

И. М. Неклюдов, Б. В. Борц, Е. П. Березняк, Л. А. Саенко

ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ
ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД УКРАИНЫ

С целью прогнозирования радиационной стойкости гранитоидных пород в условиях захоронения радиоактивных отходов проведены эксперименты по их облучению ускоренными электронами с энергией ~ 7 МэВ. Выполнены расчеты распределения поглощенной дозы и длин свободного пробега электронов по глубине в исследуемых образцах гранитоидов. Изучены структурно-фазовые преобразования, происходящие под влиянием облучения в основных породообразующих минералах, входящих в состав исследуемых гранитоидов. Сделана сравнительная оценка радиационной стойкости основных разновидностей гранитоидов Украины. Установлено, что в исследуемом диапазоне доз ($10^7 - 10^8$ Гр) все изученные гранитоиды сохранили свою целостность, однако анализ изменений структуры, фазового состава и свойств гранитоидов в результате облучения электронами показал, что наиболее стабильными при радиационном воздействии являются две разновидности: плагиограниты и кварцевые сиениты.

Ключевые слова: электронное облучение, радиационная стойкость, гранитоидные породы, минералы, структурно-фазовые преобразования.

Введение

Одним из способов решения проблемы безопасного обращения с радиоактивными отходами (РАО) является захоронение их в глубинные геологические формации, которые смогут обеспечить радиационную безопасность на длительный период времени и исключить проникновение вредных веществ в среду обитания человека [1, 2]. В Украине наиболее перспективным для безопасного захоронения РАО является глубинный массив гранитоидных пород в зоне отчуждения ЧАЭС [3 - 5]. Объектом исследования в данной работе были выбраны основные разновидности гранитоидных пород, которые являются потенциально пригодными для сооружения в них геологического хранилища.

Решение проблемы размещения РАО в гранитоидных массивах требует поиска критериев для оценки их радиационной стойкости в зависимости от минерального состава и структуры породы. Известно, что предельная доза внешнего облучения со стороны РАО, которая может быть

набрана породой на протяжении 10000 лет, составляет $\sim 3 \cdot 10^7$ Гр [6 - 8].

В данной работе для определения устойчивости гранитоидных пород к радиационному воздействию разработана схема проведения экспериментов по облучению их ускоренными электронами. Выполнены расчеты распределения поглощенной дозы и длин свободного пробега электронов по глубине в исследуемых гранитоидах. В проведенных экспериментах по облучению гранитоидных пород энергии электронов превышали реальные с целью ускоренного набора материалом требуемой поглощенной дозы.

Объекты исследования

Объектом исследования послужили основные разновидности гранитоидных пород Украинского кристаллического щита (нормальные граниты, плагиограниты, гранодиориты, кварцевые сиениты и кварцевые диориты), вскрытые на глубине от 840 - 900 до 3420 м. Химический и минералогический составы исследуемых гранитоидов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Средний химический состав гранитоидных пород [9 - 11]

Окислы	Содержание, % мас.										
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
Граниты нормальные	73,88	0,36	13,84	0,56	0,72	0,01	0,56	2,84	2,90	4,85	1,56
Плагиограниты	65,53	0,49	17,19	0,95	2,69	0,08	2,42	4,13	3,65	2,48	1,88
Гранодиориты	65,39	1,57	16,30	0,70	3,81	0,07	2,15	2,53	3,74	2,51	1,41
Кварцевые диориты	60,46	1,00	17,08	0,97	4,45	0,07	2,57	5,42	4,11	2,33	0,37
Кварцевые сиениты	66,72	0,80	13,98	0,16	3,49	0,06	2,60	3,88	6,89	3,05	1,38

Таблица 2. Средний фазовый состав гранитоидных пород [9, 11]

Основные фазы гранитных пород	Содержание, % мас.				
	Нормальные граниты	Плагиограниты	Гранодиориты	Кварцевые диориты	Кварцевые сиениты
Кварц	30,78	21,00	27,50	8,75	14,20
Ортоклаз и микроклин	48,80	29,90	24,27	10,27	22,12
Плагиоклазы	18,20	40,70	30,04	44,45	54,20
Биотит	2,45	6,00	10,87	5,20	5,20
Мусковит	+	3,12		-	12,95
Амфиболы	+	4,17		25,75	3,55
Пироксены	-				
Вторичные (хлорит, серицит, каолинит, кальцит)	+	6,0	+	+	1,40
Акцессорные (циркон, гранат, апатит, рутил, монацит)	0,85	0,15	0,30	6,70	4,35
Рудные (магнетит, пирит, титанит)	1,05	0,50	0,05	1,0	1,0

Гранитоидные породы состоят из полевого шпата, кварца, роговой обманки, биотита и ильменита (см. табл. 2). Нередко темноцветные минералы частично или полностью замещаются вторичными: карбонатом, хлоритом, магнетитом, гематитом, вторичной роговой обманкой, гидробиотитом, эпидотом. Эти породы крупнозернистые, порфиоровидные, с крупными вкраплениями (до 3 - 5 см) полевого шпата, чаще розового микроклина, в окружении массы биотита. Их плотность колеблется от 2,46 - 2,50 до 2,82 г/см³, при средних значениях общей пористости от 1,9 - 2,0 до 3,8 % [12].

Методы обработки и исследования материалов

Облучение проводилось на линейном ускорителе электронов ННЦ «ХФТИ» КУТ-1 при следующих параметрах: энергия электронов $E \approx 7$ МэВ, средний ток пучка $I = 500$ мкА, температура облучаемых образцов $T_{\text{обл}} \approx 40$ °С, поглощенная доза $D_{\text{погл}} = 10^7 - 10^8$ Гр при флюэнсе электронов $\Phi = 3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17}$ см⁻². Облучение гранитных образцов толщиной 0,2 - 0,4 см производилось в охлаждающей водной среде в герметичных медных контейнерах (толщина медной фольги 0,05 см). Для определения оптимальных толщин образцов для облучения и защитного контейнера в программном пакете PENELOPE методом Монте-Карло был произведен расчет свободного пробега электронов с энергией 7 МэВ в граните и меди и распределения поглощенной дозы при облучении композитного образца «медь - гранитоид».

Структура поверхности исходных и облученных электронами гранитоидов исследовалась в отраженном свете с помощью металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51. Измерения

плотности исследуемых гранитоидных пород проведены пикнометрическим методом с использованием весов ВЛР-20.

Изучение фазового состава и структуры исходных и облученных мономинеральных фракций, отобранных из исследуемых гранитоидов с помощью микроскопа МБС-19, проводилось с помощью кристаллооптического метода, инфракрасной спектроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Спектры инфракрасного поглощения записывались на спектрофотометре UR-20 (Zeis, Jena) в диапазоне частот 400 - 4000 см⁻¹ с погрешностью измерения $\pm 2 - 7$ см⁻¹.

Кристаллооптические измерения проводились на поляризационных микроскопах МИН-8, ПОЛАМ-211Л с применением иммерсионных жидкостей. Точность измерения величины показателей преломления составляла $\pm 0,003$.

Рентгеноструктурный анализ производился на дифрактометре ДРОН-1,5 на отражение по схеме θ - 2θ с фокусировкой по Брэггу - Brentano в излучении медного анода с применением никелевого селективного фильтра.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Расчет параметров облучения

На рис. 1 приведены расчетные кривые глубины свободного пробега электронов с энергией 7 МэВ в граните *a* и меди *b*.

Для расчетов использовались усредненные данные: плотность гранита - 2,55 г/см³; средний химический состав гранита (% мас.): Si = 32,94; Al = 7,69; Ti = 0,06; Fe³⁺ = 0,92; Fe²⁺ = 1,51; Mn = 0,024; Na = 2,40; K = 3,82; P = 0,02; H = 0,10; O = 48,66.

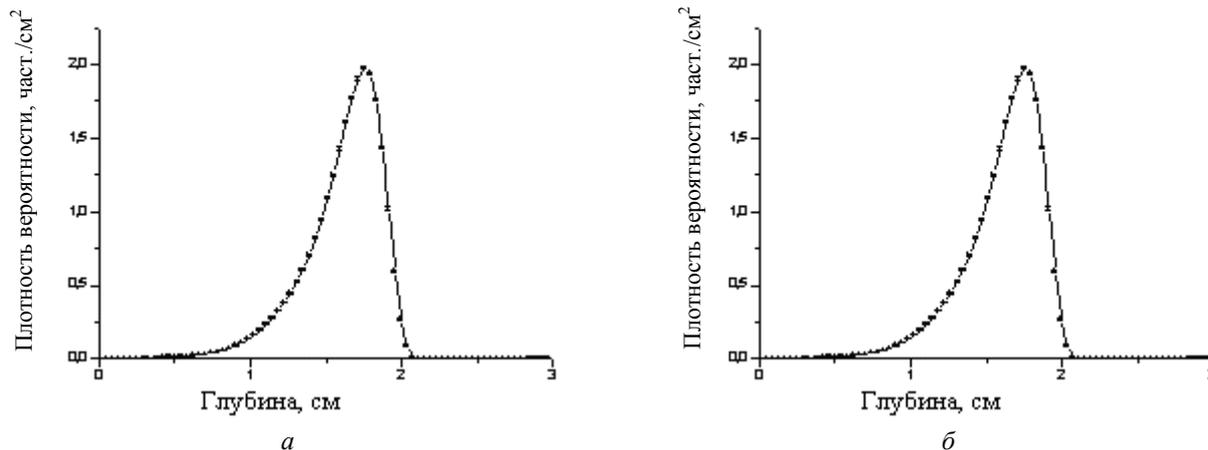


Рис. 1. Распределение длин свободного пробега электронов с энергией 7 МэВ в граните (а) и меди (б).

Как видно из рис. 1, а, электроны беспрепятственно проходят через гранитный образец толщиной 0,5 см, после чего начинается их торможение, максимум которого находится на глубине ~1,5 см. Поэтому оптимальная толщина гранитоидных образцов для облучения не должна превышать 0,5 см. Из рис. 1, б видно, что максимальная длина свободного пробега электронов через слой меди составляет 0,6 см.

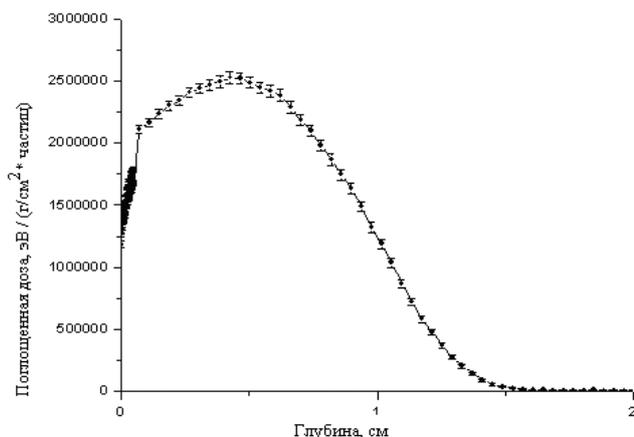


Рис. 2. Распределение поглощенной дозы по глубине в композите «медь - гранит», толщина меди 0,05 см, гранита 2 см.

Из рис. 2 видно, что максимум поглощенной дозы в композите «медь - гранит» соответствует глубине ~ 0,5 см при энергии электронов ~ 7 МэВ, после чего ее величина постепенно уменьшается с увеличением глубины.

На основании проведенных расчетов было определено, что толщина образцов гранитоидов для электронного облучения не должна превышать 0,4 - 0,5 см.

Изменение структуры и свойств гранитоидных пород после облучения

В результате облучения гранитоидов до дозы 10^8 Гр микроструктура поверхности образцов сохранилась без изменений, макроскопических нарушений структуры не наблюдалось, за исключением развития системы мелких капиллярных трещин.

Во всех образцах гранитоидных пород в результате облучения наблюдалось снижение плотности, которое не превышало 1,5 % (табл. 3). Наименьшее снижение плотности отмечалось для плагиогранитов и кварцевых сиенитов.

Таблица 3. Плотность (г/см³) гранитоидов до и после облучения электронами

Граниты	Исходное состояние	D _{полг} = 5 · 10 ⁷ Гр	D _{полг} = 10 ⁸ Гр	Снижение плотности	
				г/см ³	%*
Гранодиорит	2,647	2,624	2,615	0,032	1,21
Нормальный гранит	2,649	2,633	2,632	0,017	0,62
Плагиогранит	2,647	2,634	2,636	0,011	0,43
Кварцевый диорит	2,923	2,899	2,896	0,027	0,92
Кварцевый сиенит	2,730	2,723	2,726	0,004	0,13

*В последнем столбце приведена разность между исходной плотностью и плотностью после облучения до дозы D_{полг} = 10⁸ Гр.

Поскольку исследуемые гранитоиды являются многофазными объектами, то их свойства, в ча-

стности радиационная стойкость, зависят от характеристик отдельных фаз. Были изучены ра-

диационно-стимулированные преобразования структуры и фазового состава четырех основных силикатных фаз, входящих в состав гранитоидных пород: кварца, микроклина, биотита и роговой обманки.

В исследованных разновидностях исходных гранитоидов диагностированы две модификации кремнезема SiO_2 : низкотемпературный α -кварц и α -кварц с признаками наложенного метаморфизма, содержащий высокотемпературные модификации кремнезема.

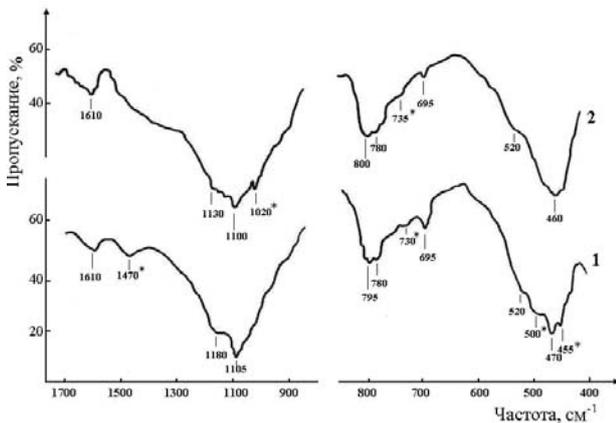


Рис. 3. ИК-спектры поглощения низкотемпературного кварца: 1 - исходный кварц; 2 - после облучения $D = 10^8$ Гр; * - примесные минеральные фракции.

При тех же условиях высокотемпературные модификации SiO_2 , входящие в состав α -кварца с признаками наложенного метаморфизма, претерпевают фазовое превращение в скрытокристаллическую водосодержащую форму кремнезема — опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), о чем свидетельствует появление в ИК-спектре полос поглощения искусственного опала: 750, 910 и 1030 cm^{-1} . При этом в спектре отчетливо проявляются все основные полосы низкотемпературного α -кварца (рис. 4, кривая 2), в частности отсутствующие в спектре исходного образца пики 520 и 695 cm^{-1} , являющиеся критерием его кристалличности. Это говорит о том, что кристаллическая структура α -кварца с большим количеством дефектов, входящего в состав данной разновидности SiO_2 , постепенно совершенствуется с ростом дозы облучения, что обусловлено радиационно-стимулированной диффузией примесных ионов и радиационным отжигом дефектов его исходной структуры.

Установлено, что калиевые полевые шпаты KAlSi_3O_8 , входящие в состав исследуемых гранитоидных пород, представлены двумя разновидностями: максимально упорядоченным белым микроклином и промежуточным розовым микроклином, содержащим примеси железа и промежуточного альбита.

В результате электронного облучения низкотемпературного α -кварца до дозы $D = 10^8$ Гр наблюдается небольшое уменьшение двойного лучепреломления ($N_e - N_o = 0,007$ по сравнению с исходным $N_e - N_o = 0,009$), незначительное снижение интенсивности и уширение основных полос ИК-поглощения α -кварца, свидетельствующие о начальной стадии разупорядочения его кристаллической структуры под влиянием облучения (рис. 3, кривая 2).

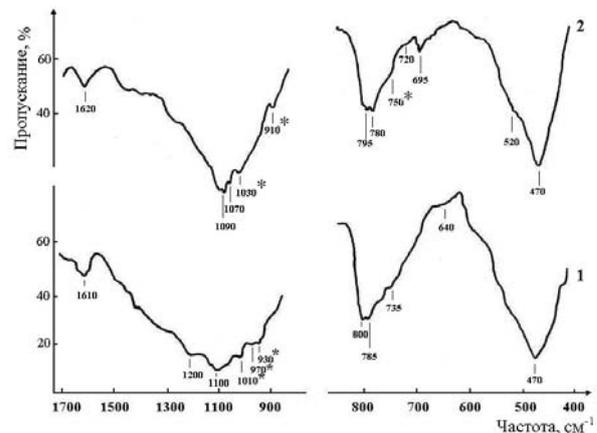


Рис. 4. ИК-спектры поглощения кварца с признаками наложенного метаморфизма: 1 - исходный кварц; 2 - после облучения $D = 10^8$ Гр; * - высокотемпературные модификации кремнезема (кривая 1); * - искусственный опал (кривая 2).

В результате облучения, с увеличением дозы от 10^7 до 10^8 Гр, наблюдается последовательное уменьшение показателя преломления и снижение величины двойного лучепреломления белого упорядоченного микроклина за счет образования вторичных продуктов пелитизации и разупорядочения кристаллической решетки. С помощью рентгеноструктурного анализа установлено, что после электронного облучения белого микроклина наблюдается образование структурных дефектов и постепенное уменьшение катионной упорядоченности, что приводит к переходу микроклина из упорядоченного в промежуточное состояние при максимальной дозе облучения ($D = 10^8$ Гр) (табл. 4). При этом не происходит аморфизация исходного вещества.

Исследование ИК-спектров облученных образцов белого микроклина показало, что с увеличением дозы отмечается постепенное снижение интенсивности основных максимумов поглощения со смещением их в низкочастотную область. Эти изменения вызваны частичным разрывом связей Si-O в каркасной структуре микроклина, перестройкой атомов алюминия и кремния в тетраэдрических позициях и разупорядочением кристаллической решетки минерала.

Таблица 4. Результаты расчета параметров кристаллической структуры исходного и облученных образцов белого микроклина

Доза D, Гр	Параметры решетки						$\Delta\rho$	t_{10}	t_{1m}	t_{20}	t_{2m}
	a, Å	b, Å	c, Å	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$					
Исходный	8,5981	12,9919	7,2346	90,659	115,862	87,696	0,95	0,988	0,012	0	0
10^7	8,5980	12,9906	7,2348	90,658	115,875	87,690	0,96	0,99	0,01	0	0
$5 \cdot 10^7$	8,5993	12,9949	7,2352	90,664	115,877	87,694	0,95	0,944	0,056	0	0
10^8	8,5977	12,9911	7,2335	90,655	115,842	88,03	0,75	0,789	0,194	0,008	0,008

Судя по данным кристаллооптического анализа, ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа, облучение розового микроклина сопровождается на начальных стадиях (при дозах $10^7 - 5 \cdot 10^7$ Гр) некоторым совершенствованием его исходной структуры за счет радиационного отжига дефектов. Однако при этом часть микроклина переходит в высокотемпературную разупорядоченную модификацию – ортоклаз, имеющий моноклинную сингонию. При максимальной дозе облучения 10^8 Гр наблюдается уменьшение

двойного лучепреломления ($N_e - N_o = 0,003$ по сравнению с исходным $N_e - N_o = 0,008$), значительное уширение дифракционных линий, а также уменьшение интенсивности и сглаживание полос ИК-поглощения розового микроклина, что является следствием возникновения радиационных дефектов в веществе, постепенного разупорядочения и моноклинизации структуры микроклина с образованием слабо кристаллизованных продуктов вторичной пелитизации (табл. 5).

Таблица 5. Результаты расчета параметров кристаллической структуры исходного и облученных образцов розового микроклина

Доза D, Гр	Параметры решетки						$\Delta\rho$	t_{10}	t_{1m}	t_{20}	t_{2m}
	a, Å	b, Å	c, Å	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$					
Исходный	8,564	12,968	7,215	90,41	115,94	87,39	0,70	0,850	0,131	0,002	0,002
10^7	8,568	12,971	7,221	90,42	115,91	87,48	0,62	0,796	0,180	0,012	0,012
$5 \cdot 10^7$	8,568	12,974	7,223	90,415	115,906	87,466	0,74	0,863	0,101	0,018	0,018
10^8	8,568	12,968	7,218	90,411	115,906	88,497	0,55	0,76	0,192	0,024	0,24

Изучены структурные изменения, происходящие при облучении двух видов темноцветных минералов, входящих в состав исследуемых гранитоидов – биотите и роговой обманке. Эти минералы обладают способностью образовывать в гранитоидной породе параллельно-ориентированные прослойки, при разрушении которых могут формироваться трещины. В составе исследуемых гранитоидов были выявлены две разновидности биотитов $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$: обычный биотит и гидратированный биотит.

В результате электронного облучения до доз $10^7 - 10^8$ Гр показатели преломления обычного биотита ($N_g = N_m = 1,630$) последовательно повышаются до 1,650 с ростом дозы за счет окисления ионов $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ при переходе гематита в магнетит. Процессы окисления железа сопровождаются изменением окраски биотита с проявлением интенсивных коричневых тонов. Сравнение ИК-спектров исходного и облученного обычного биотита показало, что после облучения он сохраняет свою кристаллическую структуру с ее частичным разупорядочением.

В гидратированном биотите часть ионов натрия или калия замещена молекулами H_2O . В связи с этим основные изменения его структуры

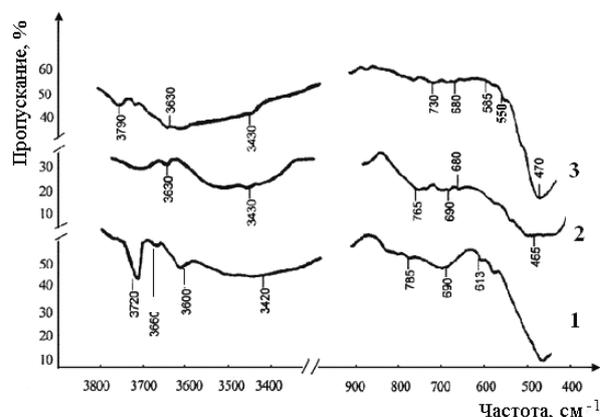


Рис. 5. ИК-спектры поглощения гидратированного биотита: 1 - исходный; 2 - после облучения до $D = 10^7$ Гр; 3 - то же до $D = 10^8$ Гр.

в результате облучения связаны с потерей межслоевой воды. Об этом свидетельствует существенное снижение уровня пропускания в области $3400 - 3800 \text{ см}^{-1}$, исчезновение максимумов $3600, 3660, 3720 \text{ см}^{-1}$ (рис. 5, кривые 2 и 3). Этот процесс сопровождается разрушением кристаллической решетки исходного вещества и переходом его в слабо кристаллизованную глинистую массу вермикулитового состава. На ИК-спектре гидратированного биотита, облученного до дозы

10^8 Гр появляется ряд мелких пиков, характерных для вермикулита: 680, 730, 3630 и 3790 см^{-1} (см. рис. 5, кривая 3).

Кроме того, при максимальной дозе облучения в ИК-спектре гидратированного биотита отчетливо проявляются мелкие максимумы в области 550 - 730 см^{-1} связанные с новообразованием оксидов железа и титана.

Наблюдаемые в результате облучения изменения показателей преломления, плеохроизма, а также степени разрешения, формы и частот основных полос ИК-поглощения роговой обманки $(\text{Mg,Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ связаны с перестройкой в октаэдрической подрешетке, вызванной потерей структурных гидроксильных групп и процессами окисления железа, приводящими к образованию магнетита и гематита.

Известно, что наиболее радиационно-стойкими являются породы, в состав которых входит минимальное количество минералов, испытывающих под облучением дегидроксиляцию, фазовые переходы и образующих вторичные продукты пелитизации и серицитизации [13 - 15]. Это связано с тем, что радиационно-стимулированные фазовые переходы в кристаллических минералах,

составляющих породу, сопровождаются положительными радиационными деформациями, создающими в ней внутренние напряжения. По мере роста дозы облучения напряжения увеличиваются, что приводит к возникновению микротрещин и местному разрушению породы.

Среди изученных породообразующих минералов фазовые переходы отмечены в кварце с признаками наложенного метаморфизма, розовом микроклине и гидробиотите. Среди изученных гранитоидов одновременное присутствие этих минералов отмечается только в нормальном граните. Не обнаруживают присутствия этих минералов кварцевые диориты и кварцевые сиениты, а плагиограниты содержат розовые микроклины.

Таким образом, анализ изменений структуры, фазового состава и свойств, исследуемых гранитоидов в результате облучения электронами показал, что наиболее стабильными при радиационном воздействии являются две разновидности гранитоидов: плагиограниты и кварцевые сиениты. Полученные результаты могут быть использованы при комплексной оценке горной породы для сооружения в ней глубинного хранилища РАО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Котов И.Л.* Radiation of mineralogy and geochemistry. - К.: Логос, 2004. - 419 с.
2. *Ядерная энергетика. Обращение с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами /* Под ред. И. М. Неклюдова. - К.: Наук. думка, 2006. - 253 с.
3. *Скворцов В.В., Александров Н.В.* Принципы создания геолого-информационной базы выбора места для захоронения долгосуществующих радиоактивных отходов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. - 2007. - № 6(91). - С. 89 - 93.
4. *Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы, решения /* Под общей ред. академика НАН Украины Э. В. Собоновича. - К.: Издательский центр «Друк», 2003. - 400 с.
5. *Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю.* Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / Под ред. Ю. М. Шигера. - Черновобиль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2005. - 486 с.
6. *Саенко С.Ю., Неклюдов И.М., Холмеев Г.А. и др.* Математическое моделирование тепло-массопереноса в геологическом защитном барьере после захоронения отработавшего ядерного топлива // Ядерная и радиационная безопасность. - 2001. - № 4. - С. 66 - 72.
7. *Шабалин Б.Г.* Техногенные месторождения минерального сырья при захоронении радиоактивных отходов // Наукові праці Донецьк. нац. техн. ун-ту. Сер. «Гірничо-геологічна». - 2004. - Вип. 81. - 150 с.
8. *ГОСТ Р 50926-96.* Отходы высокоактивные отвержденные.
9. *Щербаков И.Б.* Петрография докембрийских пород центральной части Украинского щита. - К.: Наук. думка, 1975. - 875 с.
10. *Сидоров В.М.* Химические анализы гранитоидов Украинского докембрия: Справочник. - К.: Наук. думка, 1970. - 700 с.
11. *Справочник по петрографии Украины (магматические и метаморфические породы) /* Под ред. И. С. Усенко. - К.: Наук. думка, 1975. - 579 с.
12. *Беликов Б.П.* Упругие и прочностные свойства горных пород // Сб. исслед. физ.-мех. горных пород: Тр. ИГЕМ. - М., 1961. - Вып. 43. - С. 47 - 50.
13. *Дубровский В.Б.* Влияние облучения на свойства горных пород. - М., 1977. - С. 99 - 109.
14. *Дубровский В.Б.* Радиационная стойкость строительных материалов. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
15. *Дубровский В.Б.* Влияние облучения на минералы силикаты // Материалы и конструкции защиты ядерных установок. - М.: Атомиздат, 1977. - С. 113 - 120.

І. М. Неклюдов, Б. В. Борц, О. П. Березняк, Л. О. Сасенко

ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ГРАНІТОЇДНИХ ПОРІД УКРАЇНИ

З метою прогнозування радіаційної стійкості гранітоїдних порід в умовах поховання радіоактивних відходів проведено експерименти по їхньому опроміненню прискореними електронами з енергією ~ 7 МеВ. Виконано розрахунки розподілу поглиненої дози та довжин вільного пробігу електронів по глибині в досліджуваних зразках гранітоїдів. Вивчено структурно-фазові перетворення, які відбуваються під впливом опромінення в основних породоутворюючих мінералах, що входять до складу досліджуваних гранітоїдів. Зроблено порівняльну оцінку радіаційної стійкості основних різновидів гранітоїдів України. Установлено, що в досліджуваному діапазоні доз ($10^7 - 10^8$ Гр) усі вивчені гранітоїди зберегли свою цілісність, однак аналіз змін структури, фазового складу та властивостей гранітоїдів у результаті опромінення електронами показав, що найбільш стабільними при радіаційному впливі є два різновиди: плагіограніти та кварцові сієніти.

Ключові слова: електронне опромінювання, радіаційна стійкість, гранітоїдні породи, мінерали, структурно-фазові перетворення.

I. M. Neklyudov, B. V. Borts, O. P. Bereznjak, L. O. Sayenko

EVALUATION OF RADIATION STABILITY OF GRANITOID ROCKS OF UKRAINE

For the purpose of prediction of the radiating stability of granitoid rocks in conditions of a burial of radioactive waste the experiments on irradiation granites by accelerated electrons with energy of $E = 7$ MEV have been made. Calculations of the absorbed doze distribution and lengths of electrons free pass depended on depth in investigated samples was executed. Structural-phase transformations of the basic rockforming minerals after their irradiation have been investigated. The comparative evaluation of radiation stability of different Ukraine granitoids has been carried out. It was established, that in the investigated range of doses ($10^7 - 10^8$ Gy) all studied granitoids have retained their integrity, however analysis of changes in the structure of the phase composition and properties of granitoids by electron irradiation showed that under the radiation influence the most stable are two varieties: plagiogranites and quartz syenites.

Keywords: electron irradiation, radiation firmness, granitoid rocks, minerals, structural-phase transformations.

Надійшла 25.07.2012

Received 25.07.2012