УДК 554+550.84:543

ПОДВИЖНЫЕ ФОРМЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД ВОСТОЧНОЙ ПУСТЫНИ ЕГИПТА (ОБЛАСТЬ ЭЛЬ СЕЛА)

М.М.ГХОНЕИМ^{1,2}, Е.Г.ПАНОВА¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Управление ядерных материалов, Каир, Египет

В Восточной пустыне Египта развиты интрузивные породы с ураново-редкоземельной минерализацией (двуслюдяные граниты, микрограниты, долериты и бостониты). Оценено содержание химических элементов эталонных проб интрузивных пород и их водорастворимой (коллоидно-солевой) фракции. Фракция извлекается водой из породы при специально подобранных условиях. Проба породы и ее коллоидно-солевая фракция анализируются методом масспектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Химическая характеристика выделенной фракции отражает мобильную, подвижную часть химических элементов породы. Сравнение полученных данных позволяет оценить долю миграционно-способных и трудноподвижных форм химических элементов.

Ключевые слова: уран; редкие земли; интрузивные породы; подвижные формы химических элементов; Восточная пустыня; Египет

Как цитировать эту статью: Гхонеим М.М. Подвижные формы химических элементов интрузивных пород Восточной пустыни Египта (область Эль Села) / М.М.Гхонеим, Е.Г.Панова // Записки Горного института. 2018. Т. 234. С. 573-580. DOI: 10.31897/PMI.2018.6.573

Введение. Область Эль Села Восточной пустыни Египта относится к ураново-редкоземельной (РЗМ) провинции, в пределах которой широким распространением пользуются интрузивные породы, обогащенные U, РЗМ и халькофильными элементами. Экономически значимые рудопроявления U и РЗМ имеют генетическую связь с двуслюдяными лейкогранитами, имеющими возраст 560 млн лет [10, 11, 13, 16]. Они секутся дайками микрогранитов, долеритов и бостонитов, приуроченных к зонам тектонических нарушений. Месторождения урана и редких земель относятся к жильному типу, а также к линейным зонам минерализации, приуроченным к тектоническим зонам, выполненным метасоматитами гидрослюдистого-каолинитового состава с примесью гидроксидов железа.

Для области Эль Села характерен ландшафт в виде высоких горных цепей, которые образуют серию изолированных плутонов, имеющих резкие контакты с вмещающими породами. Интрузивные породы образуют холмистый ландшафт, выступы которого представлены интрузивными телами и дайками.

В процессе физического и химического выветривания породы разрушаются, образуя пески пустыни. Поскольку смена дневных и ночных температур достаточно значительна, в поровом пространстве пород скапливается влага, которая способствует переходу химических элементов в подвижное состояние и миграции на окружающие территории.

Вопрос о формах нахождения элементов в горных породах имеет важное значение для изучения процессов выветривания пород. Известно, что значительная часть химических элементов входит в минералы в качестве изоморфных примесей, замещая макрокомпоненты в кристаллической решетке. Некоторые из них накапливаются в газовой-жидких включениях, а часть находится в коллоидно-дисперсной форме в поровом пространстве породы. Известно также, что чем ниже среднее содержание химического элемента в земной коре, тем больше его доля в дисперсной форме. При процессах выветривания происходит дезинтеграция породы, химические элементы могут вымываться из порового пространства, в результате чего устанавливаются новые физико-химические условия, способствующие дальнейшему разрушению породы.

Загрязнение окружающей среды тесно связано с подвижностью элементов в природных системах. Тяжелые металлы и радионуклиды могут быть вовлечены в ряд сложных химических и биологических взаимодействий. Важнейшими факторами, влияющими на подвижность элементов, являются pH, сорбция, наличие органических и неорганических лигандов, в том числе гуминовых, и фульвокислот. Окислительно-восстановительные реакции имеют большое значение при химическом выветривании пород, в составе которых присутствуют элементы с переменной валентностью и халькофильные элементы, такие как U, Th, РЗМ, Cu, Ni, Zn, Pb.

Рис. 1. Геологическая карта района Эль Села, Восточная пустыня, Египет
(Abdel-Meguid et al., 2003; Ibrahim et al., 2007; Ali, 2011; Abdel Gawad et al., 2015)

Для установления риска загрязнения окружающей среды особое значение имеет определение подвижности урана и элементов-спутников, содержащихся в интрузивных породах ураново-редкоземельной провинции. Несмотря на разработанные общие представления о подвижных и прочносвязанных формах элементов в горных породах и методах их извлечения, к настоящему времени еще недостаточно экспериментальных количественных данных, которые позволили бы оценить поведение подвижных форм микроэлементов в горных породах.

Целью исследования явилось выделение порового раствора (коллоидно-солевой фракции) интрузивных пород, определение содержания микроэлементов в ней и сравнение с составом интрузивных пород.

Геологическая характеристика. Район Эль Села расположен в Восточной пустыне Египта вдоль побережья Красного моря с неровной топографией и умеренным до высоким рельефом (до 560 м). Докембрийские урансодержащие граниты выходят на поверхность в южной части Восточной пустыни (рис.1).

На основании полевых исследований установлено, что породы в изучаемой области имеют следующую последовательность образования: двуслюдяные граниты, дайки (микрограниты, долериты и бостониты), кварцевые и джаспероидные жилы [1, 6-10, 12-16, 19].

Двуслюдяные граниты в виде округлых тел гранитных плутонов (3 × 5 км) занимают большую часть исследуемой площади. Они секутся двумя перпендикулярными зонами сдвиговых деформаций. Первая зона сдвиговых деформаций протяженностью около 1,5 км и шириной от 5 до 40 м простирается в направлении В-СВ. Эта зона сечется тектонической зоной простира

СЗ-ЮВ. Для этой зоны сдвиговых деформаций характерно внедрение микрогранитовых, долеритовых даек и джаспероидных жил.

Дайки микрогранитов секут двуслюдяные граниты вдоль зоны ВСВ-ЗЮЗ сдвиговых деформаций и имеют падение 72-83° на юг. Эта дайка, сложенная мелкозернистой породой, имеет ширину от 3 до 20 м и тянется в направлении ЮЗ на 6 км.

Долеритовые дайки имеют направления ВСВ-ЗЮЗ и ССЗ-ЮЮВ, простирание С 75° и падение Ю 68-81°.

Дайки бостонитов секут гранитные плутоны по тектоническим зонам С-Ю и ССВ-ЮЮЗ. Порода образует пластообразные тела мощностью от 0,5 до 2 м. Бостонит представлен мелкозернистой массивной породой красновато-коричневого цвета.

Материал и методы исследования. Объектом исследования явились интрузивные породы района Эль Села (двуслюдяные граниты, микрограниты, долериты и бостониты) и их коллоидно-солевая фракция.

Минеральный состав различных интрузивных пород имеет свои особенности (табл.1). Двуслюдяные граниты состоят в основном из кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза, мусковита и небольшого количества биотита. Среди второстепенных минералов присутствуют минералы тория (торит, ураноторит, фосфоторит), а также циркон, ильменит, сфен, апатит. Вторичные изменения выражаются в пелитизации калиевого полевого шпата, серицитизации плагиоклаза и биотита, а также в появлении небольшого количества флюорита и сульфидов.

Таблица 1

Минеральный состав интрузивных пород района Эль Села

Минералы	Двуслюдяные граниты	Дайки микрогранитов	Долеритовые дайки	Дайки бостонитов
Главные	Кварц Калиевый полевой шпат Плагиоклаз Мусковит Биотит	Плагиоклаз Калиевый полевой шпат Кварц Серицит	Плагиоклаз Пироксен Оливин Кварц	Микроклин Альбит Кварц Эгирин
Урана и тория	Торит Ураноторит Фосфоторит	Коффинит Уранофан Аутенит Казолит	Коффинит Уранинит Аугунит	Коффинит
Редкоземельных элементов	Бастнезит Монацит Ксенотим	Монацит	Монацит	Монацит Бастнезит
Другие минералы	Циркон Ильменит Титанит Галенит Рутил Апатит Барит Флюорит Гематит	Циркон Апатит Ni _{сам} Fe _{сам} Cu _{сам} Au _{сам} Барит Пирит Халькопирит	Циркон Магнетит Барит Пирит Халькопирит Флюорит	Циркон Рутил Ильменит Апатит Сфер

Микрогранит состоит из плагиоклаза, в меньшей степени калиевого полевого шпата и кварца. Порода сильно изменена; появляется большое количество серицит-мусковита и сульфидов, а также самородный Ni_{сам}, Cu-Ni_{сам}, барит. В породе присутствуют коффинит, уранофан, аутенит и казолит. Аксессуарные минералы представлены цирконом, монацитом, апатитом.

Долеритовые дайки состоят в основном из плагиоклаза и пироксена, реже оливина и кварца, а также циркона, титаномагнетита и барита. Вторичные минералы представлены хлоритом, серицитом, флюоритом, кальцитом и сульфидами. Среди минералов урана обнаружены уранинит, коффинит, уранофан и аутенит.

Бостонитовые дайки состоят из микроклина и альбита, реже встречается кварц и эгирин, а в качестве аксессуарных минералов присутствуют циркон, рутил, ильменит, сфен и апатит. Урано-редкоземельная минерализация представлена коффинитом, бастнезитом и монацитом.

Химический состав проб пород был определен по стандартной схеме полного разложения с применением концентрированных азотной, фтороводородной и хлорной кислот. Анализ растворов проводился на приборе «ELAN-6100 DRC» фирмы PERKIN ELMER.

Для изучения водорастворимой составляющей порового раствора использовалась методика извлечения и анализа коллоидно-солевой (субмикронной) фракции породы, которая заключена в ее поровом и межзерновом пространстве. В нем химические элементы находятся в ионной, молекулярной и коллоидной формах. Основы метода изложены в ряде публикаций и патентов [2-4].

Извлекаемое водой вещество рассматривается не как водная вытяжка, характеризующая исключительно «истинно растворимые» формы элементов, а как самостоятельная фракция, имеющая весовую долю и определенный размер частиц (до 1 мкм). Чтобы отличить ее от других тонких фракций, в соответствии с размером частиц, она была названа субмикронной фракцией (СМФ). Размер частиц менее 1 мкм в коллоидной химии является условной границей коллоидного состояния, выше которого вещество выделяется в отдельную твердую фазу [5].

Методика выделения СМФ включала дробление и истирание проб до размера частиц < 74 мкм. В случае эксперимента с горными породами их предварительное измельчение необходимо для вскрытия пор и микротрещин с целью обеспечения доступа экстрагента (воды) к свободным и адсорбированным на минеральной основе солям и коллоидным частицам.

Навеску предварительно истертой пробы заливали нагретой деионизованной водой, периодически перемешивали в течение 5 ч и выдерживали сутки для стабилизации полученного коллоидно-солевого раствора. Шприцем отбирали раствор и пропускали его через мембранный фильтр фирмы Sartorius, гарантирующий пропускание частиц менее 1 мкм. Полученный таким образом раствор бесцветен, прозрачен и является коллоидным, проявляя положительный тест Тиндаля.

Анализ растворов на наносайзере «Nanosight» показал, что мода размера частиц порового коллоида двуслюдяного гранита составляет 679 нм, микрогранита – 566 нм, долерита – 571 нм и бостонита – 580 нм. Часть раствора помещали в предварительно взвешенную чашку Петри для выпаривания с целью определения доли субмикронной фракции в пробе. Другая часть раствора анализировалась методом масспектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС).

Соблюдение выбранных условий эксперимента обеспечивает высокую воспроизводимость результатов анализа и возможность определения широкого круга химических элементов (до 75 элементов). Анализ водных растворов позволяет в максимальной степени реализовать возможности метода ИСП МС. Отсутствие вводимых кислот или других растворителей предотвращает возможность неконтролируемых изобарических наложений, что приводит к снижению пределов обнаружения элементов на 2-3 порядка при анализе субмикронной фракции, по сравнению с валовым анализом, особенно для редких элементов, присутствующих в породе в следовых количествах.

Результаты и их обсуждение. В составе интрузивных пород присутствует широкий спектр микроэлементов (табл.2). Наиболее высокие содержания урана характерны для микрогранита и долерита. Торием обогащены двуслюдяные граниты. Микроэлементы накапливаются в различных интрузивных породах по-разному: двуслюдяной гранит содержит минимальные количества; микрогранит накапливает Zn, Pb, Cu, PЗМ, Y; долерит и бостонит – Ni, Zn, PЗМ, Y.

Эксперименты по выделению субмикронной фракции показали, что ее доля в интрузивных породах меняется от 1,31 до 1,78 вес % (табл.3). Наиболее высокое значение характерно для двуслюдяного гранита, имеющего наиболее крупнозернистую структуру.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в интрузивных породах района Эль Села, мг/кг

Порода	U	Th	PЗМ	Y	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Sr	Ba
Двуслюдяной гранит	11,3	25,3	43,5	5,58	86,0	13,2	29,0	13,1	212	89,0	329
Микрогранит	224	3,93	202	21,7	55,4	22,6	209	19,3	129,6	126	157
Долерит	31,1	13,1	530	64,8	285	23,4	175	4,87	54,3	567	355
Бостонит	4,22	17,4	379	45,3	179	17,5	106	4,38	89,9	52,1	345

Таблица 3

Доля субмикронной фракции интрузивных пород и содержание микроэлементов в ней

Порода	Доля СМФ, вес %	Содержание микроэлементов, мг/л										
		U	Th	PЗМ	Y	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Sr	Ba
Двуслюдяной гранит	1,78	1,80	1,10	16,3	1,40	256	45,0	164	0,50	113	77,0	304
Микрогранит	1,42	68,0	0,82	11,1	2,50	187	39,0	201	0,61	305	305	398
Долерит	1,31	1,30	1,30	17,3	2,60	206	29,0	223	0,30	102	103	402
Бостонит	1,60	5,20	1,90	17,3	3,80	113	13,0	112	0,31	110	25,0	205

Таблица 4

Доля химических элементов в субмикронной фракции интрузивных пород, отн %

Порода	U	Th	PЗМ	Y	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Sr	Ba
Двуслюдяной гранит	0,30	0,10	0,70	0,40	4,30	6,10	10,1	0,10	0,90	1,50	1,60
Микрогранит	0,40	0,30	0,07	0,20	4,80	2,50	1,40	0,10	3,30	3,40	3,60
Долерит	0,10	0,10	0,04	0,10	0,90	1,60	1,70	0,10	2,50	0,20	1,50
Бостонит	1,50	0,20	0,07	0,10	1,00	1,20	1,70	0,10	2,00	0,80	0,90

Результаты анализа СМФ интрузивных пород приведены в табл.3. Высокие содержания микроэлементов в СМФ распределены следующим образом: уран накапливается в микрогранитах, халькофильные элементы и Rb, Sr и Ba – во всех типах интрузивных пород.

Для оценки степени накопления химических элементов в субмикронной фракции был рассчитан коэффициент накопления как отношение содержания в СМФ к содержанию в породе (рис.2). Геохимические формулы имеют следующий вид: двуслюдяной гранит ($Zn_{5,7} - Cu_{3,4} - Ni_{2,5}$); микрогранит ($Ni_{3,4} - Ba_{2,5} - Sr_{1,9} - Rb_{1,8} - Cu_{1,7}$); долерит ($Rb_{1,9} - Zn_{1,3} - Cu_{1,3}$); бостонит ($Rb_{1,2}$). Наиболее высокие значения коэффициентов накопления химических элементов характерны для двуслюдяного гранита. Наиболее миграционно-способными оказались цинк, медь, никель, в меньшей степени барий, рубидий и стронций. Уран зафиксирован в субмикронной фракции

Рис.2. Коэффициенты концентрации химических элементов в коллоидно-солевой фракции интрузивных пород района Эль Села: а – двуслюдяной гранит; б – микрогранит; в – долерит; з – бостонит

Рис.3. Хондрит-нормализованное содержание РЗЭ интрузивных пород района Эль Села (нормировано на Boynton, 1984)

Рис.4. Хондрит-нормализованное содержание РЗЭ субмикронной фракции интрузивных пород района Эль Села (нормировано на Boynton, 1984)

микрогранита в количестве 68 мг/л, но коэффициент накопления этого элемента меньше единицы. По-видимому, это можно объяснить наличием вторичных минералов урана в интрузивных породах, которые не переходят в раствор при экстракции СМФ. Редкоземельные элементы, иттрий, торий и свинец практически не переходят в раствор субмикронной фракции.

Сумма РЗМ в различных типах интрузивных пород представлена в табл.2. Наиболее высокие значения суммы характерны для дайкового комплекса (долерит – 530 мг/кг, бостонит – 379 мг/кг, микрогранит – 203 мг/кг). Содержание РЗМ в двуслюдяном граните невысоко – 43,5 мг/кг.

Спектры РЗМ представлены на рис.3. Во всех случаях содержание легких редкоземельных элементов выше, чем тяжелых. Неизмененные и слабо измененные интрузивные породы имеют европиевый минимум; на спектре микрогранита Eu-минимум отсутствует ввиду проявления вторичных изменений породы.

Содержание суммы РЗМ и иттрия в субмикронной фракции пород представлено в табл.3. Значения невысоки, что показывает слабую подвижность этих элементов.

На рис.4 показан спектр РЗМ в субмикронной фракции интрузивных пород. Можно проследить сходство и изменение спектров РЗМ в СМФ по сравнению со спектрами интрузивных пород (рис.3 и 4). Спектры РЗМ микрогранита и бостонита практически не изменились. У долерита и двуслюдяного гранита исчезла европиевая аномалия.

Были приведены расчеты содержания относительной доли химических элементов, находящихся в субмикронной фракции с учетом весовой доли фракции для каждого типа пород (табл.4). Данные таблицы показывают относительную долю элементов, находящихся в подвижном состоянии в породе. Наиболее высокие значения характерны для Zn, Cu, Ni. Для всех типов интрузивных пород

Рис.5. Доля химических элементов в субмикронной фракции от общего содержания в породе (по данным табл.4)

живных пород эти значения больше единицы (рис.5, а). Подвижность рубидия, стронция и бария наиболее высока у микрогранита, который в наибольшей степени подвержен вторичным изменениям (рис.5, б). Уран накапливается в СМФ бостонита. Наименее подвижны – U, Th, Pb, РЗМ и Y.

Выводы

Оценено содержание химических элементов эталонных проб интрузивных пород и их водорастворимой (коллоидно-солевой) фракции. Фракция извлекается водой из породы при специально подобранных условиях. Проба породы и ее коллоидно-солевая фракция анализируются методом ИСП МС.

Химическая характеристика выделенной фракции отражает мобильную, подвижную часть химических элементов породы. Сравнение полученных данных позволяет оценить долю миграционно-способных и трудноподвижных форм химических элементов.

1. Интрузивные породы Восточной пустыни Египта (двуслюдяные граниты, микрограниты, долериты и бостониты) имеют ураново-редкоземельную специализацию. Кроме того, двуслюдяные граниты обогащены Th; микрогранит накапливает Zn, Pb, Cu, РЗМ, Y; долерит и бостонит – Ni, Zn, РЗМ, Y.

2. Доля субмикронной (коллоидно-солевой) фракции интрузивных пород изменяется от 1,31 до 1,78 вес %; размер частиц СМФ – от 566 до 679 нм. Наибольший размер частиц и высокая доля фракции характерны для двуслюдяного гранита, имеющего наиболее крупнозернистую структуру.

3. Установлены содержания микроэлементов в СМФ интрузивных пород: уран накапливается в микрогранитах, халькофильные элементы (Zn, Ni, Cu) и Rb, Sr, Ba – во всех типах интрузивных пород.

Рассчитаны относительные доли химических элементов, находящихся в субмикронной фракции с учетом весовой доли фракции для каждого типа пород. Наиболее высокие значения характерны для Zn, Cu, Ni. Подвижность рубидия, стронция и бария наиболее высока у микрогранита, который в наибольшей степени подвержен вторичным изменениям. Уран накапливается в СМФ бостонита. Наименее подвижны – U, Th, Pb, РЗМ и Y.

4. При химическом выветривании интрузивных пород ряд элементов (Zn, Cu, Ni) переходят в подвижное состояние и могут мигрировать на окружающие территории. Уран, торий и свинец образуют вторичные минералы и не накапливаются в коллоидно-солевой фракции. Редкоземельные минералы и Y находятся в минеральной форме и являются наименее подвижными.

Благодарность. Авторы благодарят Ахмед Эль Саид Абдель Гавада, доцента геологии и геохимии за обсуждение материалов и ценные советы.

Аналитические работы выполнены в ресурсных центрах СПбГУ: «Геомодель», «Методы микроскопии и микроанализа», «Методы химического анализа».

ЛИТЕРАТУРА

1. Гхонеим М.М. Урановая минерализация жильного типа в Восточной пустыне Египта / М.М.Гхонеим, А.Е.Абдель Гавад // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. 2017. № 14. С. 5-16.
2. Олейникова Г.А. Геоинформационный ресурс анализа нанофракций горных пород / Г.А.Олейникова, Е.Г.Панова // Литосфера. 2011. № 1. С. 83-93.
3. Олейникова Г.А. Информационный ресурс анализа нанофракций почв / Г.А.Олейникова, Е.Г.Панова // Вестник СПбГУ. 2007. Сер. 7. Вып. 1. С. 60-66.
4. Патент № 2370764 RU. C21. Нанотехнологический способ определения наличия и количественного содержания редких и рассеянных химических элементов в горных породах, рудах и продуктах их переработки / Г.А.Олейникова, Е.Г.Панова, В.А.Шишлов, Л.И.Русанова. Оpubл. 20.10.2009. Бюл. № 29.
5. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. СПб: Лань, 2010. 416 с.
6. Abdel Gawad A.E. Activity ratios as a technique for studying uranium mobility at El Sela shear zone, southeastern Desert, Egypt / A.E.Abdel Gawad, E.M.Ibrahim // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Springer. 2016. Vol. 308. P. 129-142.
7. Abdel Gawad A.E. Uranium evaluation and its recovery from microgranite dike at G. El Sela area, South Eastern Desert, Egypt / A.E.Abdel Gawad, A.H.Orabi, M.B.Bayoumi // Arabian Journal of Geosciences. 2015. Vol. 8. P. 4565-4580. DOI: 10.1007/s12517-014-1499-3, 4565-4580.

8. *Abd El-Naby H.H.* Natural attenuation of uranium and formation of autunite at the expense of apatite within an oxidizing environment, south Eastern Desert of Egypt / H.H.Abd El-Naby, Y.H.Dawood // *Applied Geochemistry*. 2008. Vol. 23. P. 3741-3755. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2008.09.011.
9. *Ali K.G.* Structural control of El Sela granites and associated uranium deposits, south Eastern Desert, Egypt // *Arabian Journal of Geosciences*. 2011. Vol. 6. № 6. P. 1753-1767. DOI: 10.1007/s12517-011-0489-y.
10. *Ali M.A.* Mineralogy, geochemistry and age dating of shear zone-hosted Nb-Ta-, Zr-Hf-, Th-, U-bearing granitic rocks in the Ghadir and El-Sella areas, South Eastern Desert, Egypt / M.A.Ali, D.R.Lentz // *Chinese Journal of Geochemistry*. 2011. Vol. 30. P. 453-478.
11. *Cuney M.* Uranium and Thorium Geochemistry and Mineralogy in the Manaslu leucogranite (Nepal, Himalaya) / M.Cuney, P.Le Fort, Z.X.Wang // *Geology of Granites and Their Metallogenic Relations*. 1984. P. 853-873.
12. El Sella shear zone, South Eastern Desert, Egypt. Example of vein-type uranium deposit / M.E.Ibrahim, A.A.Zalata, H.S.Assaf, I.H.Ibrahim, M.A.Rashed // *The 9th International Mining, Petroleum and Metallurgical Engineering Conference* / Cairo University, Egypt, Mining. 2005. P. 41-55.
13. *Gaafar I.* Mineral chemistry of two-mica granite rare metals: impact of geophysics on the distribution of uranium mineralization at El Sella shear zone, Egypt / I.Gaafar, M.Cuney, A.Abdel Gawad // *Open Journal of Geology*. 2014. Vol. 4. P. 137-160.
14. *Ghoneim M.M.* Vein-type uranium mineralization in the Eastern Desert of Egypt / M.M.Ghoneim, A.E.Abdel Gawad // *Известия УГТУ*. 2018. Вып. 1(49). С. 33-38. DOI: 10.21440/2307-2091-2018-1-33-38.
15. Petrology, geochemistry, radioactivity, and M–W type rare earth element tetrads of El Sella altered granites, south Eastern Desert, Egypt / A.M.El Mezayen, M.A.Heikal, M.G.El-Feky, H.A.Shahin, I.K.Abu Zeid, S.R.Lasheen // *Acta Geochimica*, 2018. DOI: 10.1007/s11631-018-0274-7.
16. *Shahin H.A.* Zr-Y-Nb-P3M mineralization associated with microgranite and basic dykes at El Sella shear zone, South Eastern Desert, Egypt // *Springer Plus*. 2014. Vol. 3. № 573. 12 p. DOI: 10.1186/2193-1801-3-573.
17. Uranium deposits spatially related to granites in the French part of the Hercynian orogen / B.Poty, J.Leroy, M.Cathelineau, M.Cuney, M.Friedrich, M.Lespinasse, L.Turpin // *Vein Type Uranium Deposits*, IAEA-TC-361, International Atomic Energy Agency, Vienna; 1986. P. 215-246.
18. Uranium potential of Eastern Desert granites, Egypt / A.A.Abdel-Meguid, M.Cuney, S.E.Ammar, T.M.Ibrahim, K.G.Ali, H.A.Shahin, S.A.Omer, I.M.Gaafar, S.M.Masoud, A.A.Khamis, M.H.Haridy, A.I.Kamel, A.E.Abdel Gawad, B.M.Mostafa, A.M.Abo Donia, E.M.Aly // *Internal Report for Project: EGY/03/014: Technical Assistance by (IAEA)*, 2003. 270 p.
19. Uranium potentiality and its extraction from El Sella shear zone, south Eastern Desert Egypt / T.M.Ibrahim, T.E.Amer, K.G.Ali, S.A.Omar // *Faculty of Science, Minufia University*. 2007. Vol. 11. P. 1-18.

Авторы: М.М.Гhoneim, аспирант, moh.gho@mail.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; Управление ядерных материалов, Каир, Египет), Е.Г.Панова, д-р геол.-минерал. наук, профессор, e.panova@srbu.ru (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 8.08.2018

Статья принята к публикации 8.10.2018.