

УДК 550.42 + 550.83 + 550.84 + 551.521

ГЕОХИМИЯ

П. А. БАЛЫКИН, В. И. БОРОБЬЕВ, Ф. П. КРЕНДЕЛЕВ

**ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ КЛАРКОВ
РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЯХ
СЛАНЦЕВОЙ ПОЛОСЫ**

(Представлено академиком Ю. А. Кузнецовым 11 VI 1971)

В 1955 г. на Женевском совещании по мирному использованию атомной энергии ⁽¹⁾ отмечалось, что для крупных золоторудных провинций характерна повышенная общая радиоактивность пород, без указания, какой элемент или элементы вызывают повышение радиоактивности — U, Th или K⁴⁰. Еще ранее были сообщения о том ⁽⁶⁾, что общая радиоактивность не всегда служит надежным критерием для выделения и сопоставления золоторудных рифов друг с другом. Это можно объяснить методом исследования; измерения общей радиоактивности велись при помощи счетчика Гейгера — Мюллера, не дающего возможности оценить вклад каждого из естественных радиоактивных элементов (е.р.э.) в общую радиоактивность. Недавно ⁽²⁾ по косвенным данным установлено, что и другие типы золоторудных месторождений залегают в толщах с повышенными значениями общей радиоактивности. В частности, это относится к штокверковым и жильным телам, залегающим в сланцевых толщах.

Развитие методов гамма-спектрометрии позволяет внести некоторые уточнения в этот вопрос. Использование стандартного спектрометра СП-3 дает возможность измерить количество всех трех е.р.э. одновременно, без отбора пробы непосредственно на обнажении или в забое ⁽³⁾.

В задачу данного исследования входило определение корреляционных зависимостей между содержаниями Au и кларковыми количествами е.р.э. Исследования произведены на двух месторождениях, где жильные тела и штокверки залегают в толще филлитовидных кварц-хлорит-серицитовых сланцев нижнего протерозоя.

Жильные тела и прожилки в штокверках представлены кварцем с небольшим количеством сульфидов, главным образом пирита, а также хлоритов, серицита и карбонатов. В экзоконтакте жил и прожилков филлитовидные сланцы заметно обогащены сульфидами, изредка слюдами и повсеместно окварцеваны и серицитизированы.

Методика работ заключалась в следующем. В опробованном бороздовым пробиром кварцитаге с известным по данным пробирного анализа распределением золота в точках, строго соответствующих центру бороздовой пробы, измерены содержания U (по Ra), Th и K (по K⁴⁰) на СП-3. Замеры в 240 точках (343 замера) выполнены в двух вариантах: 1) с неэкранированной гильзой; 2) с гильзой, защищенной свинцовым цилиндром высотой 170 мм и толщиной стенки 18 мм. В каждой точке измерения в сланцах отобрана контрольная проба для лабораторного анализа на содержание е.р.э. На основе измерений строились графики сравнения результатов опробования разных вариантов и графики содержаний золота в тех же точках.

Прежде всего отметим, что гамма-спектрометрические измерения на СП-3 и определения е.р.э. в лаборатории (гамма-спектрометрический анализ) свидетельствуют об одном и том же характере изменения содержа-

Таблица 1

Результаты определения в сланцах корреляционной зависимости Au — U и Au — K

Методика определения содержания е.р.э.	Эмпирич. коэф. корреляции		Теоретич. допустимый коэф. корреляции	Уровень значимости	Число проб в выборке	Элементы	Связь между элементами
	метод ранговой коррел.	метод линейной коррел.					
Прибор СП-3 без экрана	0,45	—	0,47	0,05	18	Au — U	Незначима
	0,63	—	0,48	0,01	18	Au — K *	Значима
	0,47	—	0,42	0,05	23	Au — K **	»
Прибор СП-3 с экраном	0,4	—	0,31	0,05	40	Au — U	»
	0	0,5	—	0,02	43	Au — U	»
	0,35	—	0,31	0,05	40	Au — K	»
Лабораторные анализы	—	0,25	—	0,05	43	Au — K	Незначима
	0,44	—	0,31	0,05	42	Au — U	Значима
	0,39	—	0,31	0,05	42	Au — K	»

* Незамененные сланцы экзоконтактов жил.

** Измененные сланцы экзоконтактов жил.

ний трех элементов (с незначительными несовпадениями). Расчеты по методике ⁽⁴⁾ показали отличную сходимость определений Th и K (параметры уравнений регрессии указывают на устойчивую связь ($q \ll 5\%$)) и удовлетворительную для урана ($q \approx 5\%$). Таким образом, спектрометрические измерения на СП-3 кларковых содержаний K и Th вполне достоверны, а для U — не всегда. Последнее объясняется тем, что абсолютные содержания урана в сланцах и кварцевых жилах лежат близко или ниже предела чувствительности гамма-спектрометрического метода. Большая достоверность определений U получается при замерах без экрана, что объясняется увеличением объема породы, оказывающей влияние на сцинтиллятор. Однако при этом низкие пики повышения содержаний на упомянутых выше графиках сглаживаются, тогда как при окрашивании гильзы такие пики отчетливо фиксируются. Они же хорошо подтверждаются результатами лабораторных измерений, что делает необходимым применение лабораторных проверок при интерпретации результатов гамма-спектрометрических методик. Не исключено, что на измерениях с экраном будет сказываться искажение спектра излучения каждого е.р.э., что нуждается в особом исследовании.

Из рассмотрения графиков сравнения содержаний золота по данным пробирного анализа и трех е.р.э. по замерам без экрана, с экраном и по лабораторным данным вытекает следующее:

1. В зонах золотого оруденения отмечается общее повышение содержаний каждого из трех е.р.э.

2. Кварцевые жилы обладают пониженными содержаниями K, U, Th.

3. Наиболее высокие содержания е.р.э. приурочены к измененным сланцам в экзоконтактах жил.

4. Участки максимальной дисперсии содержаний каждого из е.р.э. и Au совпадают, но не во всех случаях. На одном месторождении два пика повышенных концентраций золота не подтверждены измерениями на СП-3. На втором месторождении число несовпадений больше.

5. Графики, отображающие содержание е.р.э. и Au в сланцах (кварцевые жилы исключены), показывают явную корреляцию между содержаниями K, U и Au; между Th и Au подобной зависимости не отмечается.

Статистическая обработка результатов измерений ^(4, 5) показала, что парных корреляций между содержаниями Au и U, Th, K нет ни в жилах, ни в целом по всей выборке на обоих месторождениях. В неизмененных сланцах корреляционные зависимости между е.р.э. проявляются наиболее отчетливо. Это видно из табл. 1, характеризующей первое месторождение.

Подобные расчеты для второго месторождения выявляют прямую корреляционную зависимость только между содержаниями Au и U в сланцах двух кварцлагов из семи. Степень дисперсии содержаний е.р.э. резко возрастает на всех участках проявления золотого оруденения обоих месторождений. Корреляционные связи наиболее устойчивы для е.р.э. неизмененных сланцев, а для е.р.э. и Au — в измененных сланцах и не устанавливаются для жильного материала.

Таким образом, можно отметить, что кларковые содержания всех трех е.р.э. — U, Th и K — повышаются в ореолах золоторудных тел, залегающих в сланцах. При этом наблюдается прямая корреляционная зависимость содержаний Au — K и Au — U, а пики повышенных значений U и K отмечаются только в золотоносных зонах. Повышенные содержания Th распределены случайно и не коррелируются с содержаниями Au. Поэтому суммарный эффект трех е.р.э. оказывается «размазанным». Выявленные обычным радиометром участки повышенной радиоактивности следует детализировать методами гамма-спектрометрии для выделения вероятных золотоносных зон.

Сказанное позволяет рекомендовать методы полевой гамма-спектрометрии для оконтуривания таких зон в пределах сланцевых толщ зеленосланцевой фации метаморфизма.

Результаты измерений с экраном оказываются более надежными, поскольку выявляют более локальные пики. Вместе с тем, замеры без экрана увеличивают чувствительность измерений. Это дает право рекомендовать разработку спектрометров с большими размерами сцинтилляционных кристаллов, тогда и при экранировании чувствительность, по-видимому, будет повышенной. Повышение чувствительности при анализе U даст возможность исследовать корреляции в паре Au — U при более низких содержаниях урана.

Авторы признательны В. А. Боброву, А. М. Гофману, А. Д. Ножкину, Н. Г. Попетасовой и А. С. Серых за советы и консультации при написании данной работы.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
2 VI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹М. Р. Клеппер, Д. С. Уайент, Урановые провинции. Мирное использование атомн. энергии. Матер. Международн. конгр. в Женеве, 6, 1955, М., 1958. ²Ф. П. Кренделев, Кларки радиоактивных элементов в докембрийских породах Енисейского края, «Наука», 1971. ³А. Л. Якубович, Е. И. Зайцев, С. М. Прижигловский, Ядерно-физические методы анализа минерального сырья, М., 1969. ⁴А. А. Беус, С. В. Григорян и др., Руководство по предварительной математической обработке геологической информации при поисковых работах, «Наука», 1965. ⁵В. Н. Бондаренко, Статистические решения некоторых задач геологии, «Наука», 1970. ⁶D. J. Simpson, Trans. Geol. Soc. South Africa, 55 (1952).