

В. А. БУРЯК, Ю. И. СИЗЫХ, А. И. ЧЕРНЕНКО, Л. Д. РУСИНА,
Р. М. КЛЯЧИНА, Т. П. ВОЛЫНЕЦ, Т. И. ЕЛИЗАРЬЕВА

ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛОТА В ПРОЦЕССЕ ГРАНИТИЗАЦИИ И ПЕГМАТИТООБРАЗОВАНИЯ (ВИТИМО-ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ)

(Представлено академиком В. И. Смирновым 16 XI 1971)

Поведение золота в процессе гранитизации и пегматитообразования изучено на примере Витимо-Патомского нагорья, где сосредоточены золотоносные россыши. Коренное золотое оруденение тесно связано с поздне-верхнепротерозойскими процессами регионального метаморфизма и гранитизации^(1, 2).

Содержание золота определялось в исходных кристаллических сланцах и гнейсах верхнепротерозойской патомской серии и в сформированных путем их гранитизации (перечисляемых в порядке образования) образованиях: в гранитизированных гнейсах; в гранитах, гнейсо-гранитах; в плагиоклазовых гранит-пегматитах метаморфического генезиса; в несколько более поздних плагиоклаз-микроклиновых (микроклин-плагиоклазовых) и в микроклиновых гранит-пегматитах также метаморфогенного^(3, 7, 8) или магматического⁽⁶⁾ генезиса. Все эти производные процессов ультраметаморфизма и гранитизации образуют единый длительно развивавшийся мамско-оронский поздневерхнепротерозойский плутонический комплекс. При этом, по мнению различных исследователей, граниты, гнейсо-граниты и плагиоклазовые гранит-пегматиты — типично автохтонные образования^(3, 7, 8); плагиоклаз-микроклиновые и микроклиновые — или в основном также автохтонные^(3, 7, 8), или незначительно перемещенные⁽⁹⁾.

С целью получения надежных данных производили определения содержания золота в указанных разновидностях пород одновременно двумя методами в трех различных лабораториях: 1) нейтронно-активационным методом в Тульском отделении экспериментальных исследований Центрального научно-исследовательского горноразведочного института цветных, редких и благородных металлов (ЦНИГРИ) под руководством В. Н. Никитина; 2) в Научно-исследовательском институте ядерной физики, электроники и автоматики при Томском политехническом институте (НИИЯФ) под руководством Г. Г. Глухова; 3) спектрохимическим методом в Институте земной коры Сибирского отделения АН СССР (ИЗК) (анализы при этом выполнялись по методике, разработанной Н. Т. Воскресенской и усовершенствованной В. Г. Цимбалест; дополнительно с целью повышения точности анализов использовался в качестве внутреннего стандарта германий и учитывалось влияние вариаций химического состава концентратов).

По данным многочисленных химических анализов, выполненных нами и другими исследователями (Г. М. Другов, В. Н. Шаров, Ю. М. Соколов и др.), рассчитан средний химический состав всех анализируемых на золото разновидностей пород.

Полученные результаты суммированы в табл. 1, 2 и 3; анализ их позволяет отметить следующее.

1. Средние содержания золота во всех последовательно формирующихся метаморфогенно-магматических образованиях существенно ниже, чем

Таблица 1

Средний химический состав (вес. %) гранитов, гранито-гнейсов, пегматитов и вмещающих их исходных кристаллических сланцев и гнейсов

Разновидности пород	Число анализов	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Породы, вмещающие кристаллические сланцы и гнейсы (без известняков)	245	64,32	0,85	15,25	1,66	6,03	3,44	3,98	1,65	2,58
Эти же гранитизированные кристаллические сланцы и гнейсы	35	68,02	0,78	14,40	2,67	2,78	1,43	2,45	2,94	4,20
Граниты и гнейсо-граниты (мамско-оронский комплекс)	58	70,78	0,47	14,29	1,18	1,80	0,76	1,62	3,50	4,67
Пегматиты (мамско-оронский комплекс)										
а) плагиоклазовые	40	75,15	0,097	15,89	0,42	0,62	0,33	2,54	4,44	1,15
б) микроклин-плагиоклазовые и плагиоклаз-микроклиновые	103	72,19	0,09	15,85	0,48	0,84	0,33	1,50	3,21	4,63
в) микроклиновые	45	72,20	0,033	15,33	0,15	0,55	0,21	0,48	2,16	9,19
В среднем с учетом распространенности а — в *	188	72,66	0,088	15,83	0,45	0,78	0,32	1,62	3,37	4,28

* а — 18, б — 76, в — 6%.

Таблица 2

Содержания золота (мг/т) в гранитах, гранито-гнейсах и пегматитах и во вмещающих их исходных кристаллических сланцах и гнейсах

Разновидности пород	Спектрохимические анализы, ИЗК				Нейтронно-активационные анализы							
					НННЯФ				ЦНИГРИ			
	n	$\bar{x}$	$\bar{lg} x$	$\sigma_{lg} x$	n	$\bar{x}$	$\bar{lg} x$	$\sigma_{lg} x$	n	$\bar{x}$	n	$\sigma_{lg} x$
Породы, вмещающие пегматитовые жилы и гранито-гнейсы, кристаллические сланцы и гнейсы	206	3,59	0,48	0,267	103	3,86	0,51	0,377	262	3,69	0,48	0,293
Гранитизированные гнейсы и кристаллические сланцы	84	2,41	0,31	0,228	41	2,81	0,29	0,344	66	2,80	0,40	0,246
Граниты и гранито-гнейсы	297	2,24	0,28	0,278	150	2,84	0,37	0,398	345	2,24	0,20	0,364
Пегматиты												
а) плагиоклазовые	83	1,60	0,22	0,335	4	1,57	0,18	0,095	38	2,33	0,26	0,308
б) плагиоклаз-микроклиновые	76	2,37	0,25	0,369	13	3,02	0,41	0,236	49	2,87	0,35	0,410
в) микроклиновые	151	2,35	0,30	0,304	47	2,70	0,35	0,296	68	2,78	0,37	0,305
В среднем с учетом распространенности а — в *	310	2,23	0,25	0,326	64	2,74			152	2,77		

* а — 18, б — 76, в — 6%.

в исходных кристаллических сланцах и гнейсах. При этом наиболее низкие содержания устанавливаются в гнейсо-гранитах и, особенно, в самых ранних — плагиоклазовых разностях пегматитов, имеющих типично метаморфический генезис и характеризующихся наиболее высокими содержаниями кремнезема, натрия, кальция и наиболее низкими — калия. Самые высокие содержания золота устанавливаются в наиболее поздних микроклиновых и в микроклин-плагиоклазовых пегматитах, характеризующихся значительным развитием калиевых метасоматических процессов ⁽⁵⁾ и общим повышенным содержанием калия; эти же пегматиты наиболее аллохтонны по условиям образования.

Таблица 3

Оценка значимости различий средних ($\bar{\lg x}$) и дисперсий ($\sigma^2_{\lg x}$) содержаний золота по результатам спектрохимических анализов

Сравниваемые группы пород	$t_{\text{выч}}$	$t_{\text{табл}}$ при $P = 0,95$	$F_{\text{выч}}$	$F_{\text{табл}}$ при $P = 0,95$
1—2	1,858	1,960	1,21	1,35
1—3	0,530	1,960	1,21	1,49
(1+2+3)—4	8,33	1,960	1,49	<1,35
1—4	6,42	1,960	1,57	<1,35
2—4	5,10	1,960	1,30	1,35
3—4	5,75	1,960	1,91	<1,35
4—5	8,04	1,960	1,08	1,35
(1+2+3)—5	1,22	1,960	1,37	<1,35
1—6	2,05	1,960	2,16	1,48
5—6	0,90	1,960	1,49	<1,35

Примечание. 1 — плагиоклазовый пегматит; 2 — микроклиновый пегматит; 3 — микроклин-плагиоклазовый пегматит; 4 — породы, вмещающие пегматитовые жилы и гранито-гнейсы; 5 — граниты, гранито-гнейсы; 6 — гранитизированные гнейсы. Для группы 1—2; 1—3; (1+2+3)—5; 5—6 — различия между $\bar{\lg x}$ при $P = 0,95$ статистически незначимы; для всех остальных групп — значимы. При сравнении дисперсий отмечается та же закономерность, за исключением групп 4—5; 2—4, для которых они различаются несущественно.

Очевидно, можно говорить, что в процессах гранито- и пегматитообразования наряду с преобладающим общим выносом золота происходит некоторое его накопление в поздних и наиболее аллохтонных магматических производных. Как и в случае, отмеченном Г. П. Воларовичем и Н. Л. Шилиным⁽⁴⁾, намечается некоторое увеличение содержания золота к концу магматического процесса одновременно с повышением химического потенциала калия.

2. Основной вынос золота происходит в ранний этап гранитизации и пегматитообразования: в гранитизированных гнейсах и гранитах содержания золота практически одинаковы, а в более поздних пегматитах даже несколько выше, чем в ранних.

3. Подтверждаются ранее высказанные представления^(6, 9, 11) о намечающейся положительной корреляционной зависимости между содержанием в породах железа, особенно двухвалентного, и золота; в процессе гранитизации происходит активный вынос как Fe^{2+} , так и Au.

Существенно также, что одновременно намечается обратная зависимость между содержанием SiO_2 и Au. Как и первый факт, это, видимо, обусловлено проявлением сидерофильных свойств золота в рассматриваемых процессах и хорошо согласуется с представлениями Д. С. Коржинского о преобладающем выносе оснований, в данном случае Mg^{2+} , Fe^{2+} и Au, при развитии «кислотного выпечлачивания», т. е. увеличении содержания SiO_2 .

4. Вынос золота при рассмотренных процессах гранитизации и пегматитообразования (с учетом уменьшения плотности пород) в среднем составлял $3,3 \text{ т/км}^2$. Учитывая региональный характер развития в районе этих процессов, можно полагать, что суммарный вынос золота был весьма значительным. Элементарные расчеты показывают, что если принять самые минимальные параметры зон гранитизации, ориентируясь только на их вскрытые эрозионным срезом части (суммарная длина в северной части Витимо-Патомского нагорья не менее 420 км, ширина 15 км, минимальная насыщенность гранитным и пегматитовым материалом 25%, минимальная мощность зон гранитизации, исходя из геофизических данных, 3 км), то вынос золота составит около 15 тыс. тонн. Как показывают подсчеты, во всех россыпных и рудных объектах района содержатся значи-

тельно меньшие количества золота. В связи с этим, учитывая имеющиеся данные о наличии тесной временной (¹⁻², ⁷) и генетической (¹⁻³) связи золотого оруденения района с рассматриваемыми процессами гранитизации, логично допустить, что это выносимое золото могло явиться существенным, возможно, основным его источником для рудообразования.

Институт земной коры
Сибирского отделения Академии наук СССР
Иркутск

Поступило
12 XI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. А. Буряк, Сборн. Физико-химические условия магматизма и метасоматоза, Тр. III Всесоюзн. петрограф. совещ., 1964. ² В. А. Буряк, ДАН, 163, № 2 (1965). ³ Д. А. Великославинский, А. Н. Казаков и др., Мамский комплекс Северо-Байкальского нагорья, 1963. ⁴ Г. П. Воларович, Н. Л. Шилп, Сборн. Международный геохимический конгресс, Тез. докл., 2, 1971. ⁵ В. Д. Никитин, Тр. XXII сессии Международн. геол. конгр., Докл. сов. геол., 1965. ⁶ В. Г. Моисеенко, И. И. Фатьянов, С. А. Щека, Сборн. Международный геохимический конгресс, Тез. докл., 2, 1971. ⁷ Л. И. Салод, Геология Байкальской горной области, 2, 1967. ⁸ Ю. М. Соколов, Метаморфогенные мусковитовые пегматиты, 1970. ⁹ И. Х. Хамбраев, К. У. Урунбаев, Сборн. Международный геохимический конгресс, Тез. докл., 1, 1971. ¹⁰ Б. М. Шмакин, В. А. Макрыгина, Геохимические особенности мусковитовых пегматитов, 1969. ¹¹ Ю. Г. Щербаков, Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях, 1967.