

## УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОИЗОТОПОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОРОД МАЛОМЫРСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЕЁ КОРРЕЛЯЦИЯ С СОДЕРЖАНИЕМ В НИХ ЗОЛОТА

**Н.В. Моисеенко**, канд. геол.-минерал. наук, научный сотрудник

**Н.И. Синякова**, младший научный сотрудник

**Н.М. Сафина**, инженер

**ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН**

(Россия, г. Благовещенск)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-11-3-129-134

**Аннотация.** Предпринята попытка выявить закономерности проявления радиоактивности бета- и гамма-излучающих изотопов в различных типах пород золоторудного месторождения Маломыр. Для каждого типа установлено наличие или отсутствие корреляционных связей удельной активности бета-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и гамма-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{228}\text{Th}$  с содержанием золота. В ходе исследования были рассмотрены золотоносные метасоматиты, углеродистые сланцы и плагиограниты. Установлено, что средние значения удельной активности радиоизотопов в метасоматитах ниже, чем в углеродистых сланцах и плагиогранитах. Показано, что метасоматиты имеют тенденцию к отрицательной корреляции между активностью радиоизотопов и содержанием золота, а вмещающие породы – к положительной.

**Ключевые слова:** радиоактивные изотопы, золото, золоторудное месторождение, рудные метасоматиты, углеродистые сланцы, плагиограниты.

Месторождение Маломыр расположено в Селемджинском районе Амурской области в бассейне ручьев Сухоныр и Маломыр (левые притоки р. Ниж.Стойба). Оно принадлежит одноименному рудно-рассыпному узлу Джагды-Селемджинской металлогенической зоны. Месторождение находится в пределах Монголо-Охотской складчато-надвиговой системы образованной при сближении Сибирской платформы с севера и докембрийского Буреинского срединного массива с юга. Структура рудного поля характеризуется напряженной складчатостью сжатия с пересекающимися разломами разных порядков.

Месторождение Маломыр сложено преимущественно метаморфическими породами среднего карбона златоустовской свиты. В составе златоустовской свиты выделяются комплексы общей особенностью которых является переслаивание различных литологических разновидностей пород. Рудовмещающие породы являются гидротермально-метасоматически преобразованными, их минеральный состав определяется составом исходных пород.

По пелитам и алевропелитам развиваются кварц-серицитовые сланцы, по полимиктовым песчаникам и вулканитам среднего состава – кварц-альбит-серицитовые, кварц-альбитовые и серицит-альбитовые сланцы, по плагиоэффузивам – кварц-альбитовые, альбитовые и серицит-мусковит-альбитовые сланцы, по вулканитам и туффидам средне-основного состава – зеленые сланцы кварц-карбонат-хлоритового и кварц-карбонат-альбит-хлорит-серицитового состава [1].

Интрузивные породы в пределах месторождения образованы позднепалеозойскими плагиогранитами златоустовского комплекса, слагающими субсогласные тела линзообразной формы среди сланцев златоустовской свиты. Тела гранитоидов совместно с вмещающими породами дислоцированы, милонитизированы и метаморфизованы в зеленосланцевой фации, на все породы наложилось интенсивное окварцевание и альбитизация.

Рудные минералы представлены в основном пиритом и арсенопиритом. Также присутствуют примеси халькопирита, га-

ленита, сфалерита, вольфрамита, магнетита, гематита, ильменита и самородного золота.

Все типы метасоматитов данного месторождения содержат золотосульфидную или золото-кварц-сульфидную минерализацию различной интенсивности.

Для исследования были отобраны породы следующих типов: рудные метасоматиты, вмещающие углеродистые сланцы и плагиограниты. Пробоподготовка включала в себя щадящее дробление и разделение на фракции (+2), (-2+1), (-1+0,5) и (-0,5). Для всех подготовленных проб, а также образцов пород, были проведены замеры удельной активности бета-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и гамма-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{228}\text{Th}$  на сцинтилляционном

спектрометре «Прогресс». Фиксация результатов измерения проводилась при помощи программного обеспечения «ПРОГРЕСС-5». Содержание золота во всех пробах было определено методом атомно-абсорбционного анализа (АЦ МГИ ИГиП ДВО РАН). Значения линейных коэффициентов Пирсона для парных корреляций рассчитаны при помощи программного обеспечения STATISTICA 10.

В результате исследования были получены данные об удельной активности радиоизотопов во всех типах пород. В таблице 1 показаны усредненные значения радиоактивности для каждого изотопа, в нижней части таблицы также приведены средние содержания золота для пород и руды.

Таблица 1. Средняя удельная активность (в Бк/кг) радиоизотопов в породах и рудных метасоматитах Маломырского золоторудного месторождения

	Радио-изотопы	Метасоматиты	Углеродистые сланцы	Плагиограниты
бета	$^{40}\text{K}$	649,43 ± 99,99	1160,35 ± 144,77	849,44 ± 325,64
	$^{137}\text{Cs}$	1669,30 ± 244,63	2956,65 ± 306,47	2545,78 ± 781,25
гамма	$^{40}\text{K}$	591,46 ± 98,22	1189,17 ± 145,78	890,56 ± 262,32
	$^{137}\text{Cs}$	1,63 ± 0,51	1,64 ± 1,10	0,96 ± 1,39
	$^{222}\text{Rn}$	62,32 ± 10,51	114,28 ± 13,23	129,87 ± 25,85
	$^{224}\text{Ra}$	13,27 ± 4,39	26,51 ± 9,35	33,02 ± 13,04
	$^{226}\text{Ra}$	24,74 ± 4,58	34,82 ± 5,89	49,54 ± 20,40
	$^{228}\text{Ra}$	24,76 ± 6,89	45,04 ± 9,72	57,99 ± 18,25
	$^{232}\text{Th}$	22,25 ± 4,74	37,25 ± 4,57	53,80 ± 11,04
	$^{228}\text{Th}$	24,99 ± 6,63	46,32 ± 7,31	77,43 ± 15,25
Медианное содержание Au (г/т)		3,0	0,44	0,19

По представленным результатам (табл. 1) видно, что вмещающие углеродистые сланцы и плагиограниты проявляют большую радиоактивность, чем рудные метасоматиты. У легких бета-излучающих

изотопов  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  и гамма-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$  (рис. 1) наблюдается наиболее высокая удельная активность в углеродистых сланцах с понижением значений в плагиогранитах.

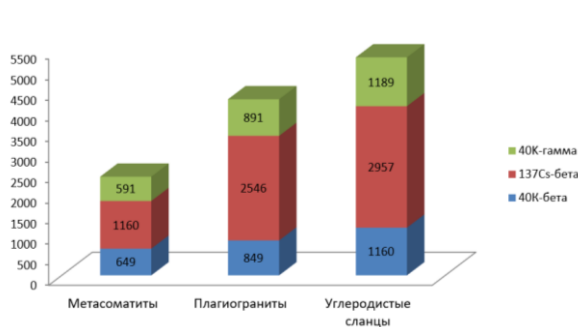


Рис. 1. Гистограмма удельной активности (Бк/кг) легких изотопов  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  пород и руд месторождения Маломыр

Для тяжелых изотопов уран-ториевых семейств (рис. 2) наблюдается обратная картина, но в обоих случаях изотопы руд имеют самую низкую активность.

Активность изотопа  $^{40}\text{K}$  в определенном смысле зависит от содержания К, а концентрации таких радиоактивных элементов как уран и торий влияют на активность тяжелых радиоизотопов в разных типах

пород и руд месторождения. По результатам РФА (рис. 3) самое высокое содержание  $\text{K}_2\text{O}$  у сланцев, поменьше у плагиогранитов и ниже всего у рудных метасоматитов. Концентрации радиоактивных элементов (уран, торий) по результатам масс-спектрометрии (ICP-MS) ожидаемо имеют максимальные значения в плагиогранитах.

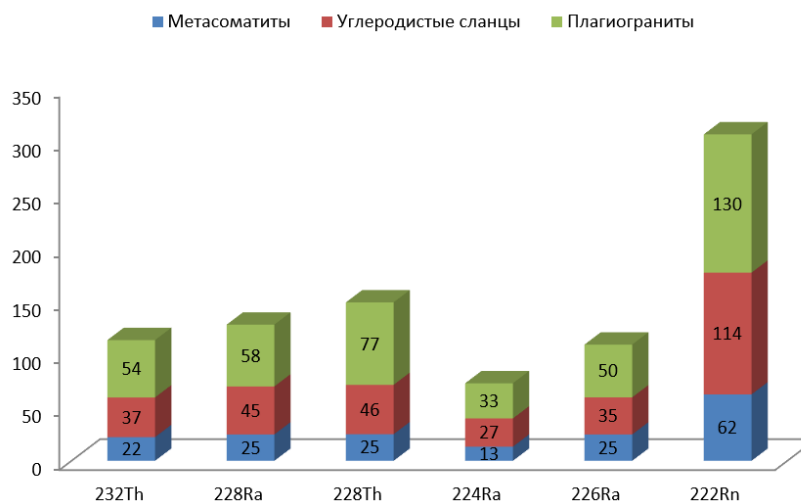


Рис. 2. Гистограмма удельной активности (Бк/кг) группы изотопов уран-ториевых семейств пород и руд месторождения Маломыр

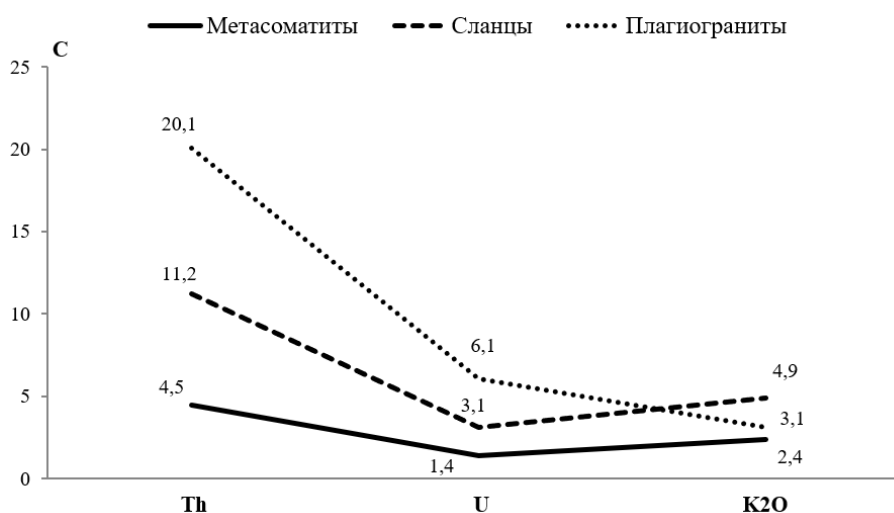


Рис. 3. График медианных содержаний (С) радиоактивных элементов (г/т) и  $\text{K}_2\text{O}$  (%) в породах и рудных метасоматитах золоторудного месторождения Маломыр

На месторождении Маломыр полевые шпаты в основном представлены альбитом, в гораздо меньшей степени – адуляром, или ортоклазом, поэтому, по всей видимости, содержание калия связано с присутствием серицита, широко развитого в углеродистых сланцах. По минералогиче-

скому анализу такие акцессорные минералы как циркон, в основном встречаются в плагиогранитах, в меньшем количестве в сланцах и метасоматитах. Удельная активность радиоизотопа  $^{40}\text{K}$  связана с концентрацией К в породах, а активность  $^{222}\text{Rn}$ ,

$^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{228}\text{Th}$  с ураном и торием.

Отдельно была рассмотрена радиоактивная способность метасоматитов с разных участков месторождения. Все рудные метасоматиты были разделены на группы. Каждая группа проб отбиралась с определенного участка месторождения, относя-

щегося к отдельной рудной зоне. Были отобраны пробы с Центральной, Кварцитовой и Ожидаемой рудных зон. В таблице 2 приведены сравнительные данные по удельной активности всех исследуемых изотопов, а также усредненные содержания золота для каждой зоны.

Таблица 2. Средняя удельная активность (в Бк/кг) радиоизотопов в метасоматитах рудных зон Маломырского золоторудного месторождения

Радиоизлучающие		Зона Центральная	Зона Кварцитовая	Зона Ожидаемая
бета	$^{40}\text{K}$	859,77 ± 131,31	712,23 ± 236,20	711,75 ± 206,01
	$^{137}\text{Cs}$	2191,50 ± 323,08	1760,62 ± 519,17	1752,13 ± 734,17
гамма	$^{40}\text{K}$	862,96 ± 149,25	569,62 ± 162,17	563,63 ± 212,98
	$^{137}\text{Cs}$	1,72 ± 0,76	2,58 ± 1,60	1,21 ± 1,70
	$^{222}\text{Rn}$	53,89 ± 11,66	108,72 ± 21,94	93,31 ± 16,83
	$^{224}\text{Ra}$	4,18 ± 1,84	24,23 ± 9,61	44,51 ± 14,72
	$^{226}\text{Ra}$	14,65 ± 4,08	49,10 ± 10,21	30,84 ± 11,74
	$^{228}\text{Ra}$	10,59 ± 5,14	54,22 ± 13,78	61,10 ± 16,20
	$^{232}\text{Th}$	12,28 ± 4,61	44,62 ± 6,66	44,34 ± 8,42
$^{228}\text{Th}$	11,02 ± 4,30	55,08 ± 15,91	49,26 ± 20,94	
Медианное содержа-		3,8 г/т	1,84 г/т	0,75 г/т

Согласно полученным данным, тяжелые радиоизотопы уран-ториевых рядов ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{228}\text{Th}$ ) ведут себя иначе, чем легкие ядра  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . В зонах Кварцитовая и Ожидаемая удельные активности всех изотопов сравнимы по значениям. В пробах метасоматитов зоны Центральная тяжелые ядра проявляют сравнимо меньшую активность, чем в других зонах, а легкие наоборот – большую. Такая закономерность связана с более высокими значениями  $\text{K}_2\text{O}$  для рудных метасоматитов зоны Центральной ( $\text{K}_2\text{O}$ -3.3%) по сравнению с зонами Кварцитовой ( $\text{K}_2\text{O}$ -2.8%) и Ожидаемой ( $\text{K}_2\text{O}$ -2.6%).

Основной целью исследования было выявление возможных корреляционных связей между радиоактивностью пород и содержанием в них золота. Для каждого типа пород рассматриваемого месторождения были просчитаны линейные коэффициенты корреляции Пирсона (R) между удельными активностями изотопов, полученных на сцинтилляционном спектромет-

ре «Прогресс» и удельными содержаниями Au в тех же пробах. Результаты представлены в виде диаграмм на рисунке 4. Для наглядности диаграммы построены в единой системе координат, что дает возможность сравнить распределение коэффициентов корреляции для разных типов пород.

Нет оснований полагать, что концентрация золота в породах может напрямую зависеть от излучательной способности радионуклидов. Эта связь может носить опосредованный характер, так как удельная активность радиоизотопов в некоторой мере характеризует содержание в породах радиоактивных элементов, зависящее также от ряда других параметров (периода полураспада, массового числа и др.).

Рассматриваемая корреляционная связь не может быть оценена непосредственно, поэтому прямая оценка величин коэффициентов корреляции не будет иметь смысла. Однако, возможно выделить основную тенденцию распределения коэффициентов Пирсона для каждого типа пород.

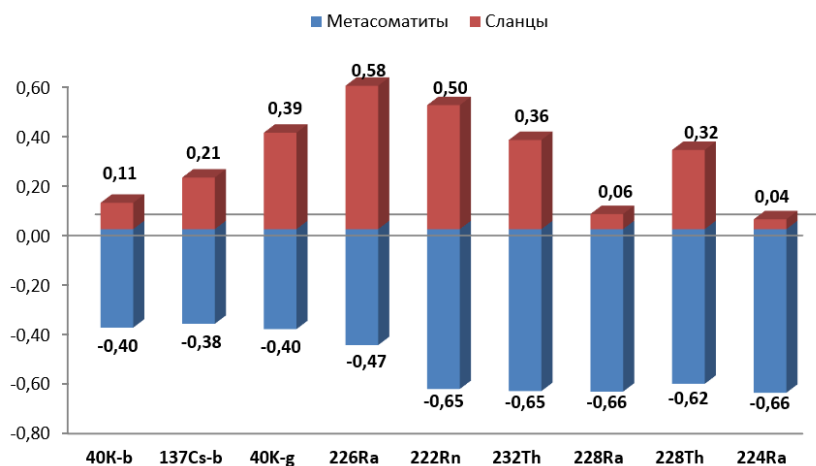


Рис. 4. Коэффициенты корреляции (R) активности радиоизотопов с содержанием золота. Показаны значения коэффициентов корреляций, значимых на уровне  $p < .05000$

Среди полученных результатов наибольший интерес представляют диаграммы для рудных метасоматитов, величины R которых имеют отрицательные значения для всех излучающих изотопов (рис. 4). Такая обратная корреляция может свидетельствовать о том, что породы, в которых происходит концентрация благородного металла, характеризуются падением уровня активности изотопов при увеличении содержания золота. Обратную тенденцию имеют коэффициенты корреляции для вмещающих углеродистых сланцев, они либо положительные, либо

слабоположительные. Для плагиогранитов каких-либо существенных закономерностей распределения рассматриваемых корреляционных значений не выявлено.

В результате проведенных исследований было установлено, что средние значения удельной активности радиоизотопов в метасоматитах ниже, чем в углеродистых сланцах и плагиогранитах. Показано что в метасоматитах наблюдается отрицательная корреляция между активностью радиоизотопов и содержанием золота, а вмещающие породы характеризуются положительной корреляцией.

#### Библиографический список

1. Буряк В.А., Пересторонин А.Е. Маломыр – первое крупное золоторудное месторождение сухоложского типа в Приамурье (геология рудного поля и месторождения, перспективы, проблемы освоения). – Благовещенск-Хабаровск: ИКАРП ДВО РАН, КПР АО МПР РФ, ООО НП-Центр, 2000 – 48 с.

---

**SPECIFIC ACTIVITY OF RADIOISOTOPES OF DIFFERENT TYPES OF ROCKS OF THE MALOMYRSKOYE GOLD DEPOSIT AND ITS CORRELATION WITH THEIR GOLD CONTENT**

**N.V. Moiseenko**, *Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher*

**N.I. Sinjakova**, *Junior Researcher*

**N.M. Safina**, *Engineer*

**Institute of Geology and Environmental Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences  
(Russia, Blagoveshchensk)**

**Abstract.** *An attempt was made to identify patterns in the manifestation of radioactivity of beta- and gamma-emitting isotopes in various types of rocks of the Malomyr gold deposit. For each type, the presence or absence of correlations between the specific activity of beta-emitting isotopes  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and gamma-emitting isotopes  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{228}\text{Th}$  with gold content has been established. The study examined gold-bearing metasomatites, carbonaceous shales and plagiogranites. It has been established that the average values of the specific activity of radioisotopes in metasomatites are lower than in carbonaceous shales and plagiogranites. It has been shown that metasomatites tend to have a negative correlation between the activity of radioisotopes and gold content, and host rocks have a positive correlation.*

**Keywords:** *radioactive isotopes, gold, gold deposit, ore metasomatites, carbonaceous shales, plagiogranites.*