

УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОИЗОТОПОВ ПОРОД И РУД ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПИОНЕР (ПРИАМУРЬЕ)

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:10.24412/2500-1000-2023-11-3-124-128

Аннотация. Впервые проведены исследования с целью определения удельной активности бета- и гамма-излучающих изотопов в рудных метасоматитах и вмещающих породах золоторудного месторождения Пионер. Установлено, что среднее значение удельной активности для всех радиоизотопов уменьшаются от осадочных пород к магматическим породам и имеют самые низкие показатели для рудных метасоматитов. Определено, что метасоматиты имеют тенденцию к отрицательной корреляции между активностью радиоизотопов и содержанием золота.

Ключевые слова: радиоактивные изотопы, золото, рудные метасоматиты, осадочные породы, магматические породы.

Для изучения радиоактивности бета- и гамма-излучающих изотопов были отобраны образцы и пробы пород и рудных метасоматитов с золоторудного месторождения Пионер (Приамурье). Пробоподготовка включала в себя щадящее дробление каменного материала и разделение на фракции (+2), (-2+1), (-1+0,5) и (-0,5).

Отобранный и подготовленный материал исследовался несколькими аналитическими методами. С помощью минералогического анализа (ИГиП ДВО РАН) была получена информация о процентном содержании разных минералов в пробах. Рентгенофлуоресцентным методом (АЦ МГИ ИГиП ДВО РАН) было установлено содержание основных породообразующих элементов. Для определения содержания радиоактивных и редких элементов использовался метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Содержания золота и серебра получены с помощью атомно-абсорбционного анализа (АЦ МГИ ИГиП ДВО РАН).

Для всех проб и образцов пород были проведены замеры удельной активности бета-излучающих изотопов ^{40}K , ^{137}Cs и гамма-излучающих изотопов ^{40}K , ^{137}Cs , ^{222}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th и ^{228}Th на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс». Фиксация результатов измерения

проводилась при помощи программного обеспечения «Прогресс - 5». Для установления корреляционных связей между золотом и средними удельными активностями бета- и гамма-излучающих изотопов значения линейных коэффициентов Пирсона для парных корреляций были рассчитаны при помощи программного обеспечения STATISTICA- 10.

По особенностям минерального состава руд месторождение Пионер относится к золото-полисульфидно-кварцевой формации [1] и расположено в Северобуреинской зоне Буреинской провинции Монголо-Охотского золотоносного пояса [2]. В геологическом плане оно находится на границе восточного обрамления Гонжинского выступа с Ушумунским наложенным прогибом в зоне контакта раннемеловых гранитоидов Ольгинского массива с верхнеюрскими терригенными отложениями. Стратифицированные отложения на месторождении сложены верхнеюрскими песчаниками аякской свиты с прослоями алевролитов и аргиллитов и на юго-восточном фланге неогеновыми отложениями песков, алевролитов и глин сазанковской свиты. Магматические породы месторождения представлены позднеюрскими субщелочными гранит-порфирами, раннемеловыми диоритами и гранодиоритами

Ольгинского массива и раннемеловыми дайками диорит-порфиритов и андезитов Буриндинского комплекса. Породы Буриндинского комплекса постоянно сопровождают золотую минерализацию. Большинство пород месторождения подверглись метасоматическим изменениям. В прерудный этап формировались эпидот-хлоритовые метасоматиты, в рудный этап образовались серицит-кварцевые, хлорит- и карбонат-кварц-серецитовые березиты, реже аргиллизиты. В пределах месторождения распространены коры выветривания с линейными зонами окисления сложными оксиды и гидроксидами железа, марганца и других минералов зоны окисления. Образование рудных зон связано с системой разломов северо-восточного и северо-западного простирания. Основные рудные зоны – Южная, Промежуточная, Бахмут, Андреевская и Николаевская представлены крутопадающими линейными штокверками с прожилками и жилами кварца, полевых шпатов и развитием карбонатов.

Широко развиты брекчии на кварцевом и кварц-карбонатном цементе и вкрапленная и прожилковая сульфидная минерализация. По данным минералогического анализа основными петрогенными минералами метасоматитов на месторождении являются кварц (30-70%), полевые шпаты (11-45%), карбонаты (1-60%), слюды (1-4%). Сульфиды представлены в основном пиритом (0.5-4%) и реже арсенопиритом (0.5-3%). Из более редких рудных минералов отмечаются антимонит, сфалерит, халькопирит, галенит, молибденит, сульфосоли свинца, меди, мышьяка, теллуриды золота и серебра, акантит, аргентит, самородные золото и серебро. Среди аксессуарных минералов обнаружены циркон и апатит (< 1%).

В результате исследований были получены данные об удельной активности радиоизотопов вмещающих пород и руд (таб. , рис. 1).

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

	Радио-изотопы	Магматические породы	Осадочные породы	Метасоматиты
бета	^{40}K	1099.61±108.06	1140.8±102.69	622.86±234.90
	^{137}Cs	2788.92 ±190.26	3324.45±547.29	1674.65±605.86
гамма	^{40}K	1216.53±121.40	1263.42±153.89	579.80±166.69
	^{137}Cs	3.19±0.95	6.19±3.53	2.24±0.94
	^{222}Rn	107.40 ±8.68	147.11±18.34	51.52±10.88
	^{224}Ra	6.98 ±3.15	22.68±6.62	3.13±2.46
	^{226}Ra	35.02±4.131	50.80±7.94	19.98±3.64
	^{228}Ra	26.53±5.68	49.26±10.21	11.83±4.84
	^{232}Th	32.29±3.51	55.52±7.28	13.14±3.48
	^{228}Th	25.45±4.14	52.09±9.78	14.17±5.87
Медианное содержание Au (г/т)		0.33	0.22	2.34

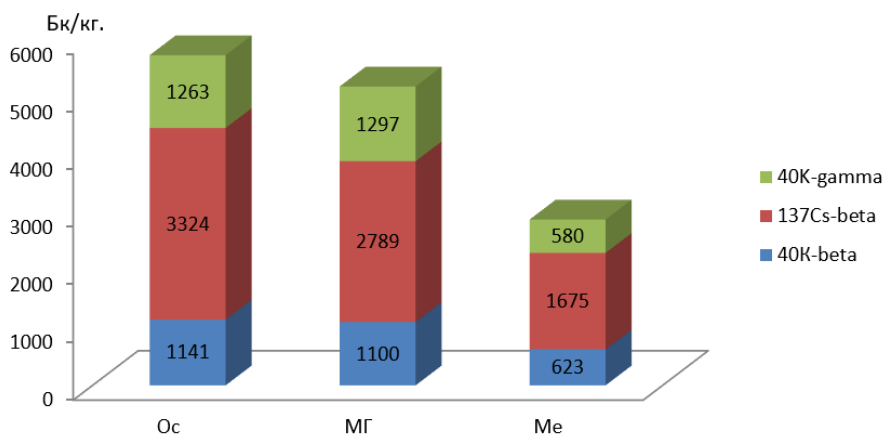


Рис. 1. Гистограмма удельной активности (Бк/кг.) легких изотопов ^{40}K и ^{137}Cs в породах и рудах месторождения Пионер. Примечание: Ос – осадочные породы, МГ – магматические породы, Ме – рудные метасоматиты

По результатам замеров (таб., рис. 1) ясно, что наиболее высокие значения средней удельной активности легких изотопов ^{40}K и ^{137}Cs характерны для осадочных пород, с уменьшением к магматическим породам и далее к метасоматитам. Такая же картина наблюдается и у тяже-

лых изотопов – ^{222}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th и ^{228}Th (таб., рис. 2). Для золота характерна обратная тенденция, самые высокие содержания благородного металла у метасоматитов, более низкие у магматических и осадочных пород.

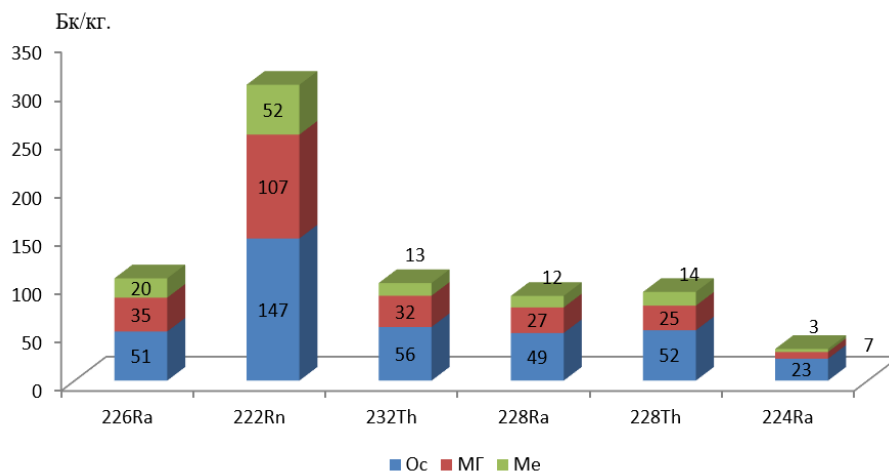


Рис. 2. Гистограмма удельной активности (Бк/кг.) группы изотопов уран-ториевых семейств в породах и рудах месторождения Пионер. Примечание: Ос – осадочные породы, МГ – магматические породы, Ме – рудные метасоматиты

По данным силикатного анализа (рис. 3) содержание K_2O падает в ряду осадочные породы – магматические породы – метасоматиты, такую же тенденцию можно наблюдать по результатам масс-спектрометрии (ICP-MS) для радиоактивных элементов U и Th (рис. 3). По минералогическому анализу калий встречается в таких минералах как полевые шпаты (ортоклаз, адуляр), слюда и т.д. и повышен-

ные содержания K_2O , а соответственно и ^{40}K приводят к более высоким значениям удельной активности у этого легкого изотопа. В осадочных породах (аргиллиты алевролиты) средние содержания полевых шпатов – 60%, в магматических породах – 45%, в рудах приблизительно 20%. Тяжелые изотопы уран-ториевых семейств – ^{222}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th и ^{228}Th представляют продукты распада ^{238}U

и ^{232}Th . По минералогическому анализу на месторождении Пионер в разных породах и рудах основными минералами, содержащими радиоактивные элементы, являются акцессорные минералы – цирконы, кроме этого уран и торий могут входить в

такие минералы как ильменит и биотит. По количеству цирконов обнаруженных при проведении полного минералогического анализа первое место занимают осадочные породы и последнее – рудные метасоматиты.

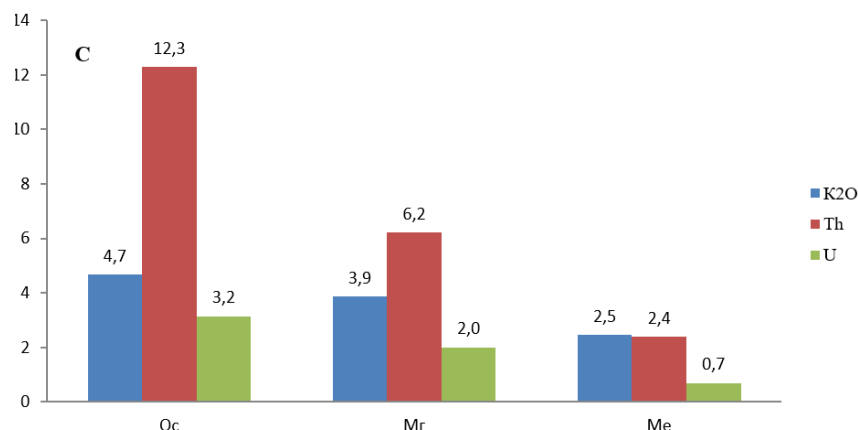


Рис. 3. Гистограмма медианных содержаний (C) радиоактивных элементов (г/т) и K₂O (%) в породах и рудных метасоматитах золоторудного месторождения Маломыр

С целью выявления корреляционных связей между радиоактивностью пород и содержанием в них золота для каждого типа пород были просчитаны линейные коэффициенты корреляции Пирсона (R) между удельными активностями изотопов и содержанием золота. Нет оснований полагать, что концентрация золота в породах и рудах может напрямую зависеть от излучательной способности радионуклидов. Эта связь может носить опосредованный характер, так как удельная активность радиоизотопов в некоторой мере характери-

зует 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, но есть возможность выделить основную тенденцию распределения коэффициентов Пирсона для каждого типа пород. Результаты для рудных метасоматитов представлены на рис. 4.

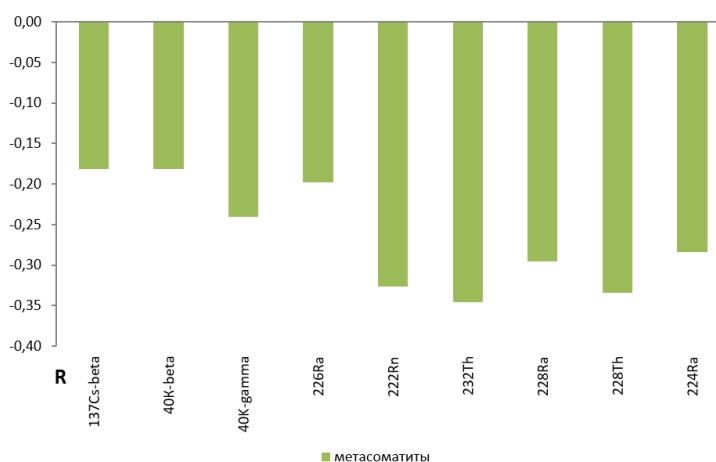


Рис. 4. Гистограмма коэффициентов корреляции (R) удельной активности радиоизотопов с содержанием золота в рудных метасоматитах месторождения Пионер. Показаны значения коэффициентов корреляций, значимых на уровне $p < 0,05000$

Коэффициенты корреляций для метасоматитов имеют отрицательные значения у всех изотопов, и это может указывать на то, что с увеличением концентрации золота в рудах падает удельная активность изотопов. Осадочные комплексы имеют слабоположительную корреляцию, а магматические – слабоотрицательную, поэтому нет возможности определить четкую зависимость между активностью изотопов и концентрацией благородного металла для этих пород.

В результате проведенных исследований пород и руд месторождения Пионер было установлено, что средние значения удельной активности бета-излучающих изотопов ^{40}K , ^{137}Cs и гамма-излучающих изотопов ^{40}K , ^{137}Cs , ^{222}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th и ^{228}Th уменьшаются от осадочных пород к магматическим и самые низкие значения характерны для рудных метасоматитов. Определено что метасоматиты имеют тенденцию к отрицательной корреляции между активностью радиоизотопов и содержанием золота.

Библиографический список

1. Золоторудные месторождения России / под ред. М.М. Константинова. – М.: Акварель, 2010. – 349 с.
2. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 352 с.

SPECIFIC ACTIVITY OF RADIOISOTOPES OF ROCKS AND ORES OF THE PIONEER GOLD DEPOSIT (PRIAMURIE)

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. *For the first time, studies have been carried out to determine the specific activity of beta- and gamma-emitting isotopes in ore metasomatites and host rocks of the Pioneer gold deposit. It has been established that the average value of specific activity for all radioisotopes decreases from sedimentary rocks to igneous rocks and has the lowest values for ore metasomatites. It has been determined that metasomatites tend to have a negative correlation between the activity of radioisotopes and gold content.*

Keywords: *radioactive isotopes, gold, ore metasomatites, sedimentary rocks, igneous rocks.*