

УДК 550.42

УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ДАХОВСКОГО ПОДНЯТИЯ (БОЛЬШОЙ КАВКАЗ)**¹Попов Ю.В., ²Бураева Е.А., ¹Цицуашвили Р.А.**¹*Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, e-mail: popov@sfedu.ru*²*Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, e-mail: buraeva_elen@mail.ru*

Изучена удельная активность естественных радионуклидов в кристаллических породах Даховского поднятия, характеризующегося специфичной полигенной и полихронной минерализацией (включая урановую и торий-редкоземельную). Распределение радионуклидов обусловлено двумя главными факторами: флюидной системой, сопряженной с очагом позднегерцинских субщелочных калиевых гранитов, и флюидной системой, контролируемой Центральным разломом. Формирование повышенных концентраций урана и тория (в ассоциации с минералами, содержащими редкоземельные элементы) связано с флюидной системой, контролируемой долгоживущим Центральным разломом.

Ключевые слова: естественные радионуклиды, уран, торий, торий-редкоземельная минерализация.**SPECIFIC ACTIVITY OF ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th IN CRYSTALLINE ROCKS OF DAKHOVSKOE UPLIFT (BIG CAUCASUS)****¹Popov Y.V., ²Buraeva E.A., ¹Tsitsuashvili R.A.**¹*Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: popov@sfedu.ru*²*Research Institute of Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: buraeva_elen@mail.ru*

Specific activity of natural radionuclides in crystalline rocks of Dakhovskoe uplift has been studied. This is characterized by specific polygenic and polychronal mineralization (including uranium and thorium-rare-earth). Distribution of the radionuclides is due to two main factors: the fluid system conjugated with hearth of the late Herzinian sub alkaline potassic granites, and fluid system controlled by the Central fault. Formation of elevated concentrations of uranium and thorium (in association with minerals containing rare earth elements) is associated with the fluid system controlled by the long-lived Central fault.

Keywords: natural radionuclides, uranium, thorium, thorium-rare earth mineralization.

Даховское горстовое поднятие, принадлежащее к южной части Северо-Кавказского краевого массива, обладает рядом специфических минерагенических особенностей, что делает его привлекательным для изучения закономерностей и процессов перераспределения элементов в сложных объектах, несущих полихронную и полигенную минерализацию. Особый интерес представляют закономерности распределения естественных радионуклидов (ЕРН) – в первую очередь в виду неоднозначности моделей формирования рудных объектов с радиоактивной минерализацией в северо-западном сегменте Большого Кавказа (Даховское урановое месторождение, Мамрюкское, Западно-Даховское, Шаханское и ряд других урановых рудопроявлений, рудопроявление торий-редкометальной минерализации балки Колесникова и пр.).

Геологическое строение Даховского поднятия

Поднятие представляет собой тектонический блок герцинских кристаллических

комплексов, отделенный от триасово-среднеюрских комплексов крупными разломами и перекрытый на западе келловей-меловым осадочным комплексом Лагонакской складчато-глыбовой зоны. С севера поднятие ограничивается крупным Центральным разломом, контролирующим протрузии серпентинитов, с юга – Северным разломом, принадлежащим региональной Пшекиш-Тырныаузской зоне, разделяющей структуры Главного хребта Большого Кавказа и Северо-Кавказского краевого массива эпигерцинской Скифской плиты. В строении поднятия принимают участие ниже-среднепалеозойская метаморфическая толща, объединяющая амфиболитовую и амфиболит-гнейсовую толщи (метаморфизованные условия высокотемпературной эпидот-амфиболитовой – амфиболитовой фации), тектонические пластины серпентинитов, заключающие линзовидные тела кальциевых метасоматитов – родингитов [7], и сложнопостроенный герцинский гранитоидный массив (известный под названием Даховский).

Массив полихронный, включающий даховский среднепалеокайский и малкинский позднепалеозойский комплексы. В состав даховского комплекса входят слагающие основную площадь массива гранодиориты (биотитовые в центральной части и амфибол-биотитовые на периферии), образующие более глубокий уровень и обнаженные преимущественно в центральной и юго-западной части биотитовые и двуслюдяные граниты, а также присутствующие в краевых частях небольшие тела кварцевых диоритов и плагиогранитов. Контактное воздействие гранодиоритов выражено в формировании маломощных зон мигматизации (в северо-восточной части массива на контакте с амфиболитами залегающие полосчатые и огнейсованные кварцевые диориты, по простиранию переходящие в амфиболовые мигматиты) и скарнирования (на контакте с амфиболитами). Малкинский комплекс образован несколькими фазами субщелочных лейкократовых гранитоидов, залегающих в форме малых интрузивных тел (жил, даек, штоков в узлах пересечений разломов). Комплекс малых интрузивов имеет четкие секущие контакты с метапородами, серпентинитами и породами даховского комплекса. В малкинских гранитах содержатся ксенолиты метаморфических пород, которые, как и породы в экзоконтактах, переработаны в мусковитовые гнейсы и кварц-мусковитовые сланцы. С формированием завершающих фаз магматизма связан масштабный среднетемпературный метасоматоз, проявленный преимущественно в развитии калишпатизации.

Абсолютный возраст ранних фаз остается предметом дискуссий (что, наряду с другими особенностями территории, изложено в работе [5]). Достаточно определено устанавливается возраст гранитов – их датировки заключены в интервале 360-320 Ма, что близко к большинству датировок метаморфического комплекса; нижнее значение интерпретируется как близкое к времени герцинского регионального метаморфизма, верхнее – к времени тектонического подъема консолидированных интрузивов к поверхности.

На территории небольшого по площади Даховского поднятия (около 35 км²) сосредоточены перспективные участки с молибденовой минерализацией [6], урановое Даховское месторождение и баритовое Белореченское месторождение (образующие единый рудно-геологический объект, известный своим минералогическим раз-

нообразием [2]), ряд рудопроявлений, в том числе слабо изученные проявления ториевой и редкоземельной минерализации, месторождения нерудного сырья [1, 4].

Специфичностью характеризуется и распределение мощностей эквивалентной дозы (МЭД) γ -излучения и удельной активности ЕРН (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th), изученные авторами во всех основных разновидностях кристаллических пород.

Методика исследований

Удельную активность ЕРН в образцах почвы и породах определяли инструментальным гамма-спектрометрическим методом радионуклидного анализа. Использовали спектрометр гамма-излучения с GeHP-детектором с эффективностью 25% в диапазоне 30-1500кэВ, отношением пик/комpton 51,7:1 (модель 7229N-7500sl-2520, фирмы Canberra) и набор счетных геометрий «Маринелли 1,0 л», «Маринелли 0,5 л», «Дента 0,02 л» (диск высотой h=7 мм, диаметром 63 мм). Всего измерено более 30 образцов горных пород. Измерению подвергались предварительно изученные образцы, обладающие типичным для данной разновидности чертами. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч) определяли поисковым дозиметром-радиометром ДКС-96.

Состав минеральных ассоциаций определялся комплексом методов, включающих оптическую петрографию, растровую электронную микроскопию и рентгенофлуоресцентный микроанализ (микроскоп VEGA II LMU (фирмы Tescan) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT). Комплекс исследований выполнен на базе лабораторий «Центра исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета.

Результаты исследований

Обобщенные данные о МЭД γ -излучения в наиболее распространенных кристаллических породах Даховского поднятия приведены в таблице 1. Наиболее низкие значения типичны для серпентинитов; повышенные значения γ -излучения в них обусловлены присутствием нитевидных метасоматически-гидротермальных прожилков и участков, обогащенных аксессуориями – апатитом, Th-содержащим монацитом, алланитом, цирконом. На неравномерность распределения минералов-концентратов U и Th указывает довольно широкий интервал значений плотности потока α -излучения (0,16-0,26 см²/с). Образующие основную часть слабоизмененных пород вмещающего метаморфического комплекса амфиболиты характеризуются невысокими значениями МЭД γ -излучения (на уровне 0,06-0,12 мкЗв/час) и плотностью потока α -излучения (менее 0,19 см²/с), а также низкой удельной активностью ЕРН. Радиоактивность метапород, возрастающая от амфиболитов к формиру-

ющимся за счет них слюдяным сланцам, коррелирует с возрастанием удельной активности ^{40}K (от 345 Бк/кг в неизмененных амфиболитах до 528-765 Бк/кг в слюдяных сланцах и до 932 Бк/кг в гранито-гнейсах) и с содержанием калиевых слюд и полевых шпатов. Среди образующих гранитоидный массив пород значения МЭД гамма-излучения возрастают от гранодиоритов (0,16-0,18 мкЗв/ч) к гранитам поздних фаз. Наибольшее значения радиоактивности обнаруживают

метасоматически измененные породы – продукты щелочного среднетемпературного и последующей ветви кислотного метасоматоза (при этом характерно заметное обогащение ураном относительно тория) и специфические кальциевые метасоматиты (родингиты) зоны Центрального разлома. Последние характеризуются как высокими значениями МЭД γ -излучения, так и плотностью потока α -излучения: до 0,62 мкЗв/ч и 0,45 см²/с соответственно.

Таблица 1

Величины МЭД γ -излучения и удельная активность ЕРН в наиболее распространенных кристаллических породах Даховского поднятия (вне радиоактивной аномалии зоны Даховского уранового месторождения)

№	Породы	МЭД, мкЗв/ч	Удельная активность ЕРН, Бк/кг ($\pm 10\%$)		
			^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1	Серпентиниты (n=3)	0,06-0,11	0-23,0	0-19,5	109-291
2	Родингиты (n=3)	32-62	467-537,3	63,4-69	219-226
3	Амфиболит (n=1*)	0,06-0,12	0	<8	345
4	Гранодиорит (n=1*)	16-18	28	42,2	646
5	Гранит биотитовый (n=1*)	24-25	38,5	51,2	1042
4	Гранодиориты микроклинизированные (n=3)	18-30	14,9	38,3-52	718-740
5	Граниты микроклинизированные (n=5)	20-50	48,3-119,7	50-81,7	1186-1329
6	Гранитоиды грейзенизированные (n=1*)	20-48	117,5	58,2	1770
7	Граниты лейкокатовые (n=1*)	13-52	195,5	54,9	1222

В скобках указано число проб, для которых выполнено измерение удельной активности ЕРН.

*Приведены данные для образцов, не несущих признаков значимых метасоматических изменений.

Содержание ^{40}K определяется долей калийсодержащих порообразующих минералов. Минимальные значения удельной активности ^{40}K отмечаются в бедных калиевыми полевыми шпатами и слюдами породах – серпентинитах, родингитах и амфиболитах (таблица 1), увеличиваясь по мере их метасоматической переработки под воздействием гранитоидных интрузий. Образец из числа наименее затронутых метасоматическими изменениями гранодиоритов показал удельную активность ^{40}K 646 ± 209 Бк/кг, из числа биотитовых гранитов – 1042 ± 314 Бк/кг. Максимальные значения присущи субщелочным микроклиновым гранитам и гранитам-аплитам завершающих фаз внедрения: типичные для них значения – 1222-1329 Бк/кг. При этом в гранодиоритах ранней фазы значения активности варьируют в широких пределах – 646-1186 Бк/кг, отражая различную степень преобразований, обусловленных щелочным калиевым метасоматозом, связанным с флюидной системой очагов

лейкокатовых гранитов. Биотиты из лейкокатовых гранитов обладают калиевой щёлочностью (K/Al) 0,5-0,7 и общей железистостью ($f_{\text{об}}$) 45-52 и, судя по соотношению железистости и щёлочности [8], могут рассматривать как образованные в условиях относительно высоких температур и повышенной активности калия. Удельная активность ^{40}K в амфиболитах и возникших за счет их метасоматического преобразования пород определяется содержанием слюд и полевых шпатов. На участках грейзенизации в гранитоидах, отвечающих кислотной стадии в эволюции флюидной системы, удельная активность ^{40}K достигает 1770 Бк/кг.

Более специфично распределение удельной активности ^{226}Ra и ^{232}Th . Аномально высокие значения (при значительной изменчивости) отмечаются для пород, сопряженных с зоной Центрального разлома [3]. Присутствующие среди тектонических пластин серпентинитов родингиты обнаруживают активность ^{226}Ra 467-537 Бк/кг и ^{232}Th 63-

69 Бк/кг, связанную с присутствием в породе своеобразной акцессорной минеральной ассоциации – торит, ураноторит (U 9-10%), циркон (с Th до 7,5-10,3%, Hf 0,8-1%), алланит, торийсодержащий Се-монацит, ксенотим (рисунок 1-А). Серпентиниты, вмещающие тектонические линзы метасоматитов, как правило, не обладают повышенной МЭД γ -излучения и удельной активностью ЕРН, но содержат апатит, циркон, ксенотим. По простиранию Центрального разлома в измененных серпентинитах известно слабоизученное рудопроявление (балки Колесникова) с рассеянной или гнездово-вкрапленной минерализацией уранинита, монацита и

циркона, в котором содержание урана составляет – 0,017-0,032%, тория – 0,16-0,33, радия – 0,035% [1]. Гранитоиды, слагающие крыло блока, сопряженное с зоной разлома также характеризуются несколько повышенной гамма-активностью: для диоритов (б.Коваленко) значение составляет 0,38-0,43 мкЗв/ч, для гранодиоритов – 0,30-0,35 мкЗв/ч (при фоновых значениях менее 0,30 мкЗв/ч). В гранодиоритах отмечаются микрогнездово-прожилковые выделения амфиболов актинолит-тремолитового ряда и U-Th-REE-содержащих минералов – La-Се-алланита, в ассоциации с которыми отмечаются сфен, торит, апатит и циркон (рисунок 1-Б).

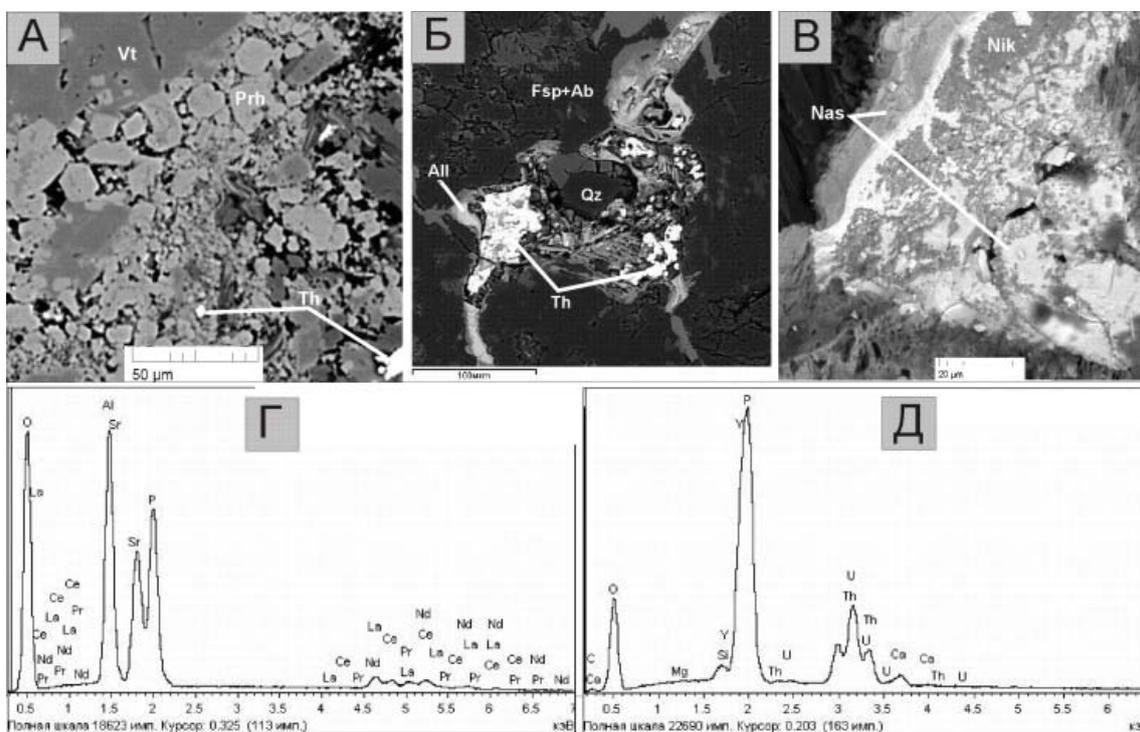


Рис. 1. Состав типичных ассоциаций, включающих минералы радиоактивных элементов:
 А – минеральная ассоциация родингитов: вюаньятит (Vt), пренит (Prh), торит (Th),
 Б – ассоциация зон эпидотизации в гранодиоритах: полевые шпаты (Fsp+Ab) + кварц (Qz) +
 алланит (All) + торит (Th), В – урановые руды Даховского месторождения,
 фрагмент почковидного агрегата никелина (Nik) и настурана (Nas) в доломитовой жиле;
 энергетические спектры минералов из нитевидных доломитовых прожилков
 (в образцах пород из стенок штольни Белореченского месторождения);
 Г – фосфат редких земель (гояцит?), Д – ксенотим.

Максимальные значения гамма-излучения связаны с доломитовыми жилами Даховского месторождения, несущими раннюю уран-сульфидную и более позднюю уран-арсенидную минерализацию (рисунок 1-В), залегающими в нижних уровнях тектонического блока. Присутствующие в верхних уровнях доломитовые жилы, как

правило, не несут радиоактивных минералов, что проявляется и при измерении их удельной активности: для жилы из штольни №3 установлены значения ^{226}Ra – 16,4 Бк/кг, ^{232}Th – 10,7 Бк/кг. При этом вмещающие Белореченское месторождение породы выделяется наиболее высокими (на близповерхностном уровне) модальными величинами

МЭД γ -излучения и удельной активности тория и продуктов распада урана (таблица 2). Изучение минерального состава пород, в которых пройдены горные выработки Белореченского месторождения, указывает на связь повышенной радиоактивности с рассеянной U-Th-REE минерализацией. Методами электронной микроскопии и микроанализа авто-

рами выявлены в образцах из стенок штолен многочисленные нитевидные прожилки железистого доломита, насыщенного микроминеральными агрегатами редкоземельных фосфатов (близких по составу к La-Nd-содержащему гоациту), апатитом, Hf-Nb-содержащим цирконом, Th-U-содержащим Y-ксенотимом и др. (рисунок 1-Г, Д)

Таблица 2

МЭД γ -излучения и удельная активность ЕРН в породах горных выработок Белореченского месторождения

Точки измерений (от створа)	МЭД, мкЗв/час		Удельная активность, Бк/кг. ПогрешностьJ				
	фон	порода	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²²⁴ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Штольня № 2							
4 (200 м)	0,51	0,52	97,3	94,5	56,3	52,3	931,9
6 (300 м)	0,80	0,91	192,4	194,8	44,5	42,8	376,1
7 (350 м)	0,81	0,91	269,1	263,5	45,2	43,9	506,9
Штольня № 3							
0	0,19	0,22	61,5	59,1	65,8	56,2	765,1
12 (600 м)	0,64	0,57	107,5	109,3	54,8	55,5	707,0
13 (650 м)	0,95	1,03	208,1	194,1	87,7	79,0	912,5
18 (900 м)	1,04	1,01	37,0	37,3	11,4	12,5	250,5

Обсуждение результатов

В пределах Даховского поднятия распределение МЭД γ -излучения и удельной активности ЕРН (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th) обусловлено двумя главными факторами: эволюцией флюидной системы, сопряженной с очагом позднегерцинских субщелочных калиевых гранитов, и флюидной системой, контролируемой Центральным разломом и занимающими аналогичную структурную позицию крупными разломами северо-западной ориентировки [5]. Формирование повышенных концентраций урана и тория связано с флюидной системой, контролируемой долгоживущим Центральным разломом (и выделяющейся специфичностью газового состава – высокой долей CO₂, присутствием углеводородов, радона [3, 7]). Наиболее высокотемпературные парагенезисы, содержащие минералы урана и тория, связаны с кальциевыми метасоматитами, заключенными среди серпентинитов, и зонами эпидотизации в кристаллических породах; более низкотемпературные – с гидротермальными карбонатными жилами и прожилками.

Список литературы

1. Волкодав И.Г. Радиоактивные элементы в геологических образованиях Адыгеи // Вестник Адыгейского государственного университета. – 2006. – №2. – С. 233-236.

2. Пеков И.В. Левицкий В.В. Кривовичев В.Г. Минералогия Белореченского месторождения (Северный Кавказ, Россия) // Минералогический альманах. – 2010. – Т.15. – Вып.2. – С. 96.

3. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Ермолаева О.Ю., Гончарова Л.Ю., Цицуашвили Р.А. Закономерности распределения естественных радионуклидов и тяжелых металлов в природно-техногенной системе Белореченского месторождения (Большой Кавказ) // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: www.science-education.ru/116-12292 (дата обращения: 11.06.2014).

4. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Попова Н.М., Дергачева Е.В. Оценка радиоактивности горных пород некоторых месторождений и рудопроявлений горной части Адыгеи // Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского. – Махачкала: изд-во АЛЕФ, 2013. – С.79-90.

5. Попов Ю.В., Пустовит О.Е. Основные черты тектонического строения территории полигона «Белая речка». – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2010. – 46 с.

6. Попов Ю.В., Пустовит О.Е. Минеральный состав и закономерности локализации кварц-молибденитового жильного оруденения даховского рудного узла (Северо-Западный Кавказ) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2011. – № 5. – С. 70-73.

7. Труфанов В.Н., Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А., Труфанов А.В., Гончаров А.Б. Родингиты Даховского кристаллического массива (Северо-западный Кавказ) // Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2011. – №.5. – С. 73-77.

8. Ферштатер Г.Б., Бородин И.С. Петрография магматических гранитоидов (на примере Урала). – М.: Наука, 1975. – 288 с.