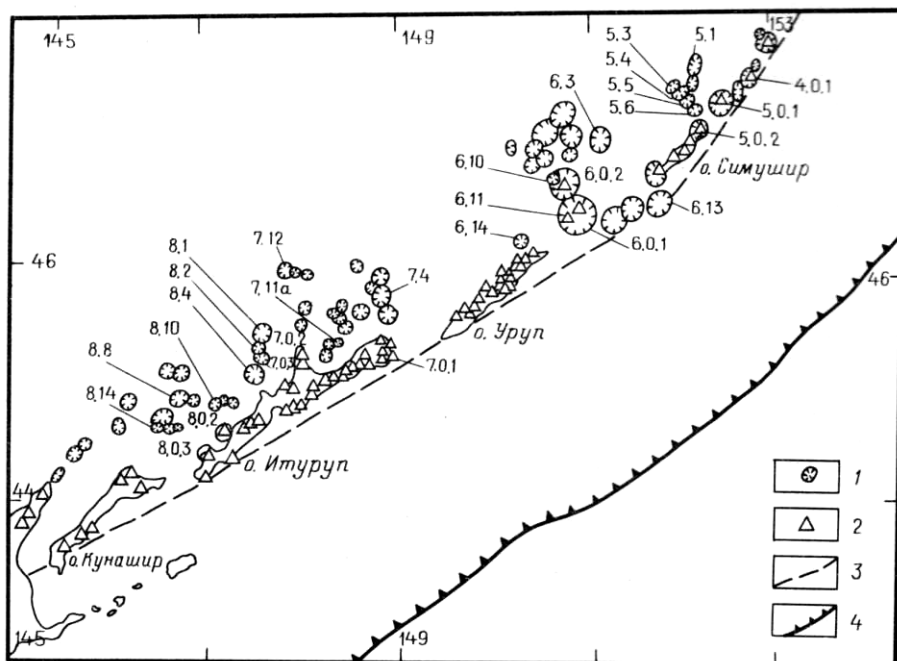


Рис. 1. Карта вулканов южной и центральной частей Курильской островной дуги. 1 — подводные вулканы; 2 — наземные вулканы; 3 — вулканический фронт; 4 — ось Курило-Камчатского глубоководного желоба. Номера подводных вулканов соответствуют каталогу [5]

К настоящему времени комплексной экспедицией институтов вулканологии ДВНЦ АН СССР, ГеоХи СО АН СССР и ИГЕМ АН СССР проведены обширные региональные работы по изучению геологического строения подводной части Курильской ОД, а также минералогии и геохимии четвертичных вулканитов этого региона. Результаты этих исследований отражены в серии опубликованных статей [2—4] и наиболее полно в коллективной монографии, находящейся в печати [5]. Во всех работах дана вещественная характеристика вулканитов более чем на 40 микроэлементов и на все главные элементы, но, несмотря на это, информация по распределению Au в породах не приведена в связи с поздним поступлением аналитических данных. Предлагаемая статья в некоторой степени восполняет этот пробел и характеризует распределение Au в породах 29 дифференцированных в разной степени вулканических построек. 19 из них — подводные, расположены во всех вулканических зонах южной и центральной частей Курильской ОД (рис. 1). Всего исследовано 205 проб.

#### Методика исследования

Определение содержаний Au в породах проводилось в Институте геохимии СО АН СССР 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 0,0002 г/т (0,2 мг/т), аналитики С.Е. Чернигова, А.А. Хлебникова.

Все результаты определения Au в единичных пробах вулканитов по каждому изученному вулкану отражены на графиках (рис. 2). Кроме того, для наиболее удобного сопоставления они обобщены в табл. 1 и 2, где приведены интервалы колебаний концентраций и средние содержания Au во всех типах пород (от базальтов до риолитов). Эти характеристики даны для отдельных вулканов и для их совокупностей, расположенных во фронтальной, промежуточной или тыловой зонах ОД,

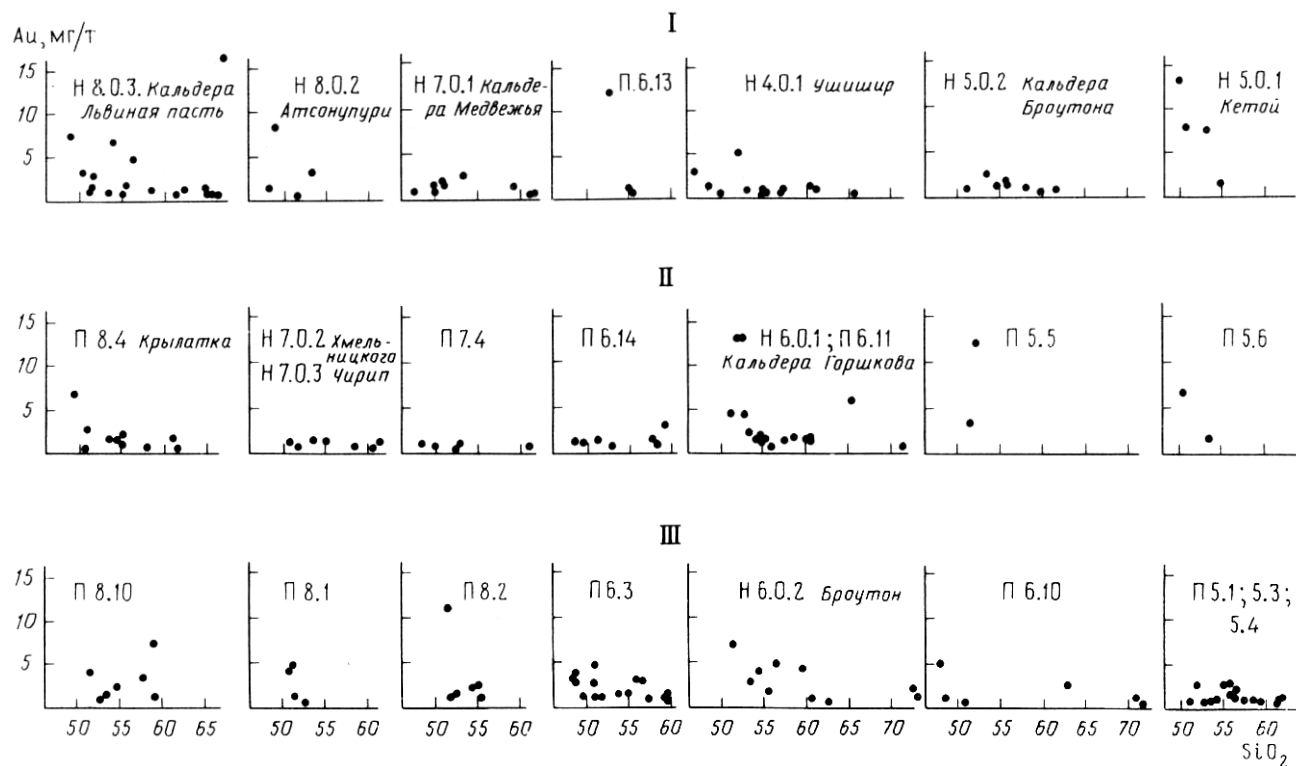


Рис. 2. Графики распределения Au и SiO<sub>2</sub> в четвертичных вулканитах отдельных вулканов Курильской островной дуги. Номера вулканов см. на Рис. 1. Буквы на номерах обозначают подводные (П) или наземные (Н) вулканы. Зоны: I — фронтальная; II — промежуточная; III — тыловая

Таблица 1

## Распределение золота в четвертичных вулканах базальт-андезитового ряда различных зон Курильской островной дуги, мг/т

Зона ОД	Номер и название вулкана	Базальты			Андезитобазальты			Андезиты		
		распределение Au								
		n	интервал	среднее	n	интервал	среднее	n	интервал	среднее
Фронтальная	H8.0.3 Кальдера Львиная пасть	5	0,72 — 7,00	2,88	5	0,48 — 6,60	2,80	3	0,40 — 0,90	0,70
	H8.0.2 Атсонупури	3	0,32 — 8,00	3,21	1	—	2,80	—	—	—
	H7.0.1 Кальдера Медвежья	5	0,58 — 1,80	1,26	1	—	2,40	3	0,29 — 1,20	0,67
	П6.1.3	1	—	11,70	2	0,40 — 1,08	0,74	—	—	—
	H5.0.2 Кальдера Броутона	1	—	1,04	4	1,48 — 2,50	1,78	3	0,32 — 1,06	0,69
	H5.0.1 Кетой	3	7,80 — 13,00	9,53	1	—	1,52	—	—	—
	H4.0.1 Ушишир	4	0,63 — 5,00	2,47	4	0,53 — 1,00	0,75	5	0,60 — 1,20	0,89
	Среднее по зоне	22	—	4,58	18	—	1,83	14	—	0,74
Промежуточная	П8.4 Крылатка	3	0,26 — 6,46	3,13	4	0,90 — 2,08	1,56	3	0,34 — 1,70	0,88
	H7.0.2 Чирип	1	—	1,00	1	—	1,07	2	0,60 — 0,60	0,60
	H7.0.3 Богдана Хмельницкого	1	—	0,53	2	1,08 — 1,40	1,24	1	—	1,00
	П7.11	—	—	—	2	0,96 — 1,20	1,08	3	0,58 — 2,82	1,40
	П7.4	4	0,34 — 0,58	0,46	—	—	—	2	0,60 — 0,61	0,60
	П6.14	4	0,78 — 1,20	1,03	1	—	0,52	3	0,53 — 3,00	1,74
	H6.0.1 Кальдера Горшкова	4	4,00 — 13,00	8,50	7	0,50 — 2,13	1,40	5	1,00 — 1,50	1,15
	П5.5	2	3,00 — 12,00	7,50	—	—	—	—	—	—
	П5.6	1	—	6,50	1	—	1,70	—	—	—
	Среднее по зоне	20	—	3,58	18	—	1,22	19	—	1,05
Тыловая	П8.1	4	0,54 — 4,86	2,46	—	—	—	—	—	—
	П8.2	3	0,99 — 11,25	4,51	3	0,72 — 2,20	1,64	—	—	—
	П8.10	2	0,90 — 4,00	2,45	3	1,25 — 2,30	1,78	4	1,20 — 7,60	3,42
	П8.8	—	—	—	2	0,56 — 0,90	0,73	—	—	—
	П7.12	—	—	—	—	—	—	2	0,53 — 1,30	0,92
	H6.0.2 Броутон	1	—	6,90	5	1,68 — 4,50	2,89	3	0,45 — 4,13	1,76
	П6.10	3	0,26 — 4,80	1,97	—	—	—	1	—	2,40
	П6.3	8	0,72 — 4,38	2,38	4	1,32 — 3,00	2,13	4	0,50 — 1,28	0,84
	П5.1	3	0,68 — 2,68	1,39	6	0,80 — 2,70	1,51	3	0,84 — 1,60	1,19
	П5.3	—	—	—	1	—	2,20	1	—	1,25
	П5.4	—	—	—	1	—	3,10	2	0,80 — 1,00	0,90
	Среднее по зоне	24	—	3,15	25	—	2,00	20	—	1,58

Распределение золота в четвертичных вулканитах дацит – риолитового ряда Курильской островной дуги, мг/т

Зона	Номер, название вулкана	Порода	n	Au	
				интервал	среднее
Фронтальная	Н8.0.3 Кальдера	Дацит, лавовые потоки	4	0,40 — 1,20	0,70
	Львиная пасть	Дацит, пемза	1	—	16,0
	Н4.0.1 Ушишир	Дацит, экструзия	1	—	0,50
Промежуточная	Н6.0.1 Кальдера	Дацит, пемза	1	—	5,50
	Горшкова	Риолит, пемза	1	—	0,60
Тыловая	П8.14	Дацит, экструзия I	2	0,48 — 0,74	0,61
		Дацит, экструзия II	1	—	12,60
	Н6.0.2 Броутон	Риолит, лавовые потоки	2	1,00 — 2,00	1,50
	П6.10	Риодацит, пемза	2	0,40 — 1,16	0,73

*Примечание.* Номера и условные обозначения вулканов см. на рис. 1, 2.

т.е. прослежено поведение Au по мере удаления вулканов от вулканического фронта в сторону континента и увеличения в составе вулканических продуктов общей щелочности, калиевости и т.д. [2, 3].

Для минимальной статистической оценки распределения Au в вулканитах содержания его определялись не менее чем в трех-пяти пробах пород разной кремнекислотности для каждого вулкана. Лишь для семи-восьми вулканов концентрация Au в некоторых типах пород охарактеризована по одной-двум пробам, в основном из-за недостаточного количества имеющегося каменного материала (это касается прежде всего шести подводных вулканических построек). Хотя последние данные несколько снижают качество приведенной информации, но они могут помочь в общей оценке распределения Au. Во многих случаях в связи с наложенными вторичными процессами в породах наблюдаются аномально высокие (или низкие) содержания Au, поэтому анализировались вулканиты с петрографически максимально высокой степенью сохранности. Здесь же добавим, что локализация и геологическое строение изученных надводных вулканов Курильской ОД отражены в книге Г.С. Горшкова [10], а подводных — в нашей монографии [5].

#### Фактический материал

Как следует из табл. 1, 2 и рис. 2, содержания Au в изученных вулканитах заметно варьируют: от  $< 0,5$  до 16 мг/т. При этом повышенные концентрации элемента, как и максимальные значения дисперсии концентраций для однотипных пород одной постройки, в основном свойственны 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 15 построек (из 22 изученных, где были установлены породы данного состава) превышают 2—3 мг/т. Однако в базальтах пяти вулканов средние содержания составляют 1—1,5 мг/т и еще двух — менее 1 мг/т. Не исключено, что низкие средние содержания элемента по крайней мере в половине случаев связаны с недостаточным количеством проб, проанализированных на Au (по одной на вулкан). Как показано на рис. 2 и подтверждено нашими петрографическими наблюдениями, неравномерное распределение Au в базальтах в основном подчиняется двум зависимостям. С одной стороны, обычно наиболее обогащены Au наименее кремнеземистые разности, с другой — среди базальтов близкой (высокой или низкой) кремнеземистости почти всегда (в 18 из 21 случая) максимально обогащены золотом те, где наиболее обильно развиты ранние вкрапленники пироксенов и особенно оливина при подчиненном содержании или отсутствии фенокристов плагиоклаза. Количество Au в плагиофировых и субплагиофировых базальтах, которое в основном встречается во фронтальной вулканической зоне Курил (например, в кальдере Львиная пасть; на вулкане Атсонупури), обычно самое низкое ( $< 0,5$  мг/т). Вместе с тем в наименее щелочных толеитовых базальтах фронтальной зоны ОД высокие содержания Au встречаются наиболее часто (см. табл. 1). По-видимому, в силу последней особенности самые высокие средние содержания Au (4,58 мг/т) характеризуют базальты именно фронтальной зоны Курильской ОД, несколько меньшие (3,58 мг/т) — промежуточной, а самые низкие (3,15 мг/т) — тыловой. Полученные значения средних содержаний Au близки к кларковым (4 мг/т) для основных пород по А.П. Виноградову. При этом они заметно выше средних для кайнозойских базальтов всей Курило-Камчатской провинции (1,73 мг/т) и о-ва Парамушир (1,85 мг/т из восьми анализов), но близки к средним для базальтов о-ва Симушир (4,25 мг/т из семи анализов), приведенных Г.Н. Аношиным [7]. Кроме того, они близки к средним содержаниям Au в магнезиальных базальтах (4,3 мг/т) Северного прорыва Толбачинского извержения на Камчатке [8] и заметно ниже таковых в субщелочных глиноземистых базальтах Южного прорыва того же Толбачинского извержения (7 мг/т), а также в континентальных толеитовых базальтах Сибирской платформы [7] и Каскадных гор США [16].

В исследованных эволюционных рядах вулканитов Курил с ростом кремнекислот-

ности пород от базальтов к андезитам и далее к дацитам и риолитам в большинстве случаев (13 из 23) отмечается постепенное уменьшение содержаний золота. При этом для семи-восьми вулканов региона средние содержания Au во всем ряду пород находятся почти на одном и том же (обычно низком — 0,5—1,5 мг/т) уровне, а для шести вулканов они могут даже слабо повышаться от базальтов до андезитобазальтов, но затем в андезитах опять уменьшаются.

Концентрации Au в андезитобазальтах в целом ниже, чем в базальтах, и в значительной мере изменяются в соответствии с теми же петрографическими и геохимическими особенностями пород, которые ранее были отмечены для базальтов. Каких-либо резких отличий по средним содержаниям Au в андезитобазальтах разных вулканических зон ОД не наблюдается, они достаточно близки (1,22—2 мг/т).

Средние концентрации Au в андезитах разных вулканических зон Курильской ОД еще более низкие, чем в андезитобазальтах (0,74—1,58 мг/т), при этом в отличие от базальтов средние содержания Au последовательно увеличиваются от андезитов фронтальной зоны к андезитам тыловой зоны (см. табл. 1). В том же направлении возрастает и дисперсия содержаний Au. Так, например, на подводном вулкане П 8.10 интервал содержаний Au в андезитах достигает 1,2—7,6 мг/т, что, как и среднее значение концентраций (3,42 мг/т), даже выше, чем в базальтах того же вулкана (соответственно 0,9—4 и 2,45 мг/т). Аномально высокие (до 42,6 мг/т) содержания Au иногда наблюдаются и в андезитах некоторых гомеогенных включений вулканитов тыловой зоны ОД (вулкан П 5.1), при этом не обнаружено явной зависимости в распределении Au между общим содержанием и соотношением в андезитах ранних минералов-вкрапленников.

Все приведенные средние содержания Au в андезитах несколько ниже значений, указываемых Г.Н. Аношиным [7] для пород близкой кремнекислотности всей Главной вулканической зоны Курильской ОД (2 мг/т) и отдельных островов, таких, как Парамушир (1,88 мг/т), Симушир (1,7 мг/т) и Кунашир (2,2 мг/т). При этом они близки к содержаниям Au в единичных пробах андезитов островов Чирпой (1,52 мг/т) и Броутона (0,83 мг/т) [7], но значительно ниже, чем в андезитах вулкана Тятя на о-ве Кунашир [1].

Полученные нами сведения о содержании Au в вулканитах дацит-риолитового ряда невелики и ограничены 15 пробами, взятыми с шести вулканов Курильской ОД (см. табл. 2). Как видно в табл. 1, концентрации Au в кислых лавах обычно минимальны (< 1 мг/т); это особенно касается пород генетически связанных лавовых комплексов. Такие значения заметно ниже кларковых содержаний Au в кислых магматических породах (4,5 мг/т, по А.П. Виноградову), а также средних содержаний элемента в кислых вулканитах о-ва Кунашир и Главной зоны Курил (1,96 мг/т), приводимых Г.Н. Аношиным [7].

При этом важно заметить, что дацитовые пемзы кальдерных вулканов Курил (например, Львиной пасти, Горшкова), а также некоторые экструзивные дациты подводных вулканов тыловой зоны ОД (П 8.14) иногда характеризуются аномально повышенными концентрациями Au (до 5,5—16 мг/т).

### Обсуждение результатов

Геохимии Au посвящена весьма обширная литература, причем сведения о содержаниях этого элемента в магматических породах различного состава нередко носят противоречивый характер. Как следует из наиболее поздних сообщений [12], по данным большинства исследователей более высокие средние содержания Au свойственны базитам (первый вариант). Однако, по данным других авторов, например [7], различия по количеству Au в породах кислого и основного состава чаще всего незначимы (второй вариант). Согласно нашим материалам, распределение Au в эволюционных рядах четвертичных вулканитов Курил может соответствовать как первому, так и второму варианту, хотя последний проявляется значительно реже. При этом если наблюдаемое понижение средних содержаний Au от базальтов к более кремнекислым

Распределение серы и хлора в четвертичных вулканитах некоторых вулканов фронтальной зоны Курильской островной дуги, г/т

Название породы	Сера			Хлор		
	<i>n</i>	интервал	среднее	<i>n</i>	интервал	среднее
Базальт	5	90—230	160	5	310—420	350
Андезитобазальт	2	110—120	120	3	340—670	460
Андезит	4	140—240	180	5	310—700	430
Дацит	6	90—210	150	6	250—590	400
Риодацит	—	—	—	1	—	590
Риолит	1	—	120	1	—	470

*Примечание.* Все приведенные здесь обобщенные содержания элементов определялись в породах вулканов Эбеко (о-в Парамушир), Нэмо и Тао-Русыр (о-в Онекотан), Ушишир (о-в Якича), Заварицкого (о-в Симушир), Тятя, Менделеева и Головина (о-в Кунашир); конкретные содержания этих элементов в отдельных пробах вулканитов приведены в [5].

породам в какой-то мере может зависеть от уменьшения в этом ряду пород концентрации железа как наиболее активного элемента-модификатора [12], то совсем нередкое и не зависимое от железистости и кремнекислотности проявление в вулканитах повышенных и пониженных содержаний Au (что отмечается и многими другими исследователями) связано, очевидно, с другими процессами.

Как показано на основании эмпирических и экспериментальных данных [12—14], распределение Au в магматическом процессе определяется главным образом его связью с летучими фазами, и прежде всего с серой и хлором. Режим летучих в магматической системе тесно связан с физико-химическими условиями выплавления и эволюции магм, т.е. условиями  $P-T$ , а также щелочности, окислительного потенциала кристаллизующихся магм и т.д. Так, например, в ультраосновных и основных расплавах миграция Au происходит в основном за счет серы (где ее роль обычно весьма значительна) и в восстановительной обстановке, где Au может существовать в форме  $Au^{1+}$ . Однако в кремнекислых магмах, где роль серы обычно понижена, а хлора — увеличена, для формирования, например, комплекса  $AuCl_4$  (т.е. для того, чтобы Au окислить до  $Au^{3+}$ ) необходим достаточно высокий окислительный потенциал. При этом во время кристаллизации магм Au довольно равномерно рассеивается в породообразующих минералах, а коэффициенты распределения его между твердой фазой и расплавом близки к единице, хотя отчасти и зависят от структурных особенностей минералов [7, 9, 12].

К сожалению, мы не располагаем данными по распределению содержаний серы и хлора в вулканитах Курил, анализированных на Au, и у нас отсутствует возможность провести более или менее количественный анализ их общей связи. Но даже имеющиеся в нашем распоряжении крайне скудные материалы по концентрациям S и Cl в четвертичных вулканитах некоторых построков фронтальной зоны вулканизма Курил (табл. 3) качественно вполне можно увязать со сложным режимом летучих в магматических системах соответствующих аппаратов и с распределением в них золота. Так, концентрации S и Cl, почти так же как и Au, даже в породах близкой основности могут заметно (в 1,5—2,5 раза) варьировать, отражая возможность дифференциации расплавов на эти элементы и их потерю при определенных тектонических условиях. Эти же данные могут указывать на достаточно важную роль S на всех этапах магматической эволюции (довольно близкие средние содержания в разных по кремнекислотности вулканитах), а также несколько повышенную роль Cl в магмах на поздних этапах их эволюции (возрастание средних содержаний во все более кремнекислотных вулканитах).

Как показано ранее [6], в магматических камерах эволюционирующих базальтовых расплавов, которые в основном существуют в закрытых условиях и относительно спокойной тектонической обстановке, сера часто может распределяться неоднородно,



образуя один или даже два обогащенных горизонта. Первый и основной горизонт обычно обособляется в нижней части камеры, где магма содержит максимальное количество железа (и Mg) и в силу этого характеризуется наибольшей емкостью по сере [17]. При этом сера здесь связывается преимущественно в сульфидах и осаждается под действием гравитационных процессов вместе с ранними Fe-, Mg-минералами. В верхней части камеры, в магмах более кремнеземистых, содержащих меньше железа, сера также может накапливаться, но это будет вызвано ее миграцией вместе с другими летучими, прежде всего H<sub>2</sub>O, Cl, F, по механизму эманационной дифференциации (когда при кристаллизации магмы она также связывается преимущественно в сульфидной фазе). По-видимому, в основном в соответствии с этими процессами максимальные содержания Au наиболее часто наблюдаются либо в самых низкокремнеземистых вулканитах Курил, содержащих максимальное количество вкрапленников Fe-, Mg-минералов (эти породы можно рассматривать как продукты самых нижних горизонтов магматических камер), либо в некоторых лейкобазальтах, андезитобазальтах, андезитах и даже дацитах, которые могут представлять собой дифференциаты базальтовых расплавов, обогащенных серой и другими летучими в результате эманационных процессов. Подтверждением последнего служит и то, что среди изученных высококремнистых вулканитов Курил (см. табл. 2) аномально высокие содержания Au обнаружены не в лавовых, а в пемзах и экструзивных образованиях, максимально насыщенных летучими. При этом более часто наблюдаются высокие содержания Au в базальтах фронтальной зоны ОД, которые скорее всего связаны с наличием под этой территорией наиболее крупных и долгоживущих магматических камер, где процессы осаждения в их нижние горизонты Au вместе с серой могли проявляться наиболее отчетливо.

Важно заметить, что эволюция магм в вулканических процессах далеко не всегда развивается в закрытой системе, так как магматические камеры могут неоднократно «приоткрываться» и в результате тектонических подвижек, а не только в связи с конкретными извержениями. Все это может приводить к неоднократному и в разной степени интенсивному сбросу летучих из расплавов. «Осушение» натровых толеитовых базальтовых расплавов Курил, как показано в [15], кристаллизующихся в промежуточных камерах, нередко приводит к анортозитовому тренду их дифференциации, когда в более кремнекислых базальтовых разностях обильно формируются вкрапленники плагиоклаза при резком подчинении или полном отсутствии вкрапленников Fe-, Mg-минералов.

По-видимому, самые низкие содержания Au, присущие всем разностям плагиофировых базальтов и андезитобазальтов Курил, связаны именно с интенсивным удалением этого элемента из расплавов вместе с летучими (прежде всего серой) во время достаточного крупных тектонических подвижек даже на ранних стадиях эволюции толеитовых магм. Эти бедные золотом плагиофировые породы обнаружены только во фронтальной вулканической зоне Курил, где тектоническая активность наиболее высока. Об этом свидетельствуют максимальное развитие на этой территории долгоживущих вулканических центров, сложнодифференцированных кальдерных комплексов, а также максимальное количество эпицентров землетрясений под этой зоной. Скорее всего благодаря повышенной тектонической активности возможность отделения Au на всех этапах эволюции магм этой зоны вулканизма ОД наиболее высока.

Повышенные средние содержания Au в андезитах тыловой зоны по сравнению с андезитами фронтальной зоны могут быть связаны с менее высокой тектонической активностью тыловой зоны Курил; это и способствовало в большей степени «захоронению» летучих и золота в эволюционирующих расплавах магматических камер. Отмеченное накопление Au в тыловых андезитах во многом может быть обусловлено и их повышенной щелочностью. Так, с повышением щелочности в расплавах должна возрастать и активность такого основания, как железо (основного модификатора золота). Поэтому, как показано в [9], золото по мере кристаллизации магмы несколько

более активно фиксируется именно в ранних Fe-минералах и, следовательно, в меньшей степени имеет возможность выноситься из расплавов в составе флюидов.

Как признает сейчас большинство исследователей [11], именно водные флюиды долгоживущих вулканических центров являются одними из основных поставщиков Au в земной коре. Благодаря таким флюидам формируются рудопроявления и даже месторождения этого элемента в случае его достаточного отложения на геохимических барьерах. Вследствие этого именно повышенная способность к эманационному накоплению и отделению Au в процессе эволюции магм (чему во многом способствует низкая щелочность расплавов, а также долговременная повышенная тектоническая активность района) может и должна рассматриваться как серьезный критерий повышенной потенциальной рудоносности на Au. В этом случае, как следует из всего приведенного здесь материала, фронтальная вулканическая зона Курильской ОД по сравнению с ее тыловыми зонами должна рассматриваться в качестве района, наиболее благоприятного для формирования золоторудных проявлений и месторождений, которые и имеют здесь место.

Таким образом, впервые на достаточно систематическом уровне охарактеризована и сопоставлена золотоносность четвертичных вулканитов 29 в разной степени дифференцированных вулканических построек (состав пород от базальтов до риолитов) всех основных вулканических зон южной и центральной частей Курильской ОД. Показано, что распределение Au в породах часто носит неоднозначный характер и в меньшей степени зависит от общей основности или кремнекислотности пород, чем от содержания железа и от насыщения их летучими компонентами. Выявлены различия в характере распределения Au в вулканитах разных зон Курильской ОД, которые достаточно хорошо могут быть увязаны с различиями родоначальных магм по щелочности и, на наш взгляд, с различной тектонической активностью этих зон ОД (ответственной за возможность интенсивного выноса Au из расплавов вместе с летучими). Эти различия являются важными признаками при оценке территории на потенциальную золотоносность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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., Вольнец О.Н. и др.* Геохимическая зональность четвертичных лав Курильской островной дуги // Докл. АН СССР. 1985. Т. 282. № 4. С. 958—961.
3. *Авдейко Г.П., Антонов А.Ю., Вольнец О.Н. и др.* Вариации вещественного состава изотопных отношений стронция и неодима в четвертичных лавах Курильской островной дуги и их петрогенетическое значение // Океанический магматизм. Эволюция, геологическая корреляция. М.: Наука, 1986. С. 153—169.
4. *Авдейко Г.П., Вольнец О.Н., Антонов А.Ю.* Вулканизм Курильской островной дуги, структурно-петрологические аспекты и проблема маглообразования // Вулканология и сейсмология. 1989. № 5. С. 3—15.
5. *Авдейко Г.П., Вольнец О.Н., Антонов А.Ю. и др.* Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1991. 627 с.
6. *Альмухамедов А.И., Медведев А.Я.* Геохимия серы в процессе эволюции основных магм. М.: Наука, 1982. 147 с.
7. *Аношин Г.Н.* Золото в магматических горных породах. Новосибирск: Наука, 1977. 205 с.
8. *Аношин Г.Н., Вольнец 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.
9. *Антонов А.Ю., Кузьмин М.И., Хлебникова А.А.* Распределение золота в мезозойских гранитоидах Станового хребта // Геология и геофизика. 1980. № 9. С. 68—78.
10. *Горилов Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1976. 287 с.
11. *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.
12. *Мионов А.Г., Альмухамедов А.И., Гелетий В.Ф. и др.* Экспериментальные исследования геохимии золота с помощью метода радионуклидных индикаторов. Новосибирск: Наука, 1989. 281 с.

14. *Рябчиков И.Д., Орлова Г.П.* Золото в магматических флюидах // Физико-химические модели петрогенезиса и рудообразования. Новосибирск, 1984. С. 103—111.
15. *Трошин Ю.П., Гребенщикова В.И., Антонов А.Ю.* Летучие компоненты в биотитах и металлогеническая специализация интрузий // Минералогические критерии оценки рудоносности эндогенных процессов. Л., 1982. С. 14—83.
16. *Фролова Т.И., Бурикова И.А., Гуцин А.В. и др.* Происхождение вулканических серий островных дуг. М: Недра, 1985. 275 с.
17. *Gottfried D., Rowe J J., Tilling R.T.* Distribution of gold in igneous rocks // US Geol. Surv. Prof. Paper. 1972. V. 727. 42 p.
18. *Naughton D.R., Roeder P.L., Skinner B.J.* Solubility of sulfur in mafic magmas // Econ. Geology. 1974. V. 69. № 4. P. 451—467.

Институт геохимии СО АН СССР,  
Иркутск

Поступила в редакцию  
26.06.1990

Институт вулканологии ДВО АН СССР,  
Петропавловск-Камчатский