

ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ГЛИНИ ЗА ПОГРЕБВАНЕ НА РАДИОАКТИВНИ ОТПАДЪЦИ

Радосвета Маркова

Геологически институт, БАН
ул. "Акад. Георги Бончев", бл. 24, София 1113, България
E-mail: eti@geology.bas.bg и radosveta_markova@hotmail.com

РЕЗЮМЕ

Радиоактивните отпадъци (РАО) представляват сериозен проблем за околната среда и здравето на хората. Необходимо е те да бъдат изолирани от биосферата в изградени за целта хранилища, които трябва да отговарят на специални условия, осигуряващи безопасно съхранение без риск от изтичане на радиация в околната среда.

Голяма част от съществуващите или проектирани хранилища за РАО по света попадат в глинести терени. Те са предпочитани поради добрите си изолационни качества.

В настоящия доклад е направено кратко обобщение на чуждестранния опит в изследванията на глини за изолация на РАО. Описани са хранилището "Centre de l'Aube" (Франция), хранилището "Mohovtse" (Словакия) и подземната изследователска лаборатория "HADES" (Белгия).

Анализът на този опит ще подпомогне изследванията у нас за избор и проучване на площадка за хранилище на РАО в глини.

ВЪВЕДЕНИЕ

Радиоактивните отпадъци (РАО) се различават от останалите видове отпадъци по съдържанието на вещества, които излъчват йонизираща радиация (алфа, бета и гама лъчи). Тя уврежда живата тъкан и може да бъде опасна за хората и околната среда. Радиоактивността на РАО намалява с течение на времето, но докато се редуцира до нива безвредни за човешкото здраве и околната среда, е наложително тези отпадъци да бъдат изолирани от биосферата.

Понятието радиоактивни отпадъци се отнася за всички радиоактивни материали в твърдо, течно или газообразно състояние, за които в момента не е известен или предвиден начин за тяхното използване, а нивото им на радиоактивност или физичната им форма, са такива, че разсейването им в околната среда е недопустимо (Commission of the European Communities, 1979).

Радиоактивните отпадъци се отделят при експлоатацията и закриването на атомните електроцентрали; при употребата на радиоактивни материали в индустрията, научните изследвания, медицината, селското стопанство и др.

Използват се различни критерии за разделяне на радиоактивните отпадъци: произход, радиологични свойства, физични свойства, химични свойства, биологични свойства (Safety Series 111-G-1.1 – Classification of Radioactive Waste, 1994).

Според степента на активност РАО се разделят в три групи: много нискордиоактивни (МНРАО); ниско и среднордиоактивни (НСРАО); високордиоактивни (ВРАО) (към тях спада и използваното ядрено гориво, когато е декларирано като отпадък). Според периода на полуразпад на радионуклидите РАО биват краткотрайни

(до 30 години) и дълготрайни (над 30 години). Според физичното им състояние – твърди, течни и газообразни.

УПРАВЛЕНИЕ НА РАО

Управлението на РАО включва предварителна обработка; преработка; кондициониране; междинно съхранение и погребване. Всички дейности по управлението на РАО са насочени към разумно достижимо минимално ниво на облъчване на персонала и населението, отчитайки икономическите и социалните фактори (това е т.нар. принцип "ALARA" "as low as reasonably achievable" – "толкова ниско, колкото е разумно достижимо").

Деветте основни принципа при управлението на РАО (Safety Series № 111-F - The Principles of Radioactive Waste Management, 1995) са:

1. Защита на човешкото здраве;
2. Защита на околната среда;
3. Защита на хората и околната среда извън националните граници;
4. Защита на бъдещите поколения;
5. Проблемите с отпадъците да не предизвикат прекомерни тежести върху бъдещите поколения;
6. Разработване на ефективна национална законодателна структура;
7. Контрол върху отделяното количество РАО и придържане към минималното им производство;
8. Взаимообвързаност между отделянето на РАО и безопасното им управление;
9. Безопасност на съоръженията, предназначени за управление на РАО.

Погребването на РАО в специално изградени хранилища е важна съставна част на дългосрочното им управление. То позволява да се намалят дейностите при съхраняването им, да се редуцират облъчвателните дози на експлоатационния персонал, да се намали риска за населението сега и за бъдещите поколения.

Хранилищата биват 3 вида: повърхностни (изградени на самата земна повърхност), приповърхностни (до 17 m, в редки случаи до 30 m от повърхността) и дълбоки геоложки (изградени на значителна дълбочина).

В зависимост от вида на отпадъците се предвижда и тяхното погребване: МНРАО не се погребват; краткоживущите НСРАО се погребват в повърхности или приповърхностни хранилища; дългоживущите НСРАО и ВРАО - в дълбоки геоложки хранилища.

Безопасната експлоатация на хранилищата се постига чрез осигуряване на редица бариери (мултибариерен подход), ограничаващи пренасянето на радиоактивността към биосферата, по такъв начин че неуспехът на една или повече от тях да бъде компенсиран от останалите (Commission of the European Communities, 1979). Барьерите са разположени коаксиално т.е. една в друга на "принципа на матрьошките". Всяка бариера е от различен материал и по свой начин противодейства срещу изтичането на радиация. Има два вида бариери: изкуствени (инженерни) и естествени (геоложки).

При погребването на краткоживущите НСРАО в повърхностни или приповърхностни хранилища трябва да се осигури тяхната защита от човешка намеса и от повърхностни или подземни води, през времето необходимо за снижаване на радиоактивността за сметка на естествения полуразпад до ниво, при което тя (радиоактивността) няма да представлява опасност за здравето на хората и околната среда. Тази защита обикновено се осигурява от 3 основни бариери между източника на радиоактивност и биосферата: контейнер с РАО; конструктивните елементи на самото хранилище, осигуряващи защита на контейнерите; конкретните геоложки и други природни условия. Периодът на институционален контрол за хранилищата за НСРАО обикновено е между 300 и 1000 години.

При погребване на дългоживущите НСРАО и ВРАО предотвратяването или възпрепятстването на пренасяне на радионуклиди също се осигурява от бариери. Използват се няколко инженерни бариери. Геоложката бариера е последна, но най-важна. От нея се очаква да обезпечи безопасността на хранилището, така че дори след разрушаване на всички изкуствени бариери, да бъдат осигурени условия, изключващи неблагоприятни въздействия върху биосферата. Дълбоките геоложки хранилища трябва да изолират РАО за десетки, дори стотици хиляди години.

При избора на подходящо място за хранилище на РАО трябва да се имат предвид геоложките, хидрогеоложките и геохимичните особености на района; вулканичната, тектонската и сеизмичната му активност; екзогеодинамичните процеси; метеорологичните и топографските условия; антропогенната дейност; транспорта на отпадъците; използването на земята за земеделски и др. нужди; населеността на района; обществено мнение и др.

При избора на място най-голямо внимание се обръща на геоложките бариери. Най-важните фактори, характеризиращи геоложката бариера са онези, които осигуряват най-голяма пречка срещу движението на водата (хидродинамична бариера) и/или срещу пренасянето на излужени вещества от отпадъците (геохимична бариера). Хидродинамичната бариера се осигурява от: много ниска проницаемост; много малък хидравличен градиент и малък обем на водата в пространствените граници на вместващата скала. За геохимичната бариера най-важни са сорбционните свойства на скалите.

Като среда за погребване на РАО са изследвани различни скали - глини, сол, гранити, мергели, базалти, андезити и др., отговарящи в една или друга степен на горепосочените изисквания (Witherspoon, 1996; Witherspoon and Bodvarsson, 2001).

Глините са предпочитани като среда за погребване на РАО поради ниската им водопропускливост, високия им сорбционен капацитет и способността да "запечатват" възникналите пукнатини. Те са изследвани като земна основа или вместваща среда на хранилищата; като противифилтрационен екран; като материал за изграждане на покритие на повърхностните хранилища; за създаване на изкуствени бариери в самите хранилища и др.

Във връзка с погребването на РАО глините се подлагат на различни изследвания: литолого-стратиграфски, минераложки, петрографски, хидрогеоложки, радиохимични, инженерногеоложки, земномеханични и др.

Минерален състав и сорбционни свойства на глините

Глините се състоят от глинести минерали, неглинести минерали (кварц, калцит, фелдшпат и др.), органично вещество и водоразтворими соли.

Физичните, физико-химичните (включително сорбционните), механичните и филтрационни свойства на глинестите седименти зависят в голяма степен от съдържанието на фракцията с $d < 0,005$ mm. Тази фракция може да бъде изградена от един глинест минерал, но най-често представлява смес от няколко минерала. Глинестите минерали представляват хидратирани алумосиликати със слоест или слоесто-лентовиден строеж, които в по-голяма или по-малка степен са краен продукт от изветрянето на скалите. Това обстоятелство се взема предвид от гледна точка на устойчивостта на земната среда при изолация на радионуклиди.

Според връзките на структурните слоеве и тяхната подвижност глинестите минерали биват със стабилна, с подвижна и с междинен тип кристална решетка. По общоприетите модели, структурата на по-голямата част от глинестите минерали се състои от две основни структурни единици – силициев тетраедър и алуминиев октаедър (Грим, 1969). Понякога силициевите атоми в тетраедрите и алуминиевите в октаедрите са заменени от атоми с по-ниска валентност. От тези замествания се получава дефицит на положителен заряд в кристалната решетка, който влияе на важните за погребването на РАО физико-химични свойства на глините като сорбция, пластичност, вискозитет и др.

Основните глинести минерали се разделят на следните групи: смектитови минерали (от които най-разпространен е монтморилонита), илитови, група на глинестите минерали със смесена слоеста структура и каолиновите.

От гледна точка на изолационните качества на глините най-добри условия предлагат минералите от групата на смектита. Те представляват последния продукт на изветрителните процеси и при равни други условия са указание, че тези процеси са продължавали дълго време. Това са минерали с подвижна кристална решетка с голяма вътрешна повърхност, която може да достигне до 700-800 m^2/g и с висок сорбционен капацитет при някои разновидности – до 80-150 $meq/100 g$. Те притежават голяма пластичност и са използвани най-често за приготвяне на композити за изолация на вътрешното пространство на хранилищата за РАО. Групата на илитовите минерали има по-ниска вътрешна повърхност 65-100 m^2/g и сорбционен капацитет между 10 и 40 $meq/100 g$. Подобни на тях са смесено-слоистите минерали. От разглеждания аспект най-малък интерес представляват минералите от групата на каолинита - вътрешна повърхност 10-20 m^2/g и сорбционен капацитет – 3-15 $meq/100 g$.

ЧУЖДЕСТРАННИЯТ ОПИТ ПРИ ИЗБОР НА ХРАНИЛИЩЕ ЗА ПОГРЕБВАНЕ НА РАО

Управлението на РАО, включително процесът на избор на хранилища за погребването им, е достигнало различна степен на развитие в ядрените държави. Някои страни практически са решили въпроса с погребването на краткоживущите РАО и отделят значително внимание на погребването на дългоживущите. Други страни са в процес на лицензиране на площадки и хранилища, трети провеждат проучвания за перспективни площадки.

Състоянието на проблема с хранилищата към края на деветдесетте години е следното: 17 места са били избрани за нови хранилища за НСРАО, някои от тях вече са лицензирани или се строят, повече от 25 нови места в 17 страни са били проучени.

Около 62% от досега изградените хранилищата за НСРАО са приповърхностни (около 10 m под земната повърхност), 18% са опростени приповърхностни хранилища, 7% са в подземни минни изработки и 4% са дълбоки геоложки хранилища (Han, et al., 1995).

В ядрените държави функционират голям брой приповърхностни хранилища. До 1990 г. в тях са погребани около 1,3 млн. m^3 отпадъци, които са предимно с кратък период на полуразпад на радионуклидите и за няколко години радиоактивността им спада до безопасни нива.

В световната практика няма общовалидни критерии за избор на място за хранилище, както и общоприета конструкция и вид на хранилището. Този въпрос се решава от всяка отделна страна в зависимост от нейните природни и социално-икономически условия, като се имат предвид изискванията на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ).

По отношение на вида на хранилищата за окончателно погребване на краткоживущи НСРАО повечето държави (Франция, САЩ, Великобритания, Испания и др.) се ориентират към съоръжения от приповърхностен тип. По-малко са страните, които предпочитат тези отпадъци да бъдат погребвани на по-голяма дълбочина (Швеция и Финландия). Швейцария и Германия предпочитат дълбоко геоложко погребване не само на дългоживущите, но и на краткоживущите отпадъци.

Голяма част от съществуващите или проектирани хранилища за РАО по света попадат в глинести терени. Изследвания на глини във връзка с погребване на РАО са провеждани в Белгия, Франция, Италия, Испания, Швейцария, Аржентина, Армения, Беларус, Хърватска, Китай, Литва, Холандия, Словакия, Словения, Южна Африка и други страни (Witherspoon, 1996; Witherspoon and Boverarsson, 2001). Разглеждани са седименти с различна възраст: мезозойски, терциерни и кватернерни.

В настоящия доклад е анализиран накратко опита на три страни в изследванията на глини за погребване на РАО – Белгия, Франция и Словакия, което ще подпомогне изследванията у нас за площадки за хранилище на РАО в глини.

Изключителен напредък в развитието на изследванията за дълбоко геоложко погребване на дългоживущи РАО бележат подземните изследователски лаборатории (ПИЛ). Те осигуряват провеждане на експериментите *in situ* на дълбочината, на която ще се бъдат изолирани отпадъците.

В последните години броят на ПИЛ значително нарастна. През 1996 г. само 5 страни имат добре развити лаборатории. Към края на 2001 г. броят на страните, използващи ПИЛ или намиращи се в различен стадий на планиране или развитие на свои лаборатории, вече е 13. Япония и Швейцария развиват всяка по 2 лаборатории в два различни скални типа, което дава възможност изследванията да се развиват паралелно. Франция строи своята първа ПИЛ в аргилити и планира втора - в гранити.

ПИЛ са изключително благодатна почва за развитие на международното сътрудничество в сферата на погребването на РАО. Пример в това отношение е Швейцария. Nagra и още 17 други организации от 9 страни са включени в изследванията на гранитите за построяване на ПИЛ в Grimsel Test Site (GTS). След приключване на

проекта се предвижда продължаване на сътрудничеството. По този начин GTS става международен център за изследване на гранитите като изолационна среда за РАО. Nagra, заедно с други партньорски организации, участва и в разработването на второто място предвидено за построяването на ПИЛ в Mont Terri в Jura Mountains. Там се провежда първоначалната 7-годишна фаза на изследванията на глини (Opalinus Clay).

Друг красноречив пример за международно сътрудничество е испанската организация ENRESA. Тя взема участие в 3 различни проекта в ПИЛ в Швеция (в Äspö); редица проекти в двете лаборатории в Швейцария (Grimsel и Mont Terri); в проекти в Белгийската ПИЛ в Mol Site; както и в лабораторията "Meuse/Haute-Marne" във Франция.

При избирането на скали като среда за изграждане на ПИЛ в Европа се наблюдава повишен интерес към глините и гранитите (Witherspoon and Bovarsson, 2001).

Подземна изследователска лаборатория "HADES" в Mol Site - Белгия

Една от най-напредналите ПИЛ в изследванията на глини е Белгийската "HADES", която функционира вече над 20 години. Тя се намира в Mol Site, в глини (Boom Clay) с терциерна възраст и дълбочина на залегане на пласта 180 ÷ 270 m. "HADES" е изградена на дълбочина 222 m, има обща дължина 39 m и вътрешен диаметър 3,5 m. В лабораторията се провеждат изследвания в различни насоки: тестване на материали; ядрени технологии; геосферен транспорт; оценка на безопасността; геотехнически изследвания.

Тестването на материали се състои в изследване качествата на различни материали за кондициониране на РАО (стъкло, бетон, битум и др.) или за направата на контейнери за съхранение на кондиционирани отпадъци (неръждаема стомана, въглеродна стомана и благородни сплави). Типичните *in situ* експерименти изследват поведението на глините при директен контакт с проби от материалите. Тестовите се провеждат при различна температура, различна газова среда (кислород, инертен газ и др.), и след различна обработка на пробите от тестваните материали. Експериментите установяват корозията на металите и филтрацията на глините. Наред с това се провеждат и необходимите лабораторни опити.

Акцента при изследванията за ядрените технологии е насочен върху поведението на вместващата скала, структурата на материалите за направа на контейнери и кондициониращите материали в радиационна обстановка. Типичен експеримент е т.нар. "радиационно-топлинен тест", при който се създават условия еквивалентни на тези, очаквани след погребването на РАО. В радиационното и топлинно поле се провеждат няколко експеримента касаещи корозията, филтрацията, миграцията, радиационните ефекти, геохимията и геомеханиката.

При мултибарьерния принцип на погребване на РАО на преден план е изведено действието на геосферните бариери. За установяване на техните качества се правят

регионални и локални изследвания, моделиране и лабораторни експерименти.

Регионалната хидрогеоложка наблюдателна мрежа, покриваща 2 500 km² и действаща повече от 10 години, позволява да се картира системата от подземни води на територията, обкръжаваща Mol Site.

Локалните хидрогеоложки условия са изследвани в детайли с помощта на мрежа от пиезометри, прокарани в глинестата вместваща скала. Данните от тях са използвани в експерименталните модели за точното определяне на различни хидравлични и хидроложки параметри, като хидравлични градиенти и пропускливост. Други много важни характеристики са сорбционните свойства на различните геоложки пластове и забавянето преноса на радионуклиди. Данните от изследванията се използват в миграционни модели.

За оценката на безопасността се правят различни детайлни анализи.

Геотехническите изследвания са свързани с проектирането, изграждането и експлоатацията на подземните инженерни съоръжения в дълбокозалегащите глини (Boom Clay).

При състоянието на проблема у нас най-голям интерес представлява опита на страните, които са построили повърхностни хранилища за НСРАО в дисперсни и най-вече в глинести почви. По-нататък следва описание на две от тях, намиращи се във Франция и Словакия.

Хранилище за НСРАО "Centre de l'Aube" – Франция

След затваряне на хранилището "Centre de la Manche", във Франция е изградено ново хранилище в землището на няколко общини-доброволци, в североизточната част на страната на 180 km от Париж. Площадката на хранилището е проучвана през 80-те години, като е използван пълен набор от проучвателни методи, препоръчани от МААЕ. Обемът на проучвателните работи е изключително голям, тъй като хранилището попада в източната част на важния за Франция Парижки хидрогеоложки басейн. Само в периода 1984-1986 г. са прокарани 500 сондажа, включително и дълбоки сондажи.

Земната основа на хранилището е изградена от алтернация от глинести и пясъчливи долнокредни седименти. Фундирането е направено в сравнително тънък пласт от водоносни пясъци, под които залегат глини с дебелина 30 m. Доказано е, че тези глини са надеждна защита от замърсяване на големия брой по-дълбоко разположени водоносни хоризонти, които се използват за водоснабдяване. Най-важен в случая е най-горния, алб-аптски водоносен хоризонт. Неговите хидрогеоложки параметри са изучени с помощта на 500 пиезометъра, 150 водочерпения и други тестове и анализи. Установени са зоните на подхранване и дренаж, посоката на движение на водите, коефициентът на филтрация, ресурсите, коефициентът на нивоподаване, дисперсионните характеристики и други показатели, необходими за прогнозиране разпространението на радионуклиди. Проведени са голям обем геотехнически изследвания. Те

обхващат значителна дълбочина от земната основа (над 100 m), тъй като натоварената площ е с много големи размери и значително натоварване 300 kN/m² (30 t/m²).

Геоложкият строеж на най-горната част на земната основа не е сложен. Подземните води в пясъците (нивото им се намира на няколко метра под хранилището) се дренират в близко преминаваща малка река. Приема се, че тази хидрогеоложка обстановка улеснява както прогнозирането на миграцията на радионуклиди, така и мониторинга на околната среда.

Извършените изследвания изясняват, че няма опасност от възникване на екзогенни рискови процеси (свлачища, повърхностна ерозия и др.) за 300-годишния период на съществуване на хранилището. Неговият район попада в т.нар. Суленски грабен на Арденския блок, където не са установени активни разломи, а сеизмичните условия са благоприятни. Най-близките земетръсни огнища се намират на 60 km на югоизток. На базата на данни от исторически и инструментално измерени земетресения се прогнозира, че е възможно възникване на едно земетресение с интензитет от VI степен за период от 300 години.

Хранилището "Centre de l'Aube" се намира в гориста местност и заема площ от около 95 ha, от които 30 ha за самите складове за РАО. Капацитетът му е 1 млн. m³ кондиционирани краткоживущи отпадъци. Този обем ще се запълни за 30 години. Всички разходи по проучване, проектиране и изграждане на хранилището, възлизат на около 250 млн. щатски долара.

Хранилището е от повърхностен тип и се състои от бетонови клетки (с размери 21x24 m и обем 2200 m³), в които се разполагат варелите с циментирани НСРАО. Пространството между варелите се запълва с бетонов разтвор или чакъл. След запълване клетката се запечатва с полиуретан бетонова плоча, което осигурява водоплътността на покрива. Впоследствие, пространството между клетките се запълва с глина. Крайното покритие на цялото хранилище се състои от глинест пласт, битумна мембрана, дренаращ пласт и затревен почвен слой.

За да се контролира евентуалния пренос на радионуклиди към подземните води под фундаментната плоча са прокарани галерии. Те са ефикасна дренажна система, която не позволява покачване на нивото на подземните води и достъп на вода от страни. В галериите преминават водопроводни тръби, които отвеждат дъждовните води от площадката на хранилището до контролен събирателен басейн.

Освен складовите клетки хранилището разполага с административни, производствени и контролни сгради и съоръжения.

Хранилище за НСРАО "Mohovtse" - Словакия

Словашкото хранилище е от същия тип както френското хранилище "Centre de l'Aube". То е построено между 1986 и 1992 г., заема площ от 11,2 ha и се състои от 80 бетонови клетки, разположени в два реда. Обемът на всяка клетка е 510 m³. Общият обем на бетоновите контейнери, в които

ще се помести 22 000 m³ кондициониран отпадък, е 7200 m³. През последните години хранилището е реконструирано, като в основата му е изградена дренажна система със предназначение и вид, подобни на тези при хранилището "Centre de l'Aube".

Земната основа е изградена от кватернерни алувиални и делувиални прахови глини с дебелина от няколко метра до 10 m, под които залягат разнородни неогенски седименти от Панонския басейн. В последните има няколко водоносни хоризонта, които са в хидравлична връзка помежду си. Най-горният от тях е в пясъците, залягащи непосредствено под кватернерните глини. И тук, както при френското хранилище, нивото на подземните води е само на няколко метра под повърхността, но е изградена подходяща дренажна система, за да се предотврати неговото покачване и да не се допусне съприкосновение на подземните води със складираните отпадъци.

ПОГРЕБВАНЕ НА РАО В БЪЛГАРИЯ

Източно-европейските страни (както и България) се ориентират към повърхностното погребване на радиоактивните отпадъци. По-голямата част от тези хранилища са построени през 60-те години.

От 1964 година в страната действа повърхностното хранилище за НСРАО, което се намира на 6 km от Нови хан в Лозенската планина. Площадката на хранилището е разположена в тънкослойни, полукристалинни, глинести, и кварцовосеритни филити (Evstatiev and Kozhukharov, 2001). Повърхностният слой е с дебелина 5-7 m и се състои основно от глинесто-песъчлива фракция. При 35 години експлоатация на хранилището не са регистрирани аварийни ситуации и инциденти, които да са довели до облъчване на експлоатационния персонал или да са застрашили живота на населението.

Както вече бе отбелязано, в световната практика няма общовалидни критерии за избор на място за хранилище, както и общоприета конструкция и вид на хранилището. Всяка страна сама решава този проблем в зависимост от собственото ѝ законодателство, от конкретните геоложки и социално-икономически условия, но съществуват някои общи изисквания като максималното гарантиране на здравето на следващите поколения от каквото и да е замърсяване на околната среда. При НСРАО се изисква геоложка гаранция от 300 години. Друго изискване е отпадъците да се складираат циментирани или преработени по съответен начин. Особено строги са изискванията по отношение на опасността от замърсяване на подземните води, които са главният преносител на радионуклиди до хранителната верига на човека. Основните критерии, които до сега са използвани при изследванията у нас за избор на място за хранилище, са съобразени с изискванията на по-развитите страни и отразяват международния опит в това направление. В последно време силно внимание се отделя на социално-икономическите критерии и особено на възприемането на хранилището от местното население, без което даже и не се препоръчва да се правят никакви по-сериозни проучвания.

На територията на България като перспективни за хранилища за ниско и среднорadioактивни отпадъци първоначално са определени двадесет площи (Евстатиев, Кожухаров, 1995). Те са разположени предимно в Северозападна и Югоизточна България. Като по-перспективни от тях са площите в Северозападна България. Това са мергелните терени в Предбалкана, лъсовите терени, кватернерните глини, плиоценските глини близо до гр. Козлодуй (Evstatiev and Kozhukharov, 2001).

През последните години бяха извършени изследвания на лъса около гр. Козлодуй за място за повърхностно хранилище за НСРАО, с които се доказва неговата пригодност за тази цел (Антонов, 2002; Evstatiev et al, 1998)

От Геологическия институт на БАН са започнати изследвания на плиоценските глини около гр. Козлодуй. Извършени са теренни, сондажни, лабораторни и др. изследвания за установяването на техните изолационни качества за изграждане на хранилище за погребване на НСРАО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направения анализ на чуждестранния опит се вижда, че глините са предпочитана среда както за приповърхностно, така и за дълбочинно погребване на РАО. Натрупан е значителен опит в изследването на геохимичните, радиохимичните, геотехническите и др. свойства на глините, които имат отношение към изясняване на изолационните им качества при погребването на РАО. Особено полезни са резултатите от изпитванията в подземните изследователски лаборатории, където тестовете се провеждат при реални условия. Анализът на чуждестранния опит, което е задачата на настоящия доклад, ще подпомогне изследванията на глини за погребване на краткотривущи НСРАО в България, които започнаха през последните две години и ще продължат до изясняването на всички аспекти, имащи отношение към опазването на околната среда от разпространението на радионуклиди. Особено полезно би било установяването на многостранно научно сътрудничество, което може да ускори изследванията в България и да повиши доверието към тях. Всички данни от направените изследвания до сега

представят глините в положителна светлина като надеждна среда за съхранение на РАО.

ЛИТЕРАТУРА

- Антонов, Д. 2002. *Лъсът в района на АЕЦ "Козлодуй" като среда за погребване на ниско и средноактивни отпадъци*. Автореф. на дисертация. София, ГИ – БАН, 36 с.
- Грим, Р. 1969. *Приложна минералогия на глините*. С., Техника, 478 с.
- Евстатиев, Д., Д. Кожухаров. 1995. Концепция на БАН за Национално хранилище за радиоактивни отпадъци (геоложки аспект). – *Спис. БАН*, 3-4, 12-19.
- Commission of the European Communities. 1979. *European Catalogue of Geological Formation Having Favourable Characteristics for the Disposal of Solidified High-Level and/or Long-Lived Radioactive Wastes*. -Bureau de recherches Geologiques et Minieres (Orleans/France), contact 056.78.6 WASF, Sept. 1979, p. 1-33.
- Evstatiev, D., R. Angelova, J. Evlogiev. 1998. Characteristics of loess as host media for radioactive waste disposal. – In: *Proc. of 8th Int. Congress IAEG*, Vancouver, British Columbia, Canada, 21-25 September, Balkema/Rotterdam, vol. 6.
- Evstatiev, D., D. Kozhukharov. 2001. Current status of the site selection for RAW disposal in Bulgaria. – In: *Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide Review*. April 27-28, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 55-65.
- Han, K, J. Heinonen, A. Bonne. 1997. Radioactive Waste Disposal: Global Experience and Challenges. – In: *Bulletin 39/1, IAEA*, 33-45.
- International Atomic Energy Agency. *Classification of Radioactive Waste*. 1994. Safety Series 111-G-1.1, IAEA, Viena.
- International Atomic Energy Agency. *The Principles of Radioactive Waste Management*. 1995. Safety Series 111-F, IAEA, Viena.
- Witherspoon, P. 1996. *Geological Problems in Radioactive Waste Isolation. Second Worldwide Review*. Berkeley, California, USA, 269 p.
- Witherspoon, P. A., G. S. Bodvarsson. 2001. *Geological Problems in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide Review*. Berkeley, California, USA, 335 p.

Препоръчана за публикуване от катедра "Приложна геофизика", ГПФ

INVESTIGATIONS ON CLAYS FOR RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

Radosveta Markova

Geological Institute – Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St., Bl. 24, Sofia 1113, Bulgaria

E-mail: eti@geology.bas.bg and radosveta_markova@hotmail.com

ABSTRACT

The radioactive wastes (RAW) represent a serious problem for the environment and human health. It is necessary to isolate them from the biosphere in specially constructed repositories, which have to meet special requirements ensuring the safe disposal without the hazard of radiation emissions in the environment.

A great part of the existing or designed RAW repositories in the world are situated on clay terrain. Clays are preferred because of their good isolation properties.

The present report makes a concise summary of foreign experience in the investigations on clays for RAW isolation from environment. The repositories "Centre de l'Aube" (France) and "Mohovtse" (Slovakia) and the underground laboratory "HADES" (Belgium) have been described.

The analysis of this experience will contribute to the investigations on site selection and exploration for a RAW repository in Bulgaria, situated in clays.

INTRODUCTION

Radioactive wastes (RAW) differ from the other types of wastes in their contents of substances emitting ionizing radiation (alpha, beta and gamma rays). This radiation damages living tissues and can be harmful for human health and for the environment. RAW radioactivity diminishes with time but it is necessary to isolate these wastes from the biosphere until its activity is reduced to levels that are not hazardous for human health and environment.

The term of radioactive waste refers to all radioactive materials in the solid, liquid or gaseous state, about which no method for utilization is known or envisaged at the moment and whose level of radioactivity causes inadmissible irradiation in the environment (Commission of the European Communities, 1979).

Radioactive wastes are released during the operation or closing of nuclear power plants, the use of radioactive materials in industry, scientific investigations, medicine, agriculture, etc.

Different criteria are applied for classifying the radioactive wastes: origin, radiological properties, physical properties, chemical properties, biological properties (Safety Series No 111-G-1.1 – Classification of Radioactive Waste, 1994).

Three groups are distinguished according to the degree of RAW activity: very low radioactive (VLLW); low and intermediate radioactive (LILW); high radioactive (HLW) (the spent nuclear fuel refers to this waste too when declared as a waste product). According to the half-life of radionuclides RAW are classified as short-lived (less than 30 years) and long-lived (more than 30 years). According to their physical state RAW are solid, liquid or gaseous.

MANAGEMENT OF RAW

The RAW management includes processing; conditioning; intermediate storage and disposal. All activities related to RAW management are aimed at reaching reasonable admissible minimal level of irradiation of personnel and population, taking under consideration the economic and social factors (the so called "ALARA" principle – "as low as reasonably achievable").

The nine basic principles of RAW management (Safety Series No 111-F - The Principles of Radioactive Waste Management, 1995) are:

10. Protection of human health;
11. Protection of the environment;
12. Protection of people and environment beyond the national borders;
13. Protection of future generations;
14. The problems concerning the wastes should not cause exorbitant troubles for future generations;
15. Development of an effective national legislation structure;
16. Control on the discharged quantities of RAW and adhering to their minimal production;
17. Interrelations between the discharge of RAW and their harmless management;
18. Safety of the equipment intended for RAW management.

DISPOSAL OF RAW

The RAW disposal in specially constructed repositories is an important ingredient part of their long-term management. It provides the possibility of reducing the activities connected with the waste storage, reducing the irradiation doses of the operation personnel and reducing the hazard for the population and the future generations.

There are three types of repositories: surface (built on the surface itself), near-surface (up to 17 m, rarely up to 30 m below the surface) and deep geological repositories (built at a considerable depth).

The envisaged disposal depends on the waste type: VLLW are not disposed; the short-lived LILW are deposited in surface or near-surface repositories; the long-lived LILW and HLW are deposited in deep geological repositories.

The safe operation of the repositories is achieved by ensuring a number of barriers (a multi-barrier principle) restricting the transfer of radioactivity in the biosphere. In this way, the failure of one or more of these barriers will be compensated by the rest of them (Commission of the European Communities, 1979). The barriers are situated in a coaxial manner, i.e. one into another according to the "matrioshkas dolls" principle. Each barrier is made of a different material and resists radiation release in its own specific manner. There are two types of barriers: artificial (engineering) and natural (geological).

In the case of short-lived LILW disposal in surface or near-surface repositories, their protection from human interference and surface or groundwater should be ensured for the time period required for reducing the radioactivity, which is harmless for human health and environment. This protection is usually provided by three basic barriers between the source of radioactivity and the biosphere: a container for RAW; the construction elements of the repository, ensuring the protection of the containers; the particular geological and other natural conditions. The period of institutional control for the LILW repositories is usually between 300 and 1000 years.

In the case of the long-lived LILW and HLW the prevention or impeding of radionuclide transfer is also ensured by barriers. Several engineering barriers are used. The geological barrier is the last one but it is the most important. It is expected to secure the safety of the repository in such a way that even if all engineering barriers are destroyed, conditions should exist, which exclude the possibility of unfavourable effects on the biosphere. The deep geological repositories should isolate RAW in the course of tens, even hundreds of thousands of years.

SELECTION OF SUITABLE REPOSITORY SITE

The selection of a suitable site for a RAW repository is based on considering the geological, hydrogeological and geochemical specific features of the region; the volcanic, tectonic and seismic activity in it; the exo-geodynamic processes; the meteorological and topographic conditions; the anthropogenic activity; the transport of wastes; the land use for agricultural and other purposes; the density of population in the region; the public acceptance, etc.

When selecting a site, the greatest attention is paid to the geological barriers. The most important factors characterising a geological barrier are these, which ensure the biggest obstacle for water movement (a hydrodynamic barrier) and/or for the transfer of leached substances from the wastes (a geochemical barrier). The hydrodynamic barrier is provided by very low permeability, a very low hydraulic gradient and low water content in the host rock. The sorption properties of rocks are most important for the geochemical barrier.

Various rocks have been investigated as a host medium for RAW disposal – clays, salt, granites, marls, basalts, andesites and others, which meet the above mentioned requirements to one degree or another (Witherspoon, 1996; Witherspoon and Bodvarsson, 2001).

Clays are preferred as a host medium for RAW disposal because of their low water permeability, high sorption capacity and the ability of "sealing" the formed cracks. They have been investigated as the soil base or host medium of repositories; as anti-filtration screens; as materials for constructing the cover of surface repositories; for creating artificial barriers in the repositories themselves, etc.

In connection with RAW disposal the clays are subjected to different investigations: lithological-stratigraphic, mineralogical, petrographic, hydrogeological, radiochemical, engineering geological, soil mechanical, etc.

Mineral composition and sorption properties of clays

Clays consist of clayey minerals, non-clayey minerals (quartz, calcite, feldspar and others), organic substances and water-soluble salts.

The physical, physico-chemical (including sorption), mechanical and filtration properties of clayey sediments depend to a great extent on the content of the fraction with $d < 0.005$ mm. This fraction can consist of one clayey mineral but most often it represents a mixture of several minerals. The clayey minerals represent hydrated alumina silicates with stratified or stratified band-like structure, being to a smaller or greater extent final products of rock weathering. This circumstance is taken into account from the viewpoint of the soil medium stability against radionuclide migration.

With respect to bonds between the structural layers and their mobility, the following clayey minerals are distinguished: with stable, mobile and intermediate crystal lattice. Pursuant to the generally accepted models, the structure of the greater part of the clayey minerals consists of two major structural units – a silica tetrahedron and an alumina octahedron (Grim, 1969). Sometimes the silicon atoms in the tetrahedrons and the aluminium atoms in the octahedrons are replaced by atoms of lower valency. Deficiency of positive charges occurs in the crystal lattice due to such replacements, which affects the important for RAW disposal physico-chemical properties of clays as sorption, plasticity, viscosity, etc.

The basic clay minerals are classified in several groups: smectite minerals (montmorillonite being the most widespread one), illite minerals, the group of clayey minerals with a mixed layered structure and kaolinite minerals.

The group of the smectite minerals offers the most favourable conditions with respect to the isolation qualities. They represent the final product of the weathering processes and under all other equal conditions provide evidence that these processes have lasted for a long time. These minerals possess a mobile crystal lattice with large internal surface reaching up to 700-800 m²/g and a high sorption capacity of some of the varieties – up to 80-150 meq/100 g. They are also highly plastic and are used most often for the preparation of isolation composites intended for the internal spaces of RAW repositories. The minerals of the illite group possess lower internal surface of 65-100 m²/g and a sorption capacity within the range of 10 to 40 meq/100 g. The mixed-layered minerals are similar to these of the illite group. The minerals of the kaolinite group are least interesting in the considered aspect, their internal surface being 10-20 m²/g and their sorption capacity – 3-15 meq/100 g.

FOREIGN EXPERIENCE IN INVESTIGATIONS FOR RAW REPOSITORIES

The management of RAW, including the process of site selection for their disposal, has reached a different level in the countries with developed nuclear power generation. The problem with short-lived RAW disposal has been practically solved in some countries, where greater attention is paid to the long-lived RAW disposal. The process of licensing of sites and repositories is in progress in other countries, while investigations on prospective sites are carried out in third countries.

The state of the repository problem towards the end of the 90ies was the following: 17 sites had been selected for new LILW repositories, some of them being licensed and already under construction, more than 25 sites in 17 countries were investigated.

About 62 % of the LMRAW repositories built so far are engineered near-surface ones (about 10 m below the Earth surface), 18 % are simplified near-surface repositories, 7 % are situated in mine cavities and 4 % represent deep geological repositories (Han et al., 1995).

A great number of near-surface repositories are functioning in the countries with developed nuclear power generation. About 1.3 million m³ of waste had been deposited in them till 1990, the predominating wastes being with a low period of radionuclide half-life, so that their radioactivity will be diminished within several hundred years to harmless levels.

There are no generally valid criteria in world practice for repository site selection as well as a generally accepted structure and type of repository. This problem is solved in each particular country depending on its natural and social-economic conditions, taking into account the requirements of the International Atomic Energy Agency (IAEA).

With respect to the repository type for final disposal of short-lived LILW, most of the countries (France, the USA, Great Britain, Spain and others) give preference to the structures of the close-to-the-surface type. There are few countries, where these wastes are disposed at a greater depth (Sweden and Finland). The deep geological disposal is preferred in Switzerland and Germany not only for long-lived but also for short-lived radioactive wastes.

A significant part of the world existing or designed RAW repositories are situated on clayey terrain. Investigations on clays in connection with RAW disposal are carried out in Belgium, France, Spain, Switzerland, Argentina, Armenia, Belarus, Croatia, China, Lithuania, the Netherlands, Slovakia, Slovenia, South Africa and elsewhere (Witherspoon, 1996; Witherspoon and Boversson, 2001). Sediments of different age – Mesozoic, Tertiary and Quaternary, have been considered.

The present report analyzes briefly the experience in the research on clays for RAW disposal in three countries – Belgium, France and Slovakia, which might be useful for the exploration of sites intended for a RAW repository in clays in Bulgaria.

The underground research laboratories (URL) mark an extreme progress in the development of research on deep geological disposal of long-lived RAW. They ensure the performing of experiments *in situ* at the depth intended for the waste isolation.

The URL number has been significantly increased during the last years. Only 5 countries had well-developed laboratories in 1996. The number of the countries using URL or being at different stages of planning or development of their laboratories was already 13 towards the end of 2001. Japan and Switzerland develop 2 laboratories each within two different rock types, which provides the possibility of parallel development of the investigations. The first URL in France is being built in argillites and a second one is planned in granites.

URL provide extremely favourable opportunities for the development of international cooperation in the field of RAW disposal. Switzerland can be mentioned as an example in this respect. Nagra and other 17 organizations from 9 countries are involved in the investigations on granites for the construction of URL in Grimsel Test Site (GTS). It is envisaged to continue the cooperation after the completion of the project. In this way GTS will become an international centre for studies on granites as a RAW isolation medium. Nagra also participates together with other partner organizations in the development of the second site, envisaged for URL construction in Mont Terri in Jura Mountains. The initial 7-year long phase of the research on clays (Opalinus Clay) is carried out there.

Another eloquent example for an international cooperation is the Spanish organization ENRESA. It participates in 3 different projects in URL in Sweden (in Äspö), in a number of projects in the two laboratories in Switzerland (Grimsel Test Site and Mont Terri), in projects in the Belgian UIL in Mol Site as well as in the laboratory "Meuse/Haute-Marne" in France. A high interest has been expressed in clays and granites when rocks are selected as a host medium for URL construction in Europe (Witherspoon and Boversson, 2001).

Underground research laboratory "HADES" in Mol Site– Belgium

One of the most advanced in clay investigation URLs is HADES in Belgium, which is functioning for already more than 20 years. It is situated near to the town of Mol Site in Tertiary clays (Boom Clay), the layer being embedded at a depth of 180 ÷ 270 m. HADES is built at a depth of 222 m and has a total length of 39 m and an internal diameter of 3.5 m. The investigations carried out in the laboratory are in different directions: material testing; nuclear technologies; geosphere transport; safety assessment; geotechnical studies.

The testing of materials consists in investigating the qualities of different materials for RAW conditioning (glass, concrete, bitumen, etc.) or for producing containers for the conditioned wastes (stainless steel, carbon steel and noble alloys). The typical *in situ* experiments study the behaviour of clay in direct contact with material samples. The tests are carried out under different temperature, different gas medium

(oxygen, inert gas, etc.) and after different processing of the samples of the tested materials. The experiments show the corrosion of metals and the filtration of clays. At the same time the necessary laboratory tests are carried out too.

The emphasis is laid on the behaviour of the host rock, the structure of the materials for containers and of the conditioned materials under irradiation conditions. A typical experiment is the so-called "radiation-thermal test", when conditions are created that are equivalent to the expected ones after the RAW disposal. Several experiments are carried out in the radiation and thermal field concerning the corrosion, filtration, migration, radiation effects, geochemistry and geomechanics.

The action of the geosphere barriers is considered at the first place according to the multi-barrier principle of RAW disposal. Regional and local studies, modelling and laboratory experiments are carried out for establishing the barrier qualities.

The regional hydrogeological observation network covering 2 500 km² and operating in the course of more than 10 years allows the mapping of the groundwater system in the territory surrounding Mol Site.

The local hydrogeological conditions are investigated in detail by means of a network of piezometers installed in the clayey host rock. The data obtained from them are used in the experimental models for the precise determination of different parameters, as hydraulic gradients and permeability. Other very important characteristics are the sorption properties of the different geological layers and the delay in radionuclide transfer. The data from the investigations are used in migration models.

Various detailed analyses are made for the safety evaluation.

The geotechnical studies are related with the design, construction and operation of the underground engineering structures in the deeply embedded clays (Boom Clay).

The present state of the problem in Bulgaria leads to the higher interest in the experience of the countries, where surface LILW repositories have been constructed in disperse and mainly in clayey soils. Further on, the description of two of them, situated in France and Slovakia, will be made.

LILW repository "Centre de l'Aube" – France

After closing the repository "Centre de la Manche", a new repository was built in France on the land of several volunteer municipalities in the northeastern part of the country at a distance of 180 km from Paris. The repository site was studied during the 80ies, using a complete set of exploration methods recommended by IAEA. The volume of the exploration works was extremely big, since the repository fell within the eastern part of the important for France Paris hydrogeological basin. Only in the period 1984-1986, 560 boreholes, including deep boreholes, were drilled.

The soil base of the repository is built of alternating clayey and sandy Lower Cretaceous sediments. The foundation was performed in a relatively thin layer of aquifer sands, situated on top of 30-m thick clays. It has been proved that these clays represent a reliable protection against pollution of the numerous more deeply situated aquifers, used for water supply. In the particular case the upper Albian-Aptian aquifer horizon is the

most important one. Its hydrogeological parameters have been studied by means of 500 piezometers, 150 water pumpings and other tests and analyses. The following parameters have been established - zones of feeding and draining, direction of water movement, filtration coefficient, resources, level-transfer coefficient, dispersion characteristics and other parameters, necessary for the prediction of radionuclide migration. A significant volume of geotechnical explorations has been carried out. They comprise a considerable depth of the soil base (more than 100 m) because the big sizes of the loaded area and its considerable loading of 300 kN/m² (30 t/m²).

The geological structure of the uppermost part of the soil base is not complicated. The groundwater in the sands (their level is situated several meters under the repository) is drained in the small river flowing in the vicinity. It is assumed that these hydrogeological circumstances facilitate both the prediction of radionuclide migration and the environmental monitoring.

The performed investigations have shown that there is no hazard that exogenic risk processes (landslides, surface erosion, etc.) could occur in the course of the 300-year period of the repository existence. Its region falls within the so-called Ardennes block, where no active faults have been established and the seismic conditions are favourable. The closest earthquake foci are situated at a distance of 60 km to the southeast. On the basis of data for historic and instrumentally measured earthquakes, it has been predicted that the occurrence of one earthquake with intensity of VI degree is probable for a period of 300 years.

The repository "Centre de l'Aube" is situated in a woody area and occupies about 95 ha, 30 ha being the RAW storage areas themselves. The capacity is 1 million cubic meters of conditioned short-lived wastes. This volume will be filled for 30 years. All the expenses for exploration, design and construction of the repository amount to about USD 250 million.

The repository is of the surface type and consists of concrete cells (sizes 21x24 m and a volume of 2200 m³), in which the barrels with cemented LILW have been placed. The space between the barrels has been filled with concrete mixture or gravel. After filling up, the cell is sealed by polyurethane concrete slab, ensuring the water tightness of the roof. In consequence the space between the cells is filled up with clay. The final cover of the whole repository consists of a clayey layer, a bitumen membrane, a draining layer and a soil layer with herbaceous species.

Galleries have been built under the foundation slab in order to control the eventual transfer of radionuclides in groundwater. They are an effective draining system, which does not allow the rising of groundwater table and the access of lateral water. Water pipes pass through the draining galleries, which discharge rainwater from the repository site into a control collecting pool.

Except for the storage cells, the repository has on its disposal administrative, production and control buildings and equipment.

LILW repository "Mohovtse" - Slovakia

The Slovakian repository is of the same type as the French repository "Centre de l'Aube". It was built between 1986 and 1992 on an area of 11.2 ha and consists of 80 concrete cells, situated in two rows. The volume of each cell is 510 m³. The total volume of the concrete containers for the 22 000 m³ of conditioned wastes is 7200 m³. During the last years the repository was reconstructed and a drainage system was made, which is of the same type and destination as that in the repository of l'Ob.

The soil base is built of Quaternary alluvial and deluvial clays with a thickness from several meters to up to 10 m, situated on top of heterogeneous Neogene sediments of the Panonian basin. The latter contain several aquifer horizons, which are in hydraulic connection between themselves. The upper one is in the sands embedded immediately under the Quaternary clays. Similarly to the French repository, the groundwater table is only several meters under the surface, but an appropriate draining system has been built for preventing the rising of groundwater level and avoiding the contact between the groundwater and the stored wastes.

RAW DISPOSAL IN BULGARIA

The East European countries (including Bulgaria) express their orientation to surface radioactive waste disposal. The greater part of the repositories were built during the 60ies.

Since 1964 a surface LILW repository has been under operation in the country. It is located at a distance of 6 km from Novi Han in the Lozen Mountain. The repository site is situated in thin-layered semi-crystalline clayey and quartz-serritic phyllites (Evstatiev and Kozhukharov, 2001). The surface layer has a thickness of 5-7 m and consists mainly of clayey-sandy fraction. No emergencies and accidents have been recorded during the 35 years of the repository operation that could have led to irradiation of the staff or threats for the health and life of the population.

As already mentioned, there are no generally valid criteria for site selection as well as for a generally accepted repository type and structure in the world practice. This problem is solved in each country depending on its own legislation and its particular geological and social-economic conditions. However, some general requirements exist, as the maximal guarantees for the health of future generations. In the case of LILW the required geological guarantee is 300 years. Another requirement is that the wastes should be stored in a cemented or processed in another appropriate state. The requirements are especially stringent with respect to the safety against groundwater pollution, since groundwater is the main transferring agent to the nutrition chain of man. The basic criteria applied till now in the country for the investigations on repository site selection have been in conformity with the requirements in the more developed countries and reflect the international experience in this aspect. Recently, special attention is paid to the social-economic criteria and especially to the opinion and perception of local population concerning the repository, without which even the performance of any serious explorations is not to be recommended.

About twenty sites have been preliminary allocated as prospective for low and intermediate radioactive waste repositories on Bulgarian territory. They are situated mainly in Northwest and Southeast Bulgaria. The more prospective of them are the areas in Northwest Bulgaria. These are the marl terrains in the Fore Balkan, the loess terrains, the Quaternary clays, the Pliocene clays in the vicinity of the Kozloduy town (Evstatiev and Kozhukharov, 2001).

Investigations on loess around the town of Kozloduy have been carried out during the last years in connection with surface LILW repository site selection, which have proved its suitability for this purpose (Antonov, 2001; Evstatiev et al, 1998).

Investigations have been started in the Geological Institute of the Bulgarian academy of Sciences on the Pliocene clays around the town of Kozloduy. *In situ* tests, borehole, laboratory and other studies have been carried out to determine the qualities of these clays for the construction of a repository for LILW disposal.

CONCLUSIONS

The analysis of the foreign experience proves that clays represent preferred medium for both close-to-the-surface and deep RAW disposal. Considerable experience has been accumulated in the study of the geochemical, radiochemical, geotechnical and other properties of clays, which are relevant to the understanding and elucidation of their insulation qualities for RAW disposal. The results from the tests in the underground investigation laboratories (URL), where the experiments are carried under real conditions, are especially useful. The analysis of the foreign experience, which has been the task of the present report, will contribute to the investigations of clays intended for short-lived LILW disposal in Bulgaria. This research has been started in the last two years and will be continued until all aspects relevant to the protection of environment against radionuclide migration are elucidated. The establishment of multilateral international cooperation would be especially useful since it could accelerate and facilitate the investigations in Bulgaria and increase the confidence in them. All data obtained so far represent the clays in a very positive light as a reliable medium for RAW disposal.

REFERENCES

- Antonov, D. 2002. Loess in the region of the "Kozloduy" NPP as a medium for low and medium radioactive waste disposal. Author's Annotation of a Ph. D. Thesis. Sofia, Geological Institute, Bulg. Acad. of Sci., 36 p.
- Commission of the European Communities. 1979. European Catalogue of Geological Formations Having Favourable Characteristics for the Disposal of Solidified High-Level and/or Long-Lived Radioactive Wastes. - Bureau de recherches Geologiques et Minieres (Orleans/France), contact 056.78.6 WASF, Sept. 1979, p. 1-33.
- Evstatiev, D., R. Angelova, J. Evlogiev. 1998. Characteristics of loess as host media for radioactive waste disposal. In: *Proc. of 8th Int. Congress IAEG*, Vancouver, British

- Columbia, Canada, 21-25 September, Balkema/Rotterdam, vol. 6.
- Evstatiev, D., D. Kozhukharov. 2001. Current status of the site selection for RAW disposal in Bulgaria In: "Geological Challenges in Radioactive Waste Isolation". *Third Worldwide Review*. April 27-28, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 55-65.
- Grim, R. 1969. Applied Clay Mineralogy. – Technika, Sofia, 478 p.
- Han, K, J. Heinonen, A. Bonne. 1997. Radioactive Waste Disposal: Global Experience and Challenges In: *Bulletin 39 IAEA*, 33-45.
- International Atomic Energy Agency, "Classification of Radioactive Waste", Safety Series 111-G-1.1, IAEA, Vienna, 1994.
- International Atomic Energy Agency, "The Principles of Radioactive Waste Management", Safety Series No 111-F., IAEA, Vienna, 1995.
- Witherspoon, P. 1996. *Geological Problems in Radioactive Waste Isolation. Second Worldwide Review*.- Berkeley, California 94720 USA, 269 p.
- Witherspoon, P.A., G.S. Bodvarsson. 2001. *Geological Problems in Radioactive Waste Isolation. Third Worldwide Review*. - Berkeley, California 94720 USA, 335 p.

*Recommended for publication by Department
of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting*