

## УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОИЗОТОПОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД АМУРО-ЗЕЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Н.В. Моисеенко, канд. геол.-минерал. наук, н.с.

Н.М. Сафина, инженер

ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН  
(Россия, г. Благовещенск)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-12-3-64-68

**Аннотация.** Установлены средние значения 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  $^{228}\text{Th}$  в магматических породах Амуро-Зейской впадины. В ходе исследований были рассмотрены граниты, гранодиориты и диориты ордовикского октябрьского магматического комплекса и андезиты мелового поярковского магматического комплекса. Значения удельной активности бета- и гамма-излучающих легких изотопов  $^{40}\text{K}$ , и  $^{137}\text{Cs}$  уменьшаются от кислых пород (граниты, гранодиориты) к более основным (диориты, андезиты) разностям. Похожая картина наблюдается и для гамма-излучающих тяжелых изотопов  $^{40}\text{K}$ , и  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ . Не установлена положительная корреляция магматических пород среднего состава октябрьского и поярковского комплексов с золотом.

**Ключевые слова:** радиоактивные изотопы, золото, граниты, андезиты, магматические комплексы, удельная активность изотопов.

Магматические породы на территории работ относятся к октябрьскому и поярковскому магматическим комплексам Амуро-Зейской впадины. Октябрьский гранитовый комплекс ( $\gamma\text{Oo}$ ) слагают умеренно-щелочные граниты, гранодиориты и диориты. Для гранитоидов характерны массивные иногда грубополосчатые текстуры. Состав пород варьирует от гранитов до диоритов [1]. Изменение состава происходит за счет вариаций содержания калиевого полевого шпата и кварца. В породах, кроме структур, характерных для типично интрузивных образований, также наблюдаются метасоматические гранобластовые структуры. В породах встречается зональный плагиоклаз, крупные порфиробласты микроклина и участки с мелкозернистым лейкогранитом. Кроме этого линзы и жилы пегматитов постепенно переходящие во вмещающие граниты указывают на процессы кремниево калиевого метасоматоза. Гранитоиды иногда подвергались процессам динамометаморфизма, катаклаза и милонитизации что приводило к их изменению. Локально по породам проявлены процессы аргиллизации и альбитизации. Среди аксессуарных минералов пре-

обладают циркон, апатит, ильменит, отмечаются ортит и монацит. Гранитоиды характеризуются повышенным содержанием бария, стронция, хрома. Возраст октябрьского комплекса принимается ордовикским [2].

Породы поярковского андезитового комплекса ( $\text{K}_{1\text{рк}}$ ) выполняют рифтогенные впадины раннемелового возраста. В пониженных частях впадин присутствуют преимущественно терригенные породы, а в прибортовых – вулканогенные. Поярковская свита согласно залегает на отложениях итикутской, а там, где она отсутствует – на домезозойском фундаменте. По составу и флористическому комплексу поярковская свита разделена на подсвиты: нижнюю и верхнюю. Верхняя подсвита ( $\text{K}_{1\text{рк}2}$ ) согласно наращивает разрез нижней подсвиты. Она представлена преимущественно эффузивами среднего и основного состава: андезитами, андезибазальтами, базальтами, их туфами, туфо и лавобрекчиями, туфотерригенными породами.

Для проведения исследовательских работ отбирались магматические породы следующих типов: граниты, гранодиориты и диориты октябрьского комплекса и суб-

вулканические андезиты поярковского комплекса. Пробы были издроблены до -1 мм и расситованы на фракции (-1+0,5), (-0,5+0,2) и (-0,2). 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 магматических пород. В таб. 1 показаны усредненные значения радиоактивности для каждого изотопа, в нижней части таблицы также приведены медианные содержания золота в разных типах магматических пород.

Таблица 1. Средняя удельная активность (в Бк/кг) радиоизотопов в магматических породах октябрьского и поярковского комплексов Амуро-Зейской впадины

	Радио-изотопы	Граниты	Гранодиориты	Андезиты	Диориты
бета	$^{40}\text{K}$	1197.04 ± 413	845.25 ± 364	562.33 ± 336	466.16 ± 305
	$^{137}\text{Cs}$	3180.75 ± 642	2602.75 ± 442	1618.94 ± 367	1402.86 ± 348
гамма	$^{40}\text{K}$	1354.25 ± 267	927 ± 177	649.75 ± 149	563.76 ± 149
	$^{222}\text{Rn}$	203.40 ± 24.3	217.97 ± 26.2	126.20 ± 9.15	98.33 ± 15
	$^{226}\text{Ra}$	75.85 ± 13.3	126.55 ± 19.9	72.08 ± 7.97	37.44 ± 14.2
	$^{228}\text{Th}$	100.64 ± 26.4	92.47 ± 20.4	62.18 ± 10.7	43.16 ± 14.3
	$^{228}\text{Ra}$	90.76 ± 33.4	69.02 ± 24.8	34.40 ± 22.4	16.38 ± 11.2
	$^{232}\text{Th}$	86.03 ± 20.7	78.25 ± 15.1	25.10 ± 8.8	17.18 ± 9.9
	$^{224}\text{Ra}$	58.22 ± 27.3	16.6 ± 13.3	15.47 ± 12.3	7.17 ± 3.6
Медианное содержание Au (г/т)		0.015	0.010	0.032	0.036

По полученным результатам (табл. 1) видно, что самые высокие значения удельной активности легких бета-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  и гамма-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$  (рис. 1) характерны для гранитов, более низкие для гранодиоритов и самые низкие для андезитов с диоритами. Для тяжелых изотопов уран-ториевых семейств  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{228}\text{Th}$  (рис. 2) в наиболее кислых разностях магматических пород - гранитах и гранодиоритах также наблюдаются самые высокие значения удельной активности радио-

изотопов, которые падают к более основным разновидностям магматических пород (диориты, андезиты).

Активность изотопа  $^{40}\text{K}$  в определенном смысле зависит от содержания K, а концентрации таких радиоактивных элементов как уран и торий влияют на активность тяжелых радиоизотопов в магматических породах октябрьского и поярковского комплексов. По результатам РФА (рис. 3) самое высокое содержание  $\text{K}_2\text{O}$  у гранитов, поменьше у гранодиоритов и наиболее низкое у диоритов и андезитов.

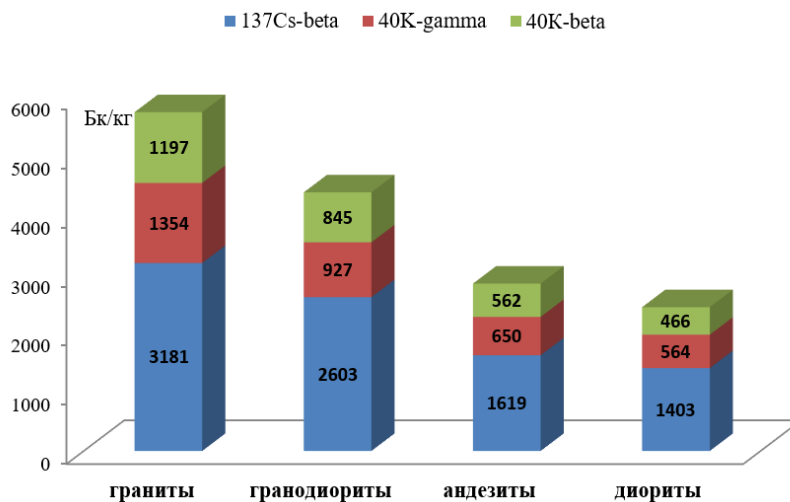


Рис. 1. Гистограмма удельной активности (Бк/кг) легких изотопов  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  магматических пород октябрьского и поярковского комплексов

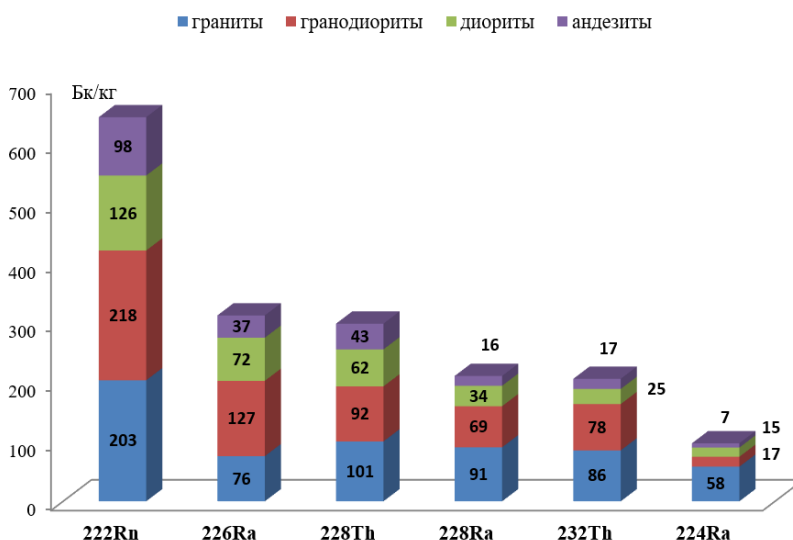


Рис. 2. Гистограмма удельной активности (Бк/кг) группы изотопов уран-ториевых семейств магматических пород октябрьского и поярковского комплексов

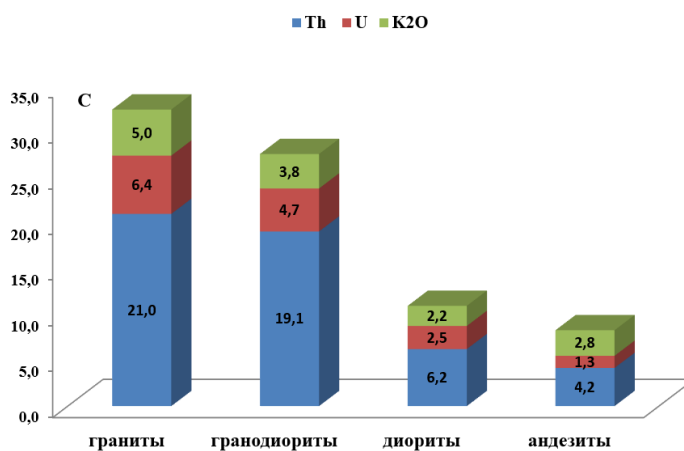


Рис. 3. График медианных содержаний (С) радиоактивных элементов (г/т) и  $\text{K}_2\text{O}$  (%) в разных типах магматических пород

Концентрации радиоактивных элементов (уран, торий) также уменьшаются от более кислых разновидностей пород (граниты, гранодиориты) к более основным (диориты, андезиты).

Основной целью исследования было выявление возможных корреляционных связей между радиоактивностью пород и содержанием в них золота. Для гранитов, гранодиоритов и диоритов октябрьского магматического комплекса и субвулканических андезитов поярковского комплекса были просчитаны линейные коэффициенты корреляции Пирсона (R) между удельными активностями изотопов, полученных на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс» и удельными содержаниями Au в тех же пробах. Результаты отражены в виде диаграмм на рисунках 4 и 5. Диаграммы построены в единой системе координат, что дает возможность сравнить распределение коэффициентов корреляции для разных типов магматических пород.

Концентрация золота в породах не зависит напрямую 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, однако, существует возможность выделить основную тенденцию распределения коэффициентов Пирсона для каждого типа пород.

Среди полученных результатов наибольший интерес представляют диаграммы для гранитов октябрьского комплекса и андезитов поярковского комплекса. Величины R имеют отрицательные значения для бета-излучающих изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  для гранитов и андезитов изученных магматических пород (рис. 4).

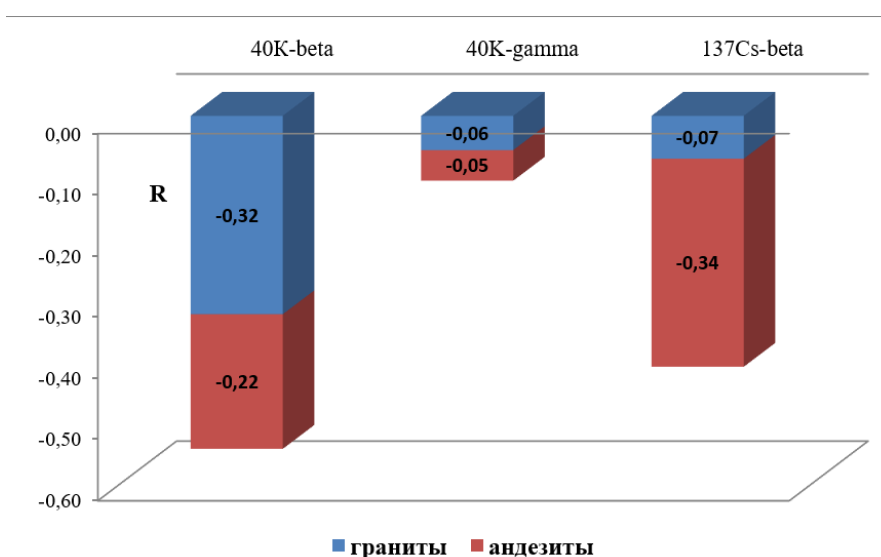


Рис. 4. Коэффициенты корреляции (R) активности легких изотопов  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  с содержанием золота. Показаны значения коэффициентов корреляций, значимых на уровне  $p < 0.05000$ .

Установлена отрицательная корреляция между значениями удельной активности тяжелых изотопов  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Th}$  и содержанием золота в андезитах поярковского комплекса.

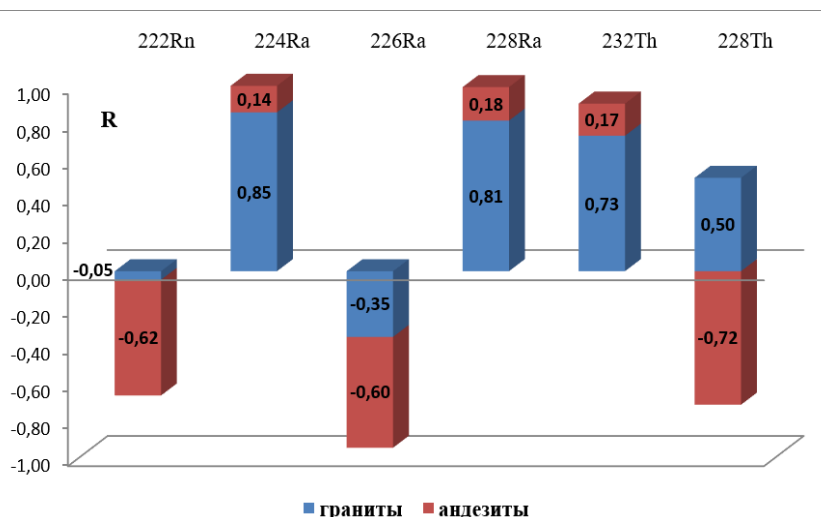


Рис. 4. Коэффициенты корреляции (R) активности радиоизотопов группы уран-ториевых семейств с содержанием золота. Показаны значения коэффициентов корреляций, значимых на уровне  $p < .05000$ .

В свою очередь между значениями тяжелых изотопов  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{228}\text{Th}$  и благородным металлом прослеживается

положительная корреляция в гранитах Октябрьского комплекса.

#### Библиографический список

1. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 8. Восток СССР / Под ред. Л.И. Красного, В.К. Путинцева. – Л.: Недра, 1984. – 560 с.
2. Кошков Ю.В., Шейкина И.С., Вахтомина Н.Д. Отчет по составлению легенды Зейской серии листов Госгеолкарты-200 (издание второе). – Благовещенск: Амургеология, 1998.

### SPECIFIC ACTIVITY OF RADIOISOTOPES OF DIFFERENT TYPES OF IGGMATIC ROCKS OF THE AMURO-ZEIIYA DEPRESSION

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

N.M. Safina, *Engineer*

**Institute of Geology and Nature Management of Far East Branch Russian Academy of Sciences**

**(Russia, Blagoveshchensk)**

**Abstract.** The average values of 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  $^{228}\text{Th}$  in igneous rocks of the Amur-Zeya depression were established. During the research, granites, granodiorites and diorites of the Ordovician October magmatic complex and andesites of the Cretaceous Poyarkovsky igneous complex were examined. The specific activity values of beta- and gamma-emitting light isotopes  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  decrease from acidic rocks (granites, granodiorites) to more basic varieties (diorites, andesites). A similar picture is observed for the gamma-emitting heavy isotopes  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ . A positive correlation of igneous rocks of average composition of the Oktyabrsky and Poyarkovsky complexes with gold has not been established.

**Keywords:** radioactive isotopes, gold, granites, andesites, igneous complexes, specific activity of isotopes.