Р.Э.Дашко
Санкт-Петербургский горный институт

УДК 624.131.1+556.3

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Проанализировано влияние длительного радиационного облучения на изменение состава, физико-химической активности и показателей механических свойств нижнекембрийских синих глин, служащих основанием хранилищ низкоактивных отходов. Показано, что в результате формирования дефектов в кристаллической решетке породообразующих и цементирующих минералов и их аморфизации наблюдается существенное снижение величин модуля общей деформации и параметров сопротивления сдвигу, в 2 раза возрастает емкость поглощения и способность глин к набуханию. Отмечено, что толща этих глин характеризуется высоким содержанием бактериальной массы, что свидетельствует об активной микробиологической деятельности, особенно в верхней части разреза.

Long-term influence of irradiation on transformation of composition, physical-chemical activity and mechanical properties for Low-Cambrian blue clay has been analyzed. The latter provides the storage base for low-active wastes. Considerable decrease of the modulus of deformation and shear strength parameters, resulted from crystalline lattice defects generation of the soil-forming and cementing minerals as well as their amorphization is being observed. It should be marked that the base exchange capacity and the intensity in clay swelling are doubled. The upper part of the clay section is characterized by a high content of bacterial mass due to existence of an intensive microbiological activity.

Накопление значительного количества радиоактивных отходов (РАО) различных производств Ленинградской области вызывает необходимость скорейшего решения проблемы их безопасного складирования и (или) переработки. В течение длительного времени РАО депонировались в поверхностных хранилищах на спецкомбинате «Радон» и в могильниках Ленинградской АЭС. В настоящее время из-за отсутствия хранилищ РАО не могут кардинально решаться вопросы демонтажа ядерных установок, выработавших свой ресурс на ЛАЭС, удаления отработанного ядерного топлива и др.

Для подземного складирования РАО в пределах Ленинградской области, по мнению ряда специалистов в области ядерной физики, можно использовать верхнекотлинские глины венда и нижкембрийские синие глины. При этом предпочтение отдается более молодым отложениям – синим глинам – в силу их большей пластичности, высокого содержания глинистой фракции и относительно неглубокого залегания от дневной поверхности в пределах предглинтовой территории Ленинградской области. Поскольку мощность этих глин в рассматриваемом регионе не превышает 130 м, захоронение РАО должно производиться в специальных подземных выработках.

Разработка проектов подземного захоронения РАО в глинистых породах базируется на предположении, что такие отложения являются тонкопористой нетрещиноватой средой, имеющей низкую фильтрационную способность, малую диффузионную проницаемость и высокую сорбционную емкость. Кроме того, разработчиками проекта декларируется, что глинистые породы устойчивы к действию радиационного облучения, высоких температур, а также инертны по отношению к агрессивным средам.

Однако проведенные исследования показали, что толщу нижнекембрийских синих глин следует рассматривать как блочную среду, имеющую зональное строение по глубине. Каждая зона характеризуется интенсивной трещиноватостью различного генезиса: тектонической, гляциотектонической, литогенетической, выветривания, разуплотнения и др. Тектоническая и литогенетическая трещиноватость формирует блочное строение толщи синих глин с закономерным увеличением размеров блоков сверху вниз. Глубина зоны разуплотнения синих глин с более высокими значениями естественной влажности и более низкой плотностью обычно не превышает 25 м. Каждая из выделенных по глубине зон обладает определенной изменчивостью физико-механических свойств в зависимости от интенсивности трещиноватости и степени разуплотнения пород [4].

В настоящее время объем исследований по влиянию радиационного излучения на горные породы, в том числе глинистые отложения, и породообразующие минералы не велик. Обычно радиационная устойчивость минералов снижается по мере перехода от кварца к алюмосиликатам: кварц микроклин каолинит – гидрослюда монтмориллонит. Согласно теории радиационных повреждений в твердом теле, изменение кристаллической структуры минералов происходит за счет взаимодействия облучающих частиц с составляющими элементами минералов, которые выводятся из положения равновесия в узлах кристаллической решетки и могут быть причиной смещения других элементов. Такие процессы приводят к разупорядочению строения кристаллической структуры, образованию в ней вакансий и формированию дефектов на микроуровне, что в конечном итоге вызывает изменение свойств минералов за счет их аморфизации [2]. Специальные исследования показали, что аморфизация кварца после облучения сопровождается увеличением его объема более, чем на 17 % [1]. В первую очередь, облучение воздействует на структурные связи между минералами и их агрегатами. Так, например, образцы гранита, облученные дозой $2{,}8 \cdot 10^{20}$ нейтронов на 1 $см^2$, рассыпались на зерна размером 1-5 мм. Радиационное облучение бетонов приводило к снижению их прочности от 20 до 90 % в зависимости от условий облучения, длительности его воздействия, состава цемента и заполнителя [3].

Особо следует остановиться на радиационной устойчивости глинистых минералов, связь между слоями которых обычно реализуется за счет разноименно заряженных поверхностей либо катионов, располагающихся между одноименно заряженными слоями. Подобного типа связи легко разрушаются под воздействием радиационного облучения одновременно со структурными связями между минеральными частицами. При длительном радиационном воздействии наблюдается изменение в валентных колебаниях связей Si – O и Al – O внутри слоя вплоть до их разрушения. Кроме того, наблюдается дегидратация глинистых минералов с последовательным выделением кристаллизационной, а затем конституционной воды из решетки минерала. Удаление кристаллизационной воды отражается на химических, физико-химических и физико-механических свойствах глин, а удаление конституционной воды приводит к полному разрушению кристаллической решетки минерала.

Исследования нижнекембрийских синих глин, которые подвергались в течение 50 лет радиационному облучению в основании одного из хранилищ РАО, обнаружили значительные преобразования этих пород. Необходимо отметить, что в рассматриваемые хранилища складировались низкоактивные отходы РАО с уровнем активности α- и β-излучения, не превышающим 10^5 и 10^6 Бк/кг соответственно. Под действием длительного облучения снизилось количество глинистых минералов, которые идентифицируются с помощью рентгеноструктурного анализа. В составе фракции крупностью $d < 0{,}002$ мм были зафиксированы только иллит и мусковит, в то время как необлученные породы содержат хлорит, гидромусковит, гидробиотит, глауконит, реже монтмориллонит. Аморфизация глинистых минералов подтверждается результатами изучения поглоти-

Параметры прочности и деформационной способности синих глин

Район исследований	Глубина от кровли синих глин, м	Естественная влажность	Число пластичности	Величина свободного набухания, %	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения	Модуль общей деформации, МПа
Хранилище РАО (Силламяэ)	5,0-10,0	0,19-0,23	0,31-0,41	14,0-20,0	0,019-0,075	0	2,9-7,8
Нарва	5,0-10,0	0,16-0,28	0,14-0,22	4,5-6,0	0,10-0,14	3-4	10,0-28,0
Никольское Ленинградской области	3,0-8,0	0,20-0,23	0,19-0,27	5,0-8,0	0,075-0,117	3-8	19,0-24,0

тельной способности синих глин. В необлученных породах емкость поглощения обычно составляет 12 мг-экв/100 г породы, в облученных породах этот показатель вырос почти в 2 раза, до 20-22 мг-экв/100 г породы. Аморфизация глинистых минералов приводит также к повышению гидрофильности синих глин, что вызывает рост числа пластичности и способности этих пород к набуханию. Величина свободного набухания облученных синих глин значительно выше по сравнению с неизменной породой (см. таблицу).

Поскольку прочность и деформационная способность определяют устойчивость пород в подземных выработках, то снижение таких характеристик при радиационном воздействии необходимо учитывать при проектировании не только подземных хранилищ РАО в синих глинах, но и подземных атомных станций. При визуальной оценке нижнекембрийских синих глин, претерпевших длительное радиационное облучение, отмечается интенсивная степень их дезинтегрированности и трещиноватости.

Особое внимание при создании и эксплуатации хранилищ РАО следует уделить возможной активизации микробиологической деятельности во вмещающей толще пород. Для нижнекембрийских синих глин, которые служили основанием хранилища РАО, было произведено определение бактериальной массы (БМ) по методу Бредфорда, позволяющему оценивать суммарное количество микробного белка:

Глубина от кровли синих глин, м	1,8-3,4	3,5-11,0	12,0-19,0
БМ, мкг/г	204 - 465 / 284 (9)	150 - 365 / 234 (10)	104 - 275 / 172 (10)

Примечание. В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение и число определений (в скобках).

Четкая закономерность уменьшения БМ может быть объяснена существованием поверхностного источника излучения. Обычно для рассматриваемых глин вне зон облучения и других техногенных воздействий величина БМ не превышает 10-30 мкг/г, мало меняясь с глубиной.

Присутствие микробиоты, клетки которой сорбируются на дисперсных частицах, действует как негативный фактор, способствуя дополнительному снижению прочности, проявлению пластических свойств и генерируя биокоррозийное воздействие на строительные и защитные конструкции, что также должно быть учтено при проектировании подземных хранилищ РАО и атомных станций.

Следует отметить, что нижнекембрийские синие глины служат верхним водоупором ломоносовского водоносного горизонта, который в западной части Ленинградской области будет использоваться для водоснабжения Ивангорода. Радиационный техногенез этих глин, приводящий к трансформации минерального состава, усилению степени трещиноватости и соответственно проницаемости может вызвать загрязнение подземных вод радионуклидами в течение продолжительного времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние облучения на материалы и элементы электронных схем: Сб. статей / Под ред. Д.Ф.Кирчера и Р.Е.Боумана. М.: Атомиздат, 1967.

2. *Динс Дж.* Радиационные эффекты в твердых телах / Дж. Динс, Дж.Виниярд. М.: Иностранная литература, 1960.

3. *Дубровский Б.Г* Изменение свойств заполнителей бетонов под воздействием облучения нейтронами / Б.Г.Дубровский, Б.К.Пергаменщик, В.В.Кореневский и др. // Бетон и железобетон. 1970. № 9.

4. *Dashko R.E.* The peculiarities of geotechnical assessment of Lower Cambrian clays in the North-Western part of the Russian platform / R.E.Dashko, I.L.Plechkova // Baltic Geotechnics'95 / Proceedings of the 8th Baltic Geotecnnical conference. Rotterdam, Brookfield, 1995.