

## ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД СРЕДНЕГО СОСТАВА И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА

В. Г. МОИСЕЕНКО, Г. С. НЕЧКИН (ДВГИ СО АН СССР)

Генетические связи золотой минерализации с магматизмом и элементы эндогенной геохимии золота относятся к числу важнейших вопросов минерагении. Золотое оруденение чаще всего пространственно связано с гранитоидами повышенной основности и телами альбититов [2, 4, 5, 6]. Авторами настоящей статьи изучались основные и средние породы массивов и малых интрузий Южно-Приморской и Селемджинской (Приамурье) золотоносных зон Тихоокеанского рудного пояса.

В одном из рудных полей Южно-Приморской зоны особое внимание было уделено роговобманковым диоритам и биотитовым гранодиоритам палеозойского интрузивного комплекса, относящегося к габбро-диорит-плагиогранитной формации. Габбро и диориты относятся к ранним фазам формирования данного интрузивного комплекса, а секущие их гранодиориты и плагиограниты к поздней фазе. Диориты слагают обособленные массивы площадью в несколько кв. км, расположенные как в непосредственной близости от разрабатываемых россыпей, так и на значительном удалении от них. В диоритах, вблизи контакта с гранодиоритами поздней фазы размещены рудные тела золото-кварцевой формации.

Для изучения распределения золота в интрузивных породах и их контактовых зонах использован спектрохимический метод определения кларковых содержаний, предложенный Н. Т. Воскресенской и Н. Ф. Зверевой (1965). Ряд полученных значений проверен радиоактивационным методом.

Диориты из массивов, не содержащих золотоносных кварцевых жил, состоят из андезина и олигоклаз-андезина, роговой обманки, биотита, кварца и имеют следующие числовые характеристики:  $a = 8,5 - 12,9$ ;  $c = 8,5 - 2,9$ ;  $v = 23,8 - 14,1$ ;  $S = 59,2 - 70,1$ ;  $Q = -7,1 - (+11,5)$  и в той или иной степени пропилитизированы. Установлено, что относительно слабо пропилитизированные диориты содержат золото в количествах, близких к кларку —  $2,7 \cdot 10^{-7} \% \text{ вес.}$ , а гранодиориты в количествах, несколько меньших —  $0,4 \cdot 10^{-7} - 1,1 \cdot 10^{-7} \% \text{ вес.}$  Попутно золото было определено в других породах и породообразующих минералах комплекса (табл. 1).

Автометасоматические процессы (пропилитизация хлорит-альбитовой ступени) в породах проявлены пространственно неравномерно. Наиболее характерное изменение — это альбитизация плагиоклаза, часто с выделением кальцита, и хлоритизация темноцветных минералов. Здесь же развиваются серицит, мусковит и микроклин, а также возникают метасоматические линзовидные кварц-кальцитовые жилки.

Таблица I

## Содержание золота в некоторых породах и минералах

№ пробы	Порода, слагающие ее минералы	К-во определений	Содержание золота п. 10% - 7% вес	Na <sub>2</sub> O % вес.	K <sub>2</sub> O % вес.	$\frac{Na_2O}{Na_2O+K_2O} \cdot 100$
K-21	Роговообманковое габбро	2	3,6; 4,2	—	—	—
	Роговая обманка (2V <sub>Np</sub> = 84° CN <sub>g</sub> = 28°; f = 10)	1	25,0	1,23	1,23	79
	Соссортизованный плагиоклаз, краевые зоны состава Ab <sub>73</sub> Al <sub>27</sub> (⊥(010)BN <sub>g</sub> = 8°; BN <sub>p</sub> = 86°; BN <sub>m</sub> = 84°)	2	580,0; 500,0	5,19	2,70	74
K-211	Аплит	2	11,0; 12,0	—	—	—
	Плагиоклаз Ab <sub>73</sub> Al <sub>27</sub> (⊥(001)BN <sub>g</sub> = 80°; BN <sub>p</sub> = 78°; BN <sub>m</sub> = 14°)	2	13,0; 18,0	5,74	5,60	61
	Ортоклаз 2VN <sub>p</sub> = 64° (⊥(001)BN <sub>g</sub> = 89°; BN <sub>p</sub> = 89°; BN <sub>m</sub> = 2°)	1	4,4	2,76	13,9	23
	Кварц	2	7,0	—	—	—
K-210	Трондъемит	2	13,0; 15,0;	—	—	—
	Кварц	2	27,0; 68,0	—	—	—
K-216	Трондъемит	2	14,0; 14,0	—	—	—

Некоторые петрохимические особенности проявления пропилитизации низших ступеней в гранодиорите и диорите (табл. 2) указывают на увеличение содержания золота в породе при ее альбитизации, т. е. на возможность перераспределения и концентрации золота в существенно натровой среде. С заменой в породе натрия на калий количество золота может уменьшаться. Так, для характеристики метасоматических изменений калиевого ряда использованы полные химические анализы (табл. 3, пробы К—73<sup>а</sup>, К—73<sup>б</sup>), показавшие зависимость содержания золота от количества натрия в сумме щелочей. Однако корреляционной связи между золотом и трехвалентным железом, как было установлено другими исследователями [5], в данных условиях, очевидно, нет.

Таблица 2

Петрохимическая характеристика процесса пропилитизации

№ пробы	Интрузивная и образовавшаяся на ее месте метасоматическая порода	Содерж. золота п · 10 <sup>-7</sup> % вес.	Na <sub>2</sub> O % вес.	K <sub>2</sub> O % вес.	$\frac{Na_2O}{Na_2O + K_2O} \cdot 100$
К—65	Гранодиорит (плагноклаз № 28)	0,44	3,17	2,54	65
К—66	Кварц-альбитовая порода (плагноклаз № 7)	3,9	5,54	1,79	82
К—69 <sup>а</sup>	Гранодиорит (плагноклаз № 25)	1,4	3,24	2,61	65
К—69 <sup>б</sup>	Кварц-кальцит-серицит-альбитовая порода (плагноклаз № 5)	6,2	4,86	2,13	78
К—76 <sup>а</sup>	Гранодиорит альбитизированный	4,7	4,99	1,06	87
К—76 <sup>б</sup>	Кварц-кальцитовая жила	2,3	—	—	—
К—80	Диорит (плагноклаз № 45)	2,7	3,78	1,93	75
К—80 <sup>а</sup>	Альбит с кварцем и серицитом (плагноклаз № 6)	12,0	5,17	0,23	98
К—74 <sup>а</sup>	Гранодиорит (плагноклаз № 26)	4,6	4,32	3,36	66
К—74 <sup>б</sup>	Кварц-микроклин-серицит-альбитовая порода	2,3	2,20	9,51	26

Диориты массивов, несущих оруденение, содержат золото  $10 \cdot 10^{-7}$  —  $40 \cdot 10^{-7}$  % вес. Метасоматически измененные диориты представляют собой очень неоднородные гнейсовидные породы, часто состоящие из отдельных чередующихся полос нормального и лейкократового состава. Полосы нормального состава сложены андезином (до 58%), роговой обманкой (до 20%), биотитом (3—5%), кварцем (до 2%). В лейкократовых слоях плагноклаз представлен олигоклазом, альбит-олигоклазом и почти чистым реакционным альбитом. Резко увеличивается количество кварца за счет роговой обманки, достигая 20% и более. Гнейсовидность в диоритах и явления натрового метасоматоза связаны с внедрением интрузий гранодиоритов поздней фазы.

Последовательность изменения химического состава диоритов, протекавшего под действием магматических растворов гранитоидов и в целом соответствовавшего процессу гранитизации, показана в табл. 3 (пробы К—13<sup>а</sup>, К—13<sup>а/1</sup>, К—12). Здесь вновь устанавливается зависимость содержания золота от характера распределения щелочей в породе, а также подтверждается наличие корреляционной связи Au—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Изменение содержания в породах при метасоматозе

№ пробы	"Формула" породы по Т. Барту, последовательная смена составов	Содержание золота п. 10 <sup>-7</sup> % вес.
	Южно-Приморская зона	
	Пропилитизация гранодиоритов	
K-73 <sup>a</sup>	K <sub>33</sub> Na <sub>84</sub> Ca <sub>17</sub> Mg <sub>15</sub> Mn <sub>1</sub> Fe <sub>25</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>5</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>150</sub> Ti <sub>5</sub> Si <sub>613</sub> (O <sub>1590</sub> OH <sub>10</sub> )	7,9
K-73 <sup>b</sup>	K <sub>55</sub> Na <sub>71</sub> Ca <sub>13</sub> Mg <sub>7</sub> Mn <sub>0</sub> Fe <sub>11</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>4</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>143</sub> Ti <sub>1</sub> Si <sub>615</sub> (O <sub>1583</sub> OH <sub>7</sub> )	6,0
	Гранитизация диоритов	
K-13 <sup>a</sup>	K <sub>19</sub> Na <sub>54</sub> Ca <sub>79</sub> Mg <sub>98</sub> Mn <sub>1</sub> Fe <sub>74</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>13</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>199</sub> Ti <sub>12</sub> Si <sub>152</sub> (O <sub>1578</sub> OH <sub>22</sub> )	10,0
K-13 <sup>a/1</sup>	K <sub>18</sub> Na <sub>89</sub> Ca <sub>68</sub> Mg <sub>18</sub> Mn <sub>1</sub> Fe <sub>45</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>11</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>223</sub> Ti <sub>11</sub> Si <sub>501</sub> (O <sub>1580</sub> OH <sub>90</sub> )	20,0
K-12	K <sub>17</sub> Na <sub>103</sub> Ca <sub>92</sub> Mg <sub>10</sub> Mn <sub>0</sub> Fe <sub>9</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>231</sub> Ti <sub>2</sub> Si <sub>531</sub> (O <sub>1588</sub> OH <sub>12</sub> )	46,0
	Селемджинская зона	
	Пропилитизация диабазовых порфиритов	
И-484	K <sub>10</sub> Na <sub>45</sub> Ca <sub>78</sub> Mg <sub>138</sub> Mn <sub>2</sub> Fe <sub>39</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>21</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>159</sub> Ti <sub>2</sub> Si <sub>462</sub> (O <sub>1542</sub> OH <sub>58</sub> )	21,0
И-495	K <sub>20</sub> Na <sub>47</sub> Ca <sub>77</sub> Mg <sub>128</sub> Mn <sub>2</sub> Fe <sub>59</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>27</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>147</sub> Ti <sub>3</sub> Si <sub>486</sub> (O <sub>1542</sub> OH <sub>58</sub> )	7,8
И-1206	K <sub>20</sub> Na <sub>46</sub> Ca <sub>91</sub> Mg <sub>127</sub> Mn <sub>1</sub> Fe <sub>62</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>10</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>152</sub> Ti <sub>4</sub> Si <sub>470</sub> (O <sub>1553</sub> OH <sub>47</sub> )	5,5
И-242	K <sub>35</sub> Na <sub>52</sub> Ca <sub>111</sub> Mg <sub>58</sub> Mn <sub>1</sub> Fe <sub>57</sub> <sup>2+</sup> Fe <sub>7</sub> <sup>3+</sup> Al <sub>175</sub> Ti <sub>6</sub> Si <sub>488</sub> (O <sub>1542</sub> OH <sub>58</sub> )	2,7

8,0

16,6

7,9

10,4

11,7

20,4

18,8

7,7

5,4

71

56

71

83

86

81

70

70

60

Золотоносные кварцевые жилы отмечены в поле развития наиболее интенсивно гранитизированных диоритов. В окружающих жилы лейкократовых породах с плагиоклазом  $Ab_{90}An_{10} - Ab_{70}An_{30}$  хлоритизированным биотитом и преобладанием натрия в составе щелочей  $\frac{Na_2O}{Na_2O + K_2O} \times 100 = 81 - 83$  содержание золота резко падает, доходя до  $4,0 \cdot 10^{-7} - 5,0 \cdot 10^{-7} \%$  вес. Это, очевидно, связано с выщелачиванием золота из диоритов под действием гидротермальных натровых растворов.

Наметившиеся закономерности распределения и перераспределения (концентрации и рассеяния) золота в массивах средних пород с наложенными метасоматическими изменениями подтвердились при изучении массивов и малых интрузий Селемджинской зоны. Золоторудные тела располагаются в метаморфических породах, прорванных кварцевыми диоритами существенно натрового состава ( $Na_2O = 2,23\%$ ,  $K_2O = 1,17\%$   $\frac{Na_2O}{Na_2O + K_2O} \cdot 100 = 74$ ). Диориты содержат золото в количествах, превышающих кларк ( $12 \cdot 10^{-7} - 13 \cdot 10^{-7} \%$  вес.), и не подверглись существенным постмагматическим изменениям.

Интересно отметить, что в той же металлогенической зоне оловянно-вольфрамовое оруденение связано с существенно калиевыми гранитоидами Эзопского комплекса ( $Na_2O = 3,38\%$ ;  $K_2O = 4,37\%$ ;  $\frac{Na_2O}{Na_2O + K_2O} \cdot 100 = 54$ ), содержащими  $1,6 \cdot 10^{-7} \%$  золота.

В дайках диабазовых порфиритов, подвергшихся зеленокаменным изменениям, наблюдается иной тип метасоматического метаморфизма, чем в Южно-Приморской зоне. Порфириты подверглись хлоритизации и карбонатизации с одновременным выносом золота (табл. 3, пробы И — 484, И — 495, И — 120<sup>б</sup>, И — 242). Этим объясняется повышение содержания золота не только в контактово-метаморфизованных породах, но и в кварцевых жилах при пересечении их малыми интрузиями. Снижение концентрации золота в породах сопровождается уменьшением доли натрия в сумме щелочей.

На основании изложенного можно полагать, что разрушение первичных минералов-концентратов при том или ином типе постмагматического процесса приводит к перераспределению золота. В общем случае благоприятными геохимическими условиями для его концентрации является повышение содержания натрия в поровых растворах, что согласуется с существующими представлениями о формах миграции золота в гидротермах [7]. То же влияние оказывает и повышение железистости среды. Высокая активность углекислоты не благоприятна для концентрации золота.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воскресенская Н. Г., Зверева Н. Ф., Ривкина Л. Л. Спектрохимическое определение золота в силикатных породах и минералах. Ж. «Аналитическая химия», том XX, вып. 12, 1965.
2. Ициксон М. И. Петрохимические особенности и металлогеническая специализация интрузивных комплексов (на примере Дальнего Востока). Бюллетень ВСЕГЕИ, № 2, 1960.
3. Радкевич Е. А., Усенко С. Ф., Чеботарев М. В. Об отношении оловянной и золотой минерализации к главнейшим структурным элементам юга Дальнего Востока. Геология и геофизика, № 3, 1965.
4. Шило Н. А., Загружина И. А. Магматические комплексы и металлогения Восточной Чукотки. Тр. Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ОС АН СССР, вып. 12, 1965.
5. Щербаков Ю. Г., Пережогин Г. А. К геохимии золота. Геохимия, № 6, 1964.
6. Gallagher D. Albite and gold. Econ. geol., vol. 35, № 7, 1940.
7. Smith F. G. The alkali sulphide theory of gold deposition. Econ. geol. v. 38, № 7, 1943.