

УДК 552.321/550.422

С. И. ЗАЙЦЕВ<sup>1</sup>

## ЗОЛОТОГЕНЕРИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРАНИТОИДОВ

Автор ұсынған өдіспен [10, 11] Қазақстан және ТМД үшін алтынды гранитоидты кешендегі қатарының алтын шығару салыстырмалы мөлшерлері есептелді. ұсынШСМ потенциалды сандық бағалауға арналған негіздік мөлшермен немесе алтынға палеопродуктивті гранитоидтарды қызмет ете алады.

По методу, предложеному автором [10,11], были рассчитаны относительные величины выноса золота (ОВВ) для ряда золотоносных гранитоидных комплексов Казахстана и СНГ. ОВВ может служить базовой величиной для количественной оценки потенциальной или палеопродуктивности гранитоидов на золото.

On a method offered (suggested) by the author [10,11] were calculated relative values outcome of gold (RVO) for lines gold-bearing granitoidal complexes of Kazakhstan and the CIS. RVO can serve base for a quantitative estimation potential or paleoproduction granitoids on gold.

Под рудогенерирующей способностью гранитоидов понимается их способность генерировать месторождения определенного состава и масштаба.

Величины относительного выноса (ОВВ) являются более однозначным показателем потенциальной продуктивности гранитоидов на золото. При ее использовании становится возможной количественная оценка запасов наиболее крупного месторождения в связи с конкретным массивом или комплексом, а также рядовых и их количества. При этом используются стандартные петрогохимические данные, получаемые при обычном опробовании, 15–20 проб на разновидность пород.

При рассмотрении структуры магматических комплексов автор придерживался схемы предложенной В. С. Коптевым-Дворниковым [16]: главная интрузивная фаза ( $\Gamma\Phi$ ) → дополнительные интрузивы ( $\Delta\Phi$ ) → жильная фаза ( $\mathcal{J}\Phi$ ).

В строении комплекса могут участвовать несколько главных фаз, каждая со своим набором внутрифазных дифференциатов [4]. Для гранитов дополнительной и жильной фаз установлен факт обеднения их теми элементами, которые обладают ярко выраженной тенденцией к накоплению [10]. Такие фазы мы называем рудоотдающими (РОФ), являющимися, по-сути, магмати-

ческим остатком рудоносного остаточного очага [28].

**Рудоотдающие ритмы комплексов, массивов и связанное с ними золотое орудение.** При описании фаз рудоотдающего ритма гранитоидных комплексов в скобках приведено значение показателя дифференцированности фазы ( $P_{d, TiO_2}$ , вес.%) который был использован при вычислении ОВВ.

1. Массив Бестюбе. Северный Казахстан, 428 млн лет. Рудоотдающий ритм представлен следующими фазами: 2 $\Gamma\Phi$  – кварцевые диориты (0,57), 3 $\Gamma\Phi$  – плагиограниты (0,31),  $\mathcal{J}\Phi$  (РОФ) – плагиогранит-порфиры (0,19). Массив продуцирует месторождение Бестюбе, относящееся к золотокварцевому умеренно сульфидному типу. Главный объект добычи – золотосодержащие кварцевые жилы [5,19].

2. Крыккудукский комплекс. Северный Казахстан, возраст 450 млн лет. Рудоотдающий ритм: 2 $\Gamma\Phi$  – гранодиориты, тоналиты (0,58), 3 $\Gamma\Phi$  – граниты (0,29),  $\Delta\Phi$  (РОФ) – лейкограниты (0,18). Небольшие рудопроявления золото-кварц-мало-сульфидного типа [5,19].

3. Арапаульский комплекс. Северный Казахстан, возраст 440 млн лет. Рудоотдающий ритм: 2 $\Gamma\Phi$  – кварцевые монцодиориты (0,62), 3 $\Gamma\Phi$  – гранофировые граниты, граносиениты (0,30),  $\Delta\Phi$

<sup>1</sup> Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева.

(РОФ) – лейкогранит гранофирировый (0,11). Оруденение мелкомасштабное, золото-сульфидного типа, связано с процессами кварц-серицитового метасоматоза, березитизации и пропилитизации, наложенных на ранее образованные скарны [5,19,24].

4. Массив Себинский. Восточный Казахстан, Калба-Нарымский пояс, монастырский комплекс, возраст 270 млн лет. Рудоотдающий ритм: 1ГФ – грубо- и крупнозернистые лейкограниты (0,24), 2ГФ – среднезернистые лейкограниты (0,14), Д-ЖФ (РОФ) – мелкозернистые лейкограниты, аплитовидные граниты, аплиты (0,08). В связи с массивом золоторудные проявления не отмечались [20,26].

5. Саурский комплекс. Восточный Казахстан, Жарма-Саурский пояс, возраст 324 млн лет. Рудоотдающий ритм: 1ГФ – габбро, диориты (0,74), 2ГФ – тоналиты, трондемиты (0,46), ЖФ (РОФ) – дайки гранитов, гранит-порфиров (0,26). С комплексом связаны мелкие кварц-медно-золотые и медно-молибден-порфировые с золотом проявления [15].

6. Массив Верх-Исетский. Урал, Россия, возраст 340 млн лет. Плутон концентрически-зональный, основные разности гранитоидов связаны между собой постепенными переходами, поэтому описание рудоотдающего ритма приводится без нумерации фаз. Рудоотдающий ритм: ГФ – амфибол-биотитовые граниты, ДФ – биотитовые граниты, ЖФ (РОФ) – граниты, микрограниты, аплиты. С массивом связано мелкомасштабное оруденение кварцево-жильного типа [3].

7. Массив Посольненский. Россия, Енисейский кряж, возраст 950 млн лет. Рудоотдающий ритм: ГФ – гранит крупнозернистый порфировидный (0,36), ДФ – гранит среднезернистый порфировидный (0,22), ЖФ (РОФ) – мелкие тела и жилы гранитов гнейсовидных, аляскитовых, аплитов (0,15). Промышленное оруденение кварц-золото-серебряно-полиметаллического типа [17,18].

8. Массив Таракский. Россия, Енисейский кряж, возраст 1800 млн лет. ГФ – биотитовые крупнозернистые, порфировидные граниты (0,38), ДФ – биотитовые, равномернозернистые, среднекристаллические (0,24), ЖФ (РОФ) – жильные, штокообразные тела лейкогранитов (0,15). С массивом связано промышленное оруденение кварц-золото-серебряно-полиметаллического типа [17,18].

9. Массив Тарбаганахский. Северо-восток России, возраст 100 млн лет. Рудоотдающий ритм: 1ГФ – диориты (0,79), 2ГФ – гранодиориты (0,41), ЖФ (РОФ) – мелкозернистые граниты (0,16). Оруденение представлено месторождениями и рудопроявлениями золото-кварцево-мало-сульфидной формации [27].

10. Массив Уэмляхский. Северо-восток России, возраст 100 млн лет. Рудоотдающий ритм: 1ГФ – диориты (0,95), 2ГФ – гранодиориты (0,61), Д-ЖФ (РОФ) – мелкозернистые граниты. Оруденение того же типа, что у Тарабаганахского, но более продуктивное. В связи с массивом отрабатывались богатые аллювиальные россыпи с крупными самородками золота [27].

11. Массив Нют-Ульбейский. Северо-восток России, возраст 126 млн лет. Рудоотдающий ритм: 1ГФ – гранодиориты (0,43), 2ГФ – биотитовые граниты (0,20), Д-ЖФ (РОФ) – аплитовидные граниты (0,10). С массивом связаны рудопроявления кварц-золото-сульфидного типа [7,22].

12. Улская вулкано-плутоническая формация. Россия, Нижнее Приамурье, возраст 62–74 млн лет. Рудоотдающий ритм: 1ГФ – монцодиориты, кварцевые диориты литкинского комплекса (0,62), 2ГФ – гранодиориты бекчи-улского комплекса (0,55), ЖФ (РОФ) – дайки гранодиорит-порфиров (0,50). Оруденение представлено зонами кварцадуяровых метасоматитов с золотом, имеющих промышленное значение [12,13].

13. Гранитоидный комплекс Восточного Тянь-Шаня. Киргизия, Иныльчекский и Кокшаальский районы, возраст 320 млн лет. Рудоотдающий ритм: 2ГФ – крупнопофировидные амфибол-биотитовые и биотитовые граниты (0,30), 3ГФ – крупно-среднезернистые биотитовые и лейкократовые граниты (0,14), ЖФ (РОФ) – мелкозернистые граниты, дайковые тела гранит-порфиров (0,11). С комплексом связано золотое оруденение теллуридно-шеелит-кассiterитового минерального типа [6].

14. Массив Актауский. Узбекистан, Чаткальская зона, возраст 255–272 млн лет. Рудоотдающий ритм: 1ГФ – кварцевые диориты (0,70), 2ГФ – биотитовые граниты (0,24), Д-ЖФ (РОФ) – дайковые, штокообразные тела мелкозернистых лейкогранитов, аляскитов, аплитов (0,06–0,11). Оруденение скарново-редкометалльное (W, Mo), с наложенным на него продуктивным кварц-золото-арсенопирит-шеелитовым, относящегося к кварцсульфидному этапу минералообразования [1,8].

**Методика расчета относительных величин выноса золота.** Расчет относительных величин выноса базируется на прямой логарифмической зависимости между концентрациями пар химических элементов в процессе кристаллизационной дифференциации [2,29], один из которых или их отношение могут быть использованы в качестве показателя дифференцированности интрузивных фаз. Предпочтительность использования  $TiO_2$  в качестве показателя дифференцированности перед  $K/Rb$  и рядом других была показана ранее [9].

Вынос золота, так же, как и других элементов, может носить явный или неявный характер и вообще отсутствовать (см. рис.).



Таблица 1. Геохимия Au в гранитоидных комплексах

№	Комплекс или массив	Содержание Au, мг/т, в фазах рудоотдающего ритма			$C_{\text{отн}}(\text{ОВВ})$	$K_p$
		I	II	III (Сфакт.)		
1	Массив Бестюбэ	5,0	7,9	1,9	14,8	0,63
2	Массив Крыккудукский	1,1	1,4	1,0	1,3	0,78
3	Аралаульский комплекс	1,8	2,5	1,7	1,9	0,72
4	Массив Себинский	1,1	1,2	0,6	0,7	0,91
5	Саурский комплекс	1,6	2,6	2,2	2,4	0,61
6	Массив Верхисетский	1,3	2,8	0,8	5,0	0,46
7	Массив Посольненский	6,8	8,2	0,6-1,6	9,4-10	0,83
8	Массив Таракский	10,1	27,5	6,7	69,7	0,36
9	Массив Тарбаганахский	10	15	6	23	0,66
10	*Массив Узляхский	15	33,6	н.д.	50	0,44
11	Массив Нют-Ульбейский	2	3	3	1,9	0,66
12	Улский комплекс	3	6,6	9,6	2,7	0,45
13	Комплекс $C_3-P$	4	5,2	2,3	3,3	0,77
14	Массив Актау	1,87	4,35	2,0-3,2	6,4-9,6	0,43

Примечание. \*  $C_{\text{отн}}$  была рассчитана исходя из средней потери золота РОФ, для данной выборки, равной 66% от исходного содержания;  $K_p = C_{\text{отн}}/C_{\text{II}}$  – валовый коэффициент распределения. Количество проб на фазу колеблется от 3 до 95 штук, в среднем составляя 12. Разница в средних содержаниях по фазам статистически значимая. Метод количественного анализа на золото нейтронно-активационный.

Вычисления исходной (до выноса) концентрации золота в рудоотдающей фазе проводились по уравнению:

$$\ln C_{\text{исх}} = -a \ln \Pi_d + b, \quad (1)$$

где  $a$  – наклон,  $b$  – отрезок на оси ординат соответствующей регрессивной прямой,  $C_{\text{исх}}$  – исходное (до выноса) содержание элемента в рудоотдающей фазе,  $\Pi_d$  – показатель дифференцированности этой фазы.

Относительная величина выноса золота определялась как разница между исходным содержанием (рассчитывается) и фактическим (аналитические данные):

$$C_{\text{отн}} = C_{\text{исх}} - C_{\text{факт.}} \quad (2)$$

**Обсуждение результатов.** Из табл. 1 видно, что размах колебаний ОВВ золота весьма значительный – от 0,7 мг/т у Себинского массива (безрудный) до 69,7 мг/т у Таракского (высокопродуктивный). При этом у Таракского аномально высокая интенсивность накопления золота в процессе дифференциации, что находит отражение в величине валового коэффициента разделения (0,36).

При анализе взаимосвязи величин  $K_p$ ,  $C_{\text{отн}}$  и продуктивности рассматриваемых массивов и комплексов необходимо учитывать, что надынтрузивная зона, вмешавшая наиболее крупные месторождения, уничтожена эрозией, тем не менее приводимый фактический материал, позволяет сделать вывод о том, что рудогенерирующая способность гранитоидов на золото прямоп-

ропорциональна его относительной величине выноса  $C_{\text{отн}}$ , которая зависит, в первую очередь, от начальной концентрации его в материнской магме ( $C_o = 90\% C_1 + 10\% C_{II}$ ), коэффициент корреляции  $r_{\text{Сотн}, \text{Co}} = 0,87$ , а во вторую – от интенсивности накопления золота в ряду последовательных дифференциатов, характеризуемая валовым коэффициентом распределения ( $K_p$ ),  $r_{\text{Сотн}, K_p} = -0,57$ .

Необходимо особо подчеркнуть, что накопление Au в процессе дифференциации гранитоидов – необходимое условие для формирования высокопродуктивного оруденения. Это очевидно из того факта, что объемы последовательных дифференциатов, от начальных к заключительным, имеют тенденцию к резкому сокращению. В первом приближении для магматического тела одноактного заполнения объемы распределяются следующим образом: главная фаза – 90%, дополнительная – 9% и жильная – 1% [21, 25]. В случае прогрессивного накопления золота ( $K_p = 0,5$ ) количество металла, достигающего рудоотдающей фазы и могущего участвовать в рудообразовании, более чем в 10 раз превышает его количество по сравнению со случаем устойчивого снижения концентрации золота ( $K_p = 2$ ).

Очень показателен в этом отношении редкий пример прогрессивного накопления золота при формировании апогранитов района Сент-Ирье (Франция), возраст 320 млн лет [23] (табл.2).

Таблица 2. Геохимия золота гранитов Сент-Ирье

Порода	Содержание Au, мг/т
Биотитовые граниты	6,75
Двуслюдянные граниты	16,86
Апограниты	97,7
Апограниты, богатые кварцем	153,70

Золотое оруденение в районе представлено кварц-золотым, кварц-сульфидно-золотым и «распыленным» типами. Основное значение принадлежит первому типу – мелкое месторождение Шени (7,5 т), ко второму относятся рудопроявления Гарейя и др. (порядка 500 кг), «распыленное» золото в апогранитах связано с кварцевыми прожилками и характеризуется крайне низкими содержаниями. В целом, включая галло-римскую эпоху, было добыто всего 20 т металла. Таким образом, отсутствие условий для потери золота, как следствие, его прогрессивное накопление, вплоть до образования золотоносных апогранитов, сыграло негативную роль для формиро-

вания высокопродуктивного оруденения, хотя геохимические предпосылки для этого были ? высокая концентрация золота и высокая интенсивность накопления.

Таким образом, относительная величина выноса, являясь более однозначным критерием потенциальной продуктивности гранитоидов на золото, позволяет вычислить величину абсолютного выноса. Она зависит от объема материнской магмы, вертикальной мощности магматического тела, морфологии апикальной части, теплофизических свойств вмещающих пород, т.е. тех условий становления, которые определяют длительность дифференциации и в конечном итоге объем рудоотдающей фазы. Ранжирование по запасам величины абсолютного выноса каким-либо из методов [14] позволит в первом приближении оценить запасы наиболее крупного месторождения в связи с конкретным комплексом или массивом гранитоидов, что повысит вероятность обнаружения объекта поисков за счет согласования его размеров и сети наблюдений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов П.Т., Айзенштат В.И., Аскarov Ф.А. Гранитоидные формации Узбекистана. Ташкент: ФАН, 1970. 249 с.
2. Александров И.В. Геохимические факторы и парагенезисы элементов в гранитоидах. М.: Наука, 1989. 184 с.
3. Аношин Г.Н. Золото в магматических горных породах. М.: Наука, 1977. 205 с.
4. Бескин С.М., Марин Ю.Б. Некоторые вопросы изучения гранитоидных формаций // Зап. Всесоюз. минер. обва. 1972. Ч.101. С. 204-222.
5. Воскресенская Н.Т., Зверева Н.Ф. Некоторые вопросы геохимии золота в связи с рудоносностью магматических комплексов Северного Казахстана // Геохимия. 1968. № 4. С. 422-431.
6. Гранитоиды восточной части Южного Тянь-Шаня / Байбулатов Э.Б., Боконбаев К.Д., Сабельников С.Е. и др. Фрунзе: Илим, 1973. 242 с.
7. Гринберг Г.А., Гамянин Г.Н., Одинцова В.М. Распределение олова, свинца и золота в позднемезозойских магматических породах юго-западной части Охотско-Чукотского вулканического пояса // Вулканические и интрузивные формации Приохотья. Новосибирск: Наука, 1976. С. 122-134.
8. Давлетов И.К. Закономерности поведения золота в процессе кристаллизации дифференциатов интрузивного комплекса одного из районов Тянь-Шаня // Геохимия золота. Владивосток, 1978. С. 70-101.
9. Зайцев С.И. Рудогенерирующая способность гранитоидов (на примере оловоносных) // Вестник АН КазССР. 1986. № 6. С. 76-79.

10. Зайцев С.И. К количественному анализу рудогенерирующей способности гранитоидов // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1988. № 3. С. 58-63.
11. Зайцев С.И. Рудогенерирующая способность гранитоидов. Алма-Ата: КазНИИНТИ, 1990. 93 с.
12. Залищак Б.Л., Пискунов Ю.Г. Петрография интрузивных пород Улской вулкано-плутонической структуры (Нижнее Приамурье) // Новые данные по геологии и рудоносности Монголо-Охотского пояса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 110-142.
13. Залищак Б.Л., Пискунов Ю.Г. Особенности распределения элементов-примесей в интрузивных породах и минералах Улской вулкано-плутонической структуры (Нижнее Приамурье) // Магматизм рудных районов Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 70-101.
14. Квятковский Е.М. Количественные соотношения различных видов и форм нахождения химических элементов в литеосфере. Статья II. // Известия вузов. Геология и разведка. 1984. № 9. С. 37-52.
15. Конников Э.Г., Ермолов П.В., Добрецов Г.П. Петрология сининверсионных габбро-гранитных серий. Новосибирск: Наука, 1977. 140 с.
16. Коптев-Дворников В.С. К вопросу о некоторых закономерностях формирования интрузивных комплексов гранитоидов. (На примере Центрального Казахстана) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1952, № 4.
17. Кузнецов Ю.А. Избранные труды. 1988. Т.1. 218 с.
18. Ли Л.В., Даценко В.М. Особенности распределения золота в гранитоидах протерозойских интрузий Южно-Енисейского кряжа // Геохимия. 1973. № 6. С. 848-855.
19. Магматизм Северного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1988. 168 с.
20. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана / В.В.Лопатников, Э.П.Изох, П.В.Ермолов и др. М.: Наука, 1982. 248 с.
21. Марин Ю.Б. Гранитоидные фоормации малых и умеренных глубин (выделение, структура, становление, эволюция). Л.: Недра, 1976. 280 с.
22. Недосекин Ю.Д. Геология и петрология Нют-Ульбейского гранитоидного массива // Вулканические и интрузивные формации Приохотья. Новосибирск: Наука, 1976. С.14-42.
23. Норман Д., Фан К.Д. Геохимические особенности распределения золота в золотоносном районе Сент-Ирье, Центральный массив // Геология и геохимия рудных месторождений. М.: Мир, 1971. С. 53-64.
24. Пчелинцева Н.Ф. Поведение золота при формировании гранитоидных интрузивов Северного Казахстана // Геохимия золота. Владивосток, 1978. С. 76-84.
25. Рудоносность магматических ассоциаций / В.И.Коваленко, М.Г.Руб, М.А.Осипов и др. М.: Наука, 1988. 231 с.
26. Уваров В.В., Дьячков Б.А. К геохимии золота в магматических комплексах Калба-Нарымского района (Восточный Казахстан) // Геохимия. 1972. № 9. С. 1130-1132.
27. Хитрунов А.Т., Кухтинский Г.Г., Мельцер М.Л. Геохимические особенности гранитоидов Южно-Верхоянского синклиниория и связь с ними золоторудных месторождений // Золоторудные формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1975. С. 178-215.
28. Щерба Г.Н. Формирование редкометальных месторождений Центрального Казахстана. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. 381 с.
29. Wetzel K. On correlations between the concentrations of element pairs in continental magmatic // Z. Angew. Geol. 1988. N 11. P. 329-334.