

ГЛАВА 5. ГЕОЛОЖКИ АСПЕКТИ НА СЪХРАНЯВАНЕТО И ПОГРЕБВАНЕТО НА РАЗЛИЧНИ ОТПАДЪЦИ ОТ ЧОВЕШКАТА ДЕЙНОСТ

Един от големите проблеми на високо индустриалните общества е генерирането на огромни количества отпадъци. Само в САЩ един човек ежедневно създава около 1,5 kg битови отпадъци. У нас твърдите битови отпадъци също застрашително се увеличават. През 1981 г. са били отделени около 1,5 млн. тона, а десет години по-късно битовите отпадъци са се увеличили почти двойно - 2,85 млн. тона. За периода 1999-2012 г. количеството на отделяните битови отпадъци за една година е било между 3,2 и 5 млн. тона, като се забелязва тенденция към намаляване на общото количество битови отпадъци.

За САЩ общото количество на твърдите битови, индустриални, селскостопански и минерални отпадъци заедно е около 4 млрд. тона годишно. Само опасните отпадъци, които се отделят ежегодно са 500 млн. тона. Освен тях се отделят повече от 34 млрд. галона (около 129 млрд. литра) течни отпадъци от бита и индустрията. У нас за година се генерират около 700 хил. тона опасни отпадъци, като най-големи количества се отделят от няколко десетки производствени предприятия, сред които „Лукойл” и „КЦМ-Пловдив”. Все по-нетърпящ отлагане е и проблемът с радиоактивните отпадъци (РАО), които изискват специални начини за безопасно съхраняване и окончателно погребване.

Съвременното ниво на развитие на технологиите не може да осигури всички видове стопанска дейност на хората с напълно безотпадъчни технологии. Поради това и занапред все повече ще се развиват изследванията за минимизиране на отпадъците и за тяхното безопасно дълготрайно съхраняване при подходящи условия. Основните задачи, които трябва да се решават от геонауките за безопасното съхраняване и погребване на различни отпадъци от човешката дейност са следните:

- Избор на подходящи места за временни и постоянни хранилища на отпадъци съгласно съвременните изисквания и критерии.

- Изучаване на свойствата на геоложката среда в качеството ѝ на естествена бариера за разпространение на токсичните и радиоактивните замърсители, отделящи се при съхраняване на отпадъците.
- Проучване, изследване и охарактеризиране на геоложките условия на перспективни места за хранилища.
- Изследване на възможностите за вторично оползотворяване на някои видове отпадъци, като суровини и инертни материали.
- Провеждане на мониторинг и моделиране на възможните изменения в геоложката среда при съхраняване на различни видове отпадъци.

5.1. Геоекологични проблеми, възникващи при съхраняване на твърди битови отпадъци (ТБО). Основни геоложки критерии за избор на места за сметища на ТБО. Геоложки аспекти при проектиране на санитарни сметища

Наред с органичните материали (хранителни остатъци и хартия), в състава на битовите отпадъци влизат и широк кръг отровни материали, които се използват във всяко домакинство – корозиращи почистващи препарати, дезинфектанти, разреждители за боя, течности за химическо чистене, инсектициди, луминесцентни лампи, батерии, акумулатори, пестициди и много други.

Обемът на битовите отпадъци е многократно по-малък от промишлените, но предизвикват сериозно безпокойство, т.к. се срещат до всяко населено място и се увеличават, без да съществува строг ред при тяхното съхраняване. У нас тези отпадъци се изхвърлят в стотици сметища и многократно повече спонтанно възникнали бунища. В последните години започна изграждането на т.нар. регионални депа за съхраняване на битовите отпадъци. Със съвременните санитарно-хигиенни норми са съобразени само няколко от новоизградените сметища.

Твърдите битови отпадъци представляват хетерогенна маса със следния приблизителен състав (Табл. 18).

Таблица 18. Приблизителен състав на твърдите битови отпадъци в България и САЩ

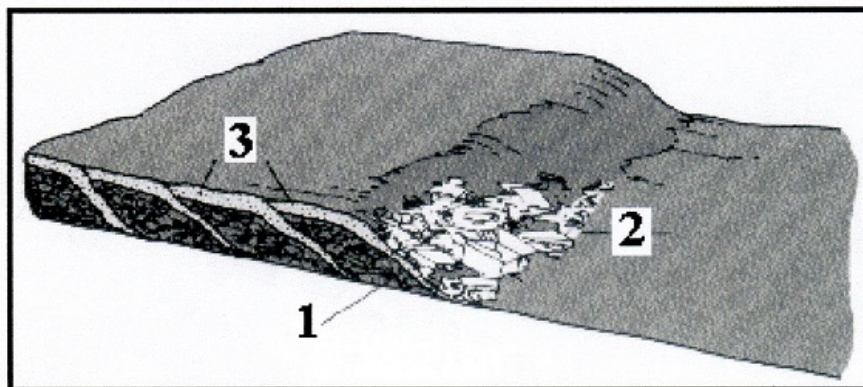
СЪСТАВ	САЩ (1982 г.), %	БЪЛГАРИЯ (1984 г.), %
Хранителни остатъци	14	45
Хартия и картон	55	18
Стъкло	9	3,5
Метали – главно желязо и стомана	9	3,5
Дървесина	4	1
Пластмаси	1	2
Текстил	-	2
Гуми и каучукови изделия	-	2
Остатъци от градини	5	-
Инертни материали	-	23
Други	3	0

Количеството и състава на тези отпадъци е изменчив не само през годините, но и през различните сезони, дори през дните от седмицата. Независимо от тези непостоянства, относителният дял на основните компоненти в общата маса се изменя в сравнително тесни граници. Площите заети с тези отпадъци се увеличават поради нарастване на относителния дял на леките фракции в тях, а също се складират големи количества отпадъци, които не гният и не се разлагат лесно. Степента на опасност се повишава от това, че освен битови отпадъци в сметищата понякога въпреки забраните се изхвърлят умрели животни, развалени хранителни продукти и токсични вещества, нуждаещи се от специално съхранение и строг контрол. От повърхностните води хиляди тона разтворими отровни вещества се пренасят в почвите, реките и подземните води. Когато сметищата и бунищата са в долове, речни корита и тераси, съществуват условия за пренасяне на замърсителите на големи разстояния. Хетерогенният и постоянно изменящ се състав на битовите отпадъци у нас затруднява прогнозирането на вида и степента на замърсяване. Напоследък се правят опити за разделно събиране на

битовите отпадъци, което е отдавна действаща практика в развитите държави.

За да се избегнат катастрофални последствия за околната среда, е необходимо ТБО да се обезвреждат чрез оползотворяване (извличане на ценни съставки от тях, изгаряне, пиролиза и компостиране) или чрез безконфликтното и безопасното им вметване в геоложката среда. Пиролизата е термично разлагане на отпадъците без достъп на въздух, при което се получават редица ценни продукти като леки масла, катран, горлив газ, метанол и др. Компостирането е биохимичен процес на превръщане на органичната твърда маса в хумусоподобен продукт, под действие на бактерии. Компостът се използва в земеделието за подобряване качеството на почвата. При изгарянето на ТБО се отделя енергия, която може да се използва за отопление и други стопански нужди.

Развитите страни отдавна са отrekli целесъобразността на съхраняване на ТБО в открити сметища. Преди 30-40 години в САЩ около $\frac{3}{4}$ от тези отпадъци все още са били в открити сметища, но целта е постепенното заместване на откритите сметища с т.нар. „санитарни” сметища (Фиг. 56).



Фигура 56. Санитарен тип сметище за твърди битови отпадъци

1 – разстлани и уплътнени отпадъци от предишни дни; 2 – разстлани отпадъци от последния ден; 3 – уплътнено почвено покритие от глинести почви върху всеки слой отпадъци

В тях отпадъците се разстилат на слоеве, като всеки слой ТБО се покрива с почвен слой и тази операция се извършва поне един път дневно. Почвеното покритие предпазва от намесата на гризачи и други животни и

помага да се изолират отпадъците. Когато сметището се запълни изцяло, то се запечатва с дебел почвен слой и площта, която е заемало може да се използва за други цели, при условие че вида на отпадъците и проектирането на сметището са били такива, че изтичането на вредни газове и токсични вещества е минимално. Най-често такива терени се превръщат в паркове, паркинги, пасища и други съоръжения, които не изискват големи изкопни работи.

При неправилно проектирано сметище са възможни различни начини за проникване на замърсителите в околната среда, в това число и в геоложката. Първоначално разлагането в санитарното сметище протича в аеробна среда, както това става при откритите сметища. Вследствие на това се отделят CO_2 и SO_2 . Когато кислородът в запечатаното сметище се изчерпи, започва анаеробно разлагане, при което се отделят газове като метан CH_4 и сероводород H_2S . Запечатването на сметището има за цел както да намали замърсяването на атмосферата, така и да запази полезния газ метан, който може да се използва като енергиен източник.

В случай, че почвата под и над сметището е пропусклива, инфилтриралата се вода, съдържаща разтворени от отпадъците химически вещества, може да проникне в околната среда и да замърси повърхностните и подземните води. Подземните води биха се замърсили и когато при избора на място за сметище не е отчетено евентуалното повдигане на нивото им и достигането до самите отпадъци. Някои сметища са построени без водонепропусклив екран на дъното, което също може да е причина за пропускане на замърсители и тяхната миграция до подземните води. При изграждане на санитарни сметища трябва винаги да се избягва опасността от замърсяване на подземните води. Това се постига по няколко начина. Единият е сметището да се изгради върху скала или почва с много ниска водопрпускливост. Освен това нивото на подземните води трябва да заляга на по-голяма дълбочина. Когато местните почви са водопрпускливи, което е по-често срещаният в практиката случай, се изграждат екрани от полимери, геосинтетични или други водонепропускливи материали. Често се прилага дебел до няколко метра екран от глина, който се изгражда на слоеве и глината се уплътнява

до максимална плътност при оптимално водно съдържание посредством подходящи валяци. Проблем може да възникне и в случай, когато санитарното сметище е запечатано отгоре с материал със средна водопрopusкливост, а дъното е изолирано с плътен екран. Инфилтриралата се от повърхността вода се акумулира в сметището и в даден момент може да прелее извън него, като по този начин ще бъдат замърсени съседните участъци.

Изборът на подходящо място за санитарно сметище на ТБО преминава през няколко етапа. Местата, които не са били отхвърлени в предварителните етапи се подлагат на детайлна сравнителна оценка, като се използват комплекс от критерии. Главните категории критерии се отнасят до: геоложката среда, околната среда, земеползването, социалната сфера и техническо-оперативните фактори. Тези категории са взаимосвързани. Например, в категорията за околна среда попадат и някои типично геоложки критерии. Пълната оценъчна скала включва 28 критерия, като отнасящите се към геоложката среда са следните:

- Водопрopusкливост и дебелина на ненаситената зона.
- Водопрopusкливост на водоносния хоризонт.
- Напукаността, като фактор за водопрopusкливостта.
- Разстояние до водоземни съоръжения.
- Използване на подземните води.
- Гравитационни склонови процеси.
- Активна тектоника.
- Сеизмичност.
- Защита на повърхностните води.
- Защита на подземните води.
- Възстановяване на водните запаси от различни водоизточници.
- Миграция на формирания в сметището газ в почвата и въздуха.
- Свойства и пригодност на запечатващото почвено покритие.
- Хидрогеоложка и инженерногеоложка оценка на строителната площадка.
- Замърсяване от излужване на опасни вещества.

- Запаси и разработване на полезни изкопаеми.

За всеки критерий има съответна оценъчна скала, по която може да се направи сравнителна количествена оценка на перспективните места. Важността на геоложките критерии при избора на място за сметище на ТБО се обуславя от вероятността за замърсяване на подземните и повърхностните води.

5.2. Видове индустриални отпадъци. Изменения в геоложката среда при натрупване на различни индустриални отпадъци. Безопасно оползотворяване на някои отпадъци – пепели от ТЕЦ, фосфогипс, кариерни отпадъци и др. Съхраняване на токсични отпадъци

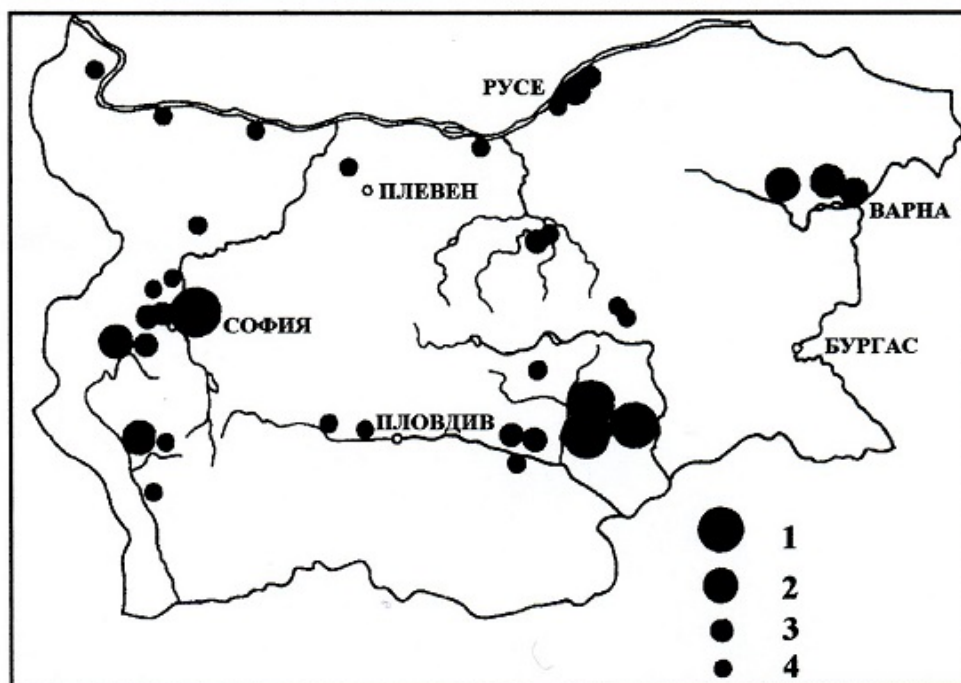
Индустриалните отпадъци се поделят на *твърди* и *течни*, като част от тях са силно токсични и се класифицират като *опасни отпадъци*, изискващи специално третиране и съхранение. Огромно е количеството на отпадъците, които се отделят при добива, обогатяването и преработката на минерални суровини. Например, в САЩ тези отпадъци са около 40% от общото количество на твърдите отпадъци. Химическата и хартиената промишленост са също един от големите източници на индустриални отпадъци. През последните десетилетия върху територията на България са депонирани няколко млрд. тона твърди индустриални отпадъци. Около 70-75% от тях представляват изгребани и преотложени скални и земни маси от добива на рудни и нерудни изкопаеми, въгледобива и различни строителни дейности. След тях по количество и заемани площи са отпадъците, които се получават при механична, термична и химична преработка на изходните суровини. Преобладават флотационните отпадъци от рудообогатяването, шламовете и шлаките от черната и цветната металургия, сгуропепелите от въглищните ТЕЦ, фосфогипса от торовото производство и отпадъците от строителната промишленост. Поради голямото си площно разпространение тези отпадъци са се превърнали в част от геоложката среда. В сравнително по-малки количества се отделят луги, утайки и шламовете от химическата,

нефтопреработвателната, фармацевтичната и хранително-вкусовата промишленост, отработени разтвори от галванични цехове, утайки от пречиствателни станции и др. Част от тези отпадъци са силно токсични.

Флотационните отпадъци от рудообогатяването, сгуропепелите от ТЕЦ и различни шламове и утайки от химическата промишленост се изнасят по тръбопроводи във вид на водна суспензия и се отлагат в специално конструирани утаечни басейни от язовирен тип. Металургичните шлаки, фосфогипса и някои отпадъци от химическата промишленост се превозват по сух начин чрез транспортни ленти или с камиони и се натрупват в депа. Обикновено депата и утайниците се намират в гъсто населени индустриални райони. Те са построени върху равнинни терени или в естествени и изкуствено създадени релефни понижения. За да се избегне унищожаването на нови площи полезна земя, обемите на съществуващите хранилища са увеличавани чрез надграждане на обиколните диги и преградните призми. За тази цел са използвани освен подходящи местни почви и депонираните отпадъци. Утайниците и депата у нас са изградени без противофилтрационни екрани по дъната. Това би могло да се приеме за относително допустимо при терени, изградени от дебел слой глинести почви, но при чакълесто-песъчливи отложения и силно напукани скали с висока водопрпускливост, липсата на такъв екран е недопустима практика съгласно съвременните екологични изисквания. В някои хранилища постъпват отпадъци от няколко производства, което затруднява евентуалното им бъдещо оползотворяване и прогнозиране на тяхното поведение след по-продължителен период от време. Запълнените и изоставени депа и утайници у нас почти не се подлагат на ефективна биологична и химична рекултивация. Малко са случаите, при които е проведена успешна рекултивация с необходимия ефект.

Изборът на терени, проектирането, строителството и експлоатацията на депата и утайниците у нас не се е извършвало според съвременните екологични норми. Често при избора на терени решаваща роля е имала икономическата изгода. Например, за да се намалят транспортните разходи, депата и утайниците са разполагани върху земя от селскостопанския и горския фонд, в непосредствена близост до населени места. В резултат на урбанизацията някои от хранилищата на

индустриални отпадъци вече са в очертанията на големите градове. Особено обезпокоително е съхраняването на опасни производствени отпадъци, за които липсва точна информация за техните количества, разпространение и потенциални рискове за околната среда. Не е изградена система за събиране, превозване, обезвреждане и безопасно съхраняване на тези отпадъци. Много индустриални токсични отпадъци се изхвърлят без необходимия контрол направо в сметищата за битови отпадъци. Най-голямата вреда, която нанасят депата и утайниците е отнемането на подходящи за земеделие и строителство площи. Само сгуропепелните отпадъци заемат над 20 000 декара (Фиг. 57), а хранилищата на флотационни отпадъци – над 16 000 декара.



Фигура 57. Местоположение и заети площи от сгуропепелните утайници в България (по Тодоров Кр.)

1 – площ над 100 ha; 2 – от 50 до 100 ha; 3 – от 10 до 50 ha; 4 – под 10 ha

Поради отсъствие на екрани по дъната, депонираните отпадъци са постоянни замърсители на подземните и повърхностните води. При натрупване на отпадъци по воден път се повишава нивото на подземните води и се променя хидрогеоложката обстановка. Изтичащите от някои отпадъци минерализирани разтвори с повишена химична агресивност предизвикват необратими промени в състава, структурата и свойствата на естествените почви. Често тези промени са неблагоприятни и пораждат

рискове при евентуално използване на техногенните почви като основа за строителство на сгради и съоръжения.

Някои видове отпадъци от промишлеността и енергетиката се оползотворяват като строителни материали. По принцип те се отличават от естествените строителни материали и затова дълго време бяха пренебрегвани. Поскъпването на земята обаче, и екологичните проблеми, които възникват при добив на речни пясъци и чакъли, и експлоатацията на кариери за трошен камък, прави все по-перспективно използването на тези нестандартни отпадъчни материали. През последните десетилетия все повече приложения имат нестандартните отсевки и каменни отпадъци от кариерите. Пепелите и сгуриите от ТЕЦ се използват за изграждане на пътни насипи. Сгуропепелите са леки и са подходящ материал за обратни насипи зад подпорни стени. Във Франция са правени успешни опити за строителство на насипи от фосфогипс. България е една от първите страни в света, която използва сгуропепелни смеси от ТЕЦ в ниското строителство. В района на гр. Русе са изградени няколко площадки за зърно върху основа от уплътнена на място сгуропепелна смес. Дебелината на основата е от 20 см до 50 см, а модулът на обща деформация е от 30 МРа до 60 МРа. Доменната шлака от бившия МК „Кремиковци“ е използвана за пътна основа на участъци от автомагистрала „Хемус“.

По-големи възможности за приложение имат заздравените отпадъци. У нас за нуждите на пътното строителство са изследвани някои кариерни отпадъци, сгуропепелни смеси от ТЕЦ и фосфогипс. Кариерните отпадъци са с размер на максималното зърно от 10 mm до 60 mm и съдържание на прахова и глинеста фракции до 30%. Част от зърната са изветрели и механично неустойчиви. Тези отпадъци са непригодни за асфалтови и бетонови смеси и имат ограничени възможности за самостоятелно приложение в пътното строителство. След заздравяване с 5-8% цимент, те придобиват якост на едноосен натиск от 2,2 МРа до 6,0 МРа. У нас от така заздравени кариерни материали са изградени и успешно се експлоатират над 300 000 m² пътна основа. По този начин стойността на пътната конструкция е поевтиняла от 10% до 25% в зависимост от категорията на пътя.

Сгуропепелите от ТЕЦ са смеси от пепел, натрошен шлак или сгурия и неизгорели въглища, които се изнасят по воден път и се отлагат в утайници. У нас са складирани над 250 млн. t от тези отпадъци. Характерни техни особености са нееднородността в състава и свойствата им, както и отсъствието на самостоятелна свързваща способност. Повечето сгуропепели обаче, са подходящи за заздравяване с цимент или вар. След прибавяне на портландцимент от 3% до 15%, те придобиват задоволителни якостни и деформационни свойства. С по-ограничени възможности за приложение са сгуропепелите от Източноаришкия лигнит, които дори с 15% цимент имат якост на едноосен натиск по-малка от 1 МРа и може да се употребяват само като основа на тротоари, паркови алеи, спортни площадки и други по-леко натоварени съоръжения.

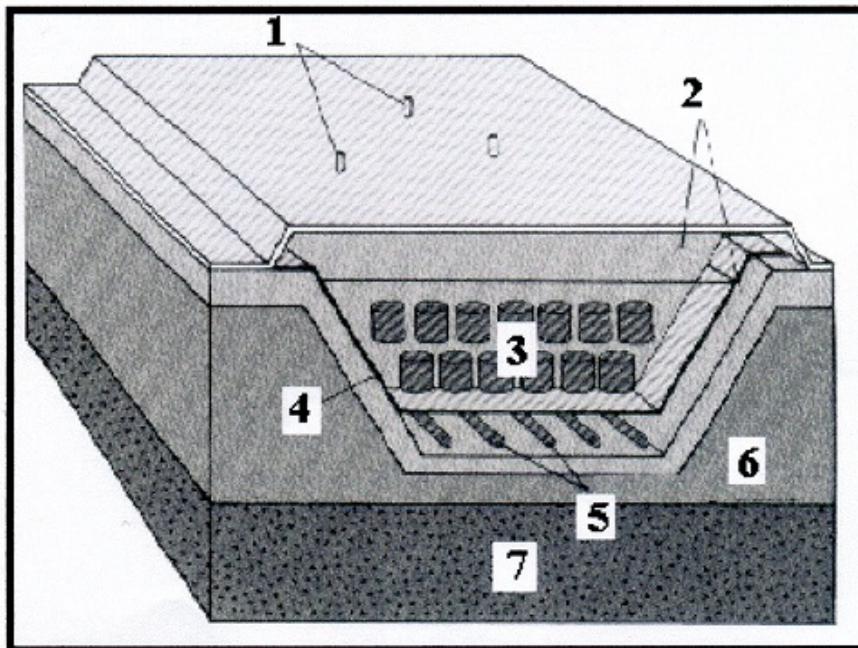
Фосфогипсът е отпадък от производството на екстракционна фосфорна киселина и представлява финодисперсен калциев сулфат-дихидрат с повишена киселинност $pH = 2,2$, замърсен с примеси от изходната суровина. Във Франция са изградени пътни участъци от фосфогипс, заздравен с 10% портландцимент. У нас само за една година в утайниците на Девня и Димитровград се отлагаха около 2 млн. t фосфогипс. В близкото минало в депото при Димитровград на площ около 85 декара се съхраняваха около 8 млн. t фосфогипс. От този отпадък в специално изграден през 2001 г. завод се произвеждат гипсови панели и гипс. Преди 20-25 г. у нас бяха проведени изследвания за оползотворяване на фосфогипса в пътното строителство, като беше установено, че той се заздравява с 6-12% цимент и тази смес може да замени някои инертни материали при изграждане на пътни основи и насипи.

Някои отпадъци имат самостоятелна свързваща способност и може да се използват като свързващи вещества и реагенти. Например, базичната пепел от ТЕЦ, със съдържание на свободен СаО повече от 10% може да се прилага при заздравяване на пясъци и глини. В редица страни заздравяването с тази пепел се използва широко в пътното строителство. Например, в Полша по този начин ежегодно се изграждат десетки километри пътища. Във Франция при строителство на пътища се използва гранулирана доменна шлака. Някои отпадъци от нефтопреработвателната

и хранително-вкусовата промишленост също са намерили приложение за оздравяване на различни почви, главно в ниското строителство.

От индустриалните отпадъци най-опасни за околната среда и здравето на човека са токсичните отпадъци. Те изискват специални начини за съхранение. За съжаление дори развитите страни обръщат по-сериозно внимание на този проблем едва през последните 20-30 г. В близкото минало много от токсичните отпадъци са били изхвърляни в някое естествено или изкуствено релефно понижение, след което са затрупвани с тънък слой почва и така много от тези места вече са забравени. Някои от тях имат действието на бомба със закъснител. Например, градчето Лав Кенъл в близост до Ниагарския водопад, САЩ е построено върху място, където през 1942 г. са изхвърлени около 21 000 тона токсични отпадъци. Направените през 1978 г. изследвания са доказали, че във въздуха присъстват 10 токсични съставки, от които 7 са били канцерогенни за животните, а една – за хората. Повече от 40 токсични органични компоненти са установени в почвата. Наложило се е през 1978 г. да бъдат изселени всички деца под 2-годишна възраст и бременните жени. Агенцията за защита на околната среда в САЩ (EPA) е установила, че на територията ѝ все още съществуват около 30 000 подобни места с опасни отпадъци. До 1980 г. в САЩ само 10% от опасните отпадъци са били съхранявани по съответния безопасен и сигурен начин. Според изчисления на същата Агенция, много по-икономично е да се изграждат подходящи хранилища за тези отпадъци, отколкото впоследствие да се дават огромни средства за ограничаване на вредното влияние върху човека и природата. По-голямата част от токсичните отпадъци са течни. Това са различни киселини, основи, органични разтворители и др. За безопасното им съхраняване се препоръчва да се поставят в херметически затворени варели, които се подреждат в специално конструирани хранилища (Фиг. 58). Дъното и стените на хранилището трябва да са покрити с практически непроницаем екран. Под екрана се изгражда слой от уплътнена глина. Пространството между варелите с отпадъци също може да бъде запълнено с глина или друг пластичен и с високи сорбционни свойства материал, наричан буфер. За следене на измененията във водното ниво и за отстраняване на евентуални

изтичания от отпадъците се оборудват специални наблюдателни кладенци.



Фигура 58. Специално хранилище за токсични отпадъци

1 – дренажни сондажи за отстраняване на евентуални изтичания от отпадъците; 2 – уплътнена глина; 3 – контейнери с отпадъци; 4 – пластичен непропусклив екран; 5 – наблюдателни сондажи; 6 – уплътнен глинест слой; 7 – основна скала

Друг вариант за съхраняване на течните индустриални отпадъци е нагнетяването им в дълбоки сондажи. Скалите вместиращи отпадъците може да са относително пропускливи, например пясъчници или напукани варовици. Отгоре и отдолу обаче, те трябва да са изолирани от пластове с много ниска пропускливост, като някои глинести разновидности (шисти, аргилити, мергели). Геоложкият строеж в дълбочина се изучава в детайли и посредством хидрогеоложко моделиране трябва да се докаже, че не съществува опасност от замърсяване на най-близко разположените водоносни хоризонти. Засега обаче, поведението на разтворените в порвата вода химически вещества и тяхната миграция са слабо изучени. Самият контрол и наблюдения върху измененията в геоложката среда при дълбочинно нагнетяване на опасни отпадъци са изключително трудно осъществими, а в много случаи – невъзможни. Може би единственото предимство на този начин за съхраняване е неговата относително по-ниска цена. Според някои автори, нагнетяването в дълбоки сондажи

струва 15-100 долара на тон отпадъци, докато съхраняването в специално изградени хранилища на повърхността е от 20 до 400 долара за тон. Химическото обезвреждане на някои от опасните отпадъци и тяхното неутрализиране е също един начин за намаляване на вредното им въздействие върху околната среда.

5.3. Видове радиоактивни отпадъци (РАО). Неблагоприятни изменения в геоложката среда при неправилно съхраняване на РАО. Геоложки критерии за избор на място за хранилище на РАО. Подходящи геоложки формации за дълбочинно складиране на РАО

Основните източници на радиоактивни отпадъци са:

- Военна промишленост.
- Ядрена енергетика.
- Индустрия, селско стопанство, медицина и научни изследвания.
- Извличане и преработка на уранова руда.

Най-големи количества РАО възникват от дейностите свързани с ядрените реактори или т.нар. ядрен горивен цикъл. Около 15-17% от електричеството в света се създава в над 400 атомни централи. За България 32-35% от електрическата енергия се произвежда от АЕЦ „Козлодуй“, като в близкото минало този дял беше 40-45%. Най-големите количества РАО за нашата страна са натрупани от развитието на ядрената енергетика и уранодобива. За изтеклите години на експлоатация на АЕЦ „Козлодуй“ са отделени значителни количества ниско и средно радиоактивни отпадъци. Общото количество на преработените РАО с ниска и средна активност за целия период на експлоатация на Централата и след извеждане на реакторите от експлоатация според някои изчисления ще възлезе на около 100 000 m³. Друг вид отпадък от АЕЦ е отработеното ядрено гориво (ОЯГ), което е с висока активност и ежегодно се отделят 45 тона. До 1991 г. то беше връщано в Русия, след 5-годишен престой в специални охладителни басейни на територията на Централата. Засега няма единно становище за бъдещата преработка и съхраняване на този

отпадък. Съществуващите изчисления показват, че част от високо активните отпадъци след съхраняването им за период от 30 години ще се превърнат в средно радиоактивни, чието количество е оценено на около 6600 m³. Някои от отпадъците обаче, и след този период ще останат високо активни, като техният обем ще е около 700 m³.

В групата на *високо активните отпадъци* попадат: отработеното ядрено гориво, течните отпадъци получавани при преработката му и техните допълнително обработени твърди форми. При тези отпадъци има значително отделяне на топлина, дори и след междинния им престой в охлаждащи басейни.

Термините *средно и ниско радиоактивни отпадъци* са до известна степен условни и разликата между двете категории варира в различните страни. Всъщност класификацията на РАО на ниско, средно и високо активни се отнася до концентрацията на радиоактивност в отпадъците и следователно до интензивността на излъчваната радиация. С течение на времето високо активните отпадъци се превръщат в средно активни, а след това в ниско активни, като в някои случаи за това се изисква голям период от време – от порядъка на десетки хиляди години. Особена категория РАО са т.нар. *алфа-излъчващи отпадъци*, които имат твърде дълъг период на полуразпад и са много опасни за здравето и живота на хората.

Освен ядрената енергетика, другият голям източник на РАО, който е част от ядрения горивен цикъл, е уранодобива. Отпадъците от уранодобива обикновено са ниско активни, но заемат големи площи и обеми. В България съществуват около 300 насипища, с площ приблизително 85 ha, а натрупаните в тях стерилни маси са повече от 8 млн. m³. Освен това в 6 хранилища, с обща площ около 130 ha са изхвърлени около 16 млн. тона шлам от преработената уранова руда. Отпадъците от уранодобива представляват голяма опасност за околната среда и човека, т.к. не са взети предварителни специални предпазни мерки при строителството на хвостохранилищата и в повечето случаи насипването на стерилна маса от изземваната уранова руда е извършвано без какъвто и да е контрол.

Радиоактивни отпадъци, макар и в по-малки количества, се получават и от различни други дейности: медицина, строителство, селско стопанство, животновъдство, научни изследвания и др. Обикновено тези отпадъци са с ниска и средна активност, но са твърде разнообразни по форма, физически характеристики и агрегатно състояние. У нас за тези отпадъци има изградено едно хранилище от приповърхностен тип, намиращо се в Лозенската планина над с. Нови хан. То е започнало да функционира през 1964 г., като за известен период от време беше временно затворено по препоръка на мисия на Международната Агенция по атомна енергия (IAEA). Погребаните в това хранилище отпадъци са около 700 m³, като се съхраняват в шахти, бункери, кладенци и складови помещения на повърхността. Геоложките и хидрогеоложките условия на хранилището не отговарят на съвременните изисквания и критерии за такъв тип съоръжения. То е построено в ордовишки шисти, които са напукани и изветрели, а в близост до хранилището е установена тектонска разломна зона. Напукаността и разломеността прави масива твърде нееднороден и трудно поддаващ се на хидрогеоложко моделиране. През 2002 г. беше проведено целенасочено геоложко, хидрогеоложко и инженерногеоложко проучване в района на хранилището, съобразено с препоръките и изискванията на IAEA.

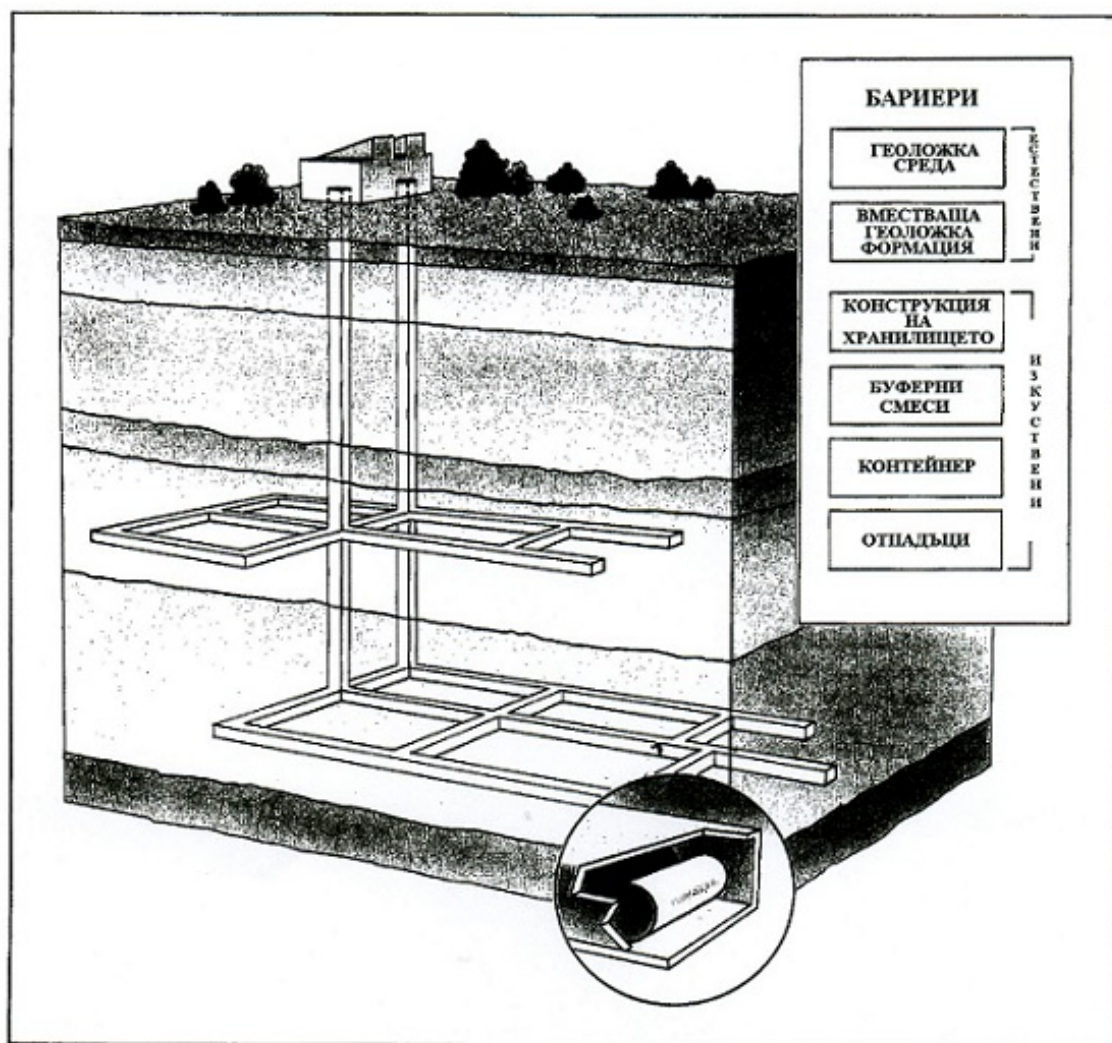
Общото количество РАО е неколкостранно по-малко от количеството на промишлените токсични отпадъци и значително по-малко от твърдите промишлени отпадъци, които ежегодно се изхвърлят по света. Присъщата обаче на РАО опасност, а също особеното отношение на обществото към този тип отпадъци са довели до разработване на по-строги норми и на специални методи за обработката им, а също и до по-точното познаване на източниците и количествата им. Операциите по събиране и съхраняване на РАО включват: събиране, сортиране, преработка, кондициониране, транспортиране, съхраняване във временно хранилище и погребване в постоянно (дълговременно) хранилище. След събирането и сортирането им в съответните категории, отпадъците се преработват, като твърдите се уплътняват със свръхтежки преси (до 2000 t) или се изгарят, а течните се изпаряват или се обработват химически. Преработването има за цел да се намали обема на отпадъците. Кондиционирането

представлява включване на вече преработените отпадъци в свързваща матрица, която се втвърдява в монолитен блок в самия контейнер. Най-често използваните свързващи матрици са на основата на цимент, битум и полимери. Кондиционирането има за цел да придаде по-голяма механична якост, огнеустойчивост, ниска разтворимост и дълготрайност на така обработените отпадъци. Контейнерите, с които отпадъците се транспортират най-често са от неръждаема стомана и отговарят на специални изисквания за безопасност, включващи и аварийни ситуации. Контейнерите се подлагат на екстремни стандартни изпитвания като: падане върху бетонови платформи или стоманени шипове от височина 9m; удар от движещ се със скорост 160 km/h локомотив; престой при високи температури от порядъка на 800⁰C и повече, при което те трябва да издържат и да останат невредими.

В много случаи се налага съхраняване на отпадъците във временно хранилище. Например, за снижаване на температурата на високо активните отпадъци или за осигуряване на необходимото време за извършване на детайлни проучвания и изследвания за избор на подходяща площадка за постоянно хранилище. В случаите на силна обществена съпротива и отхвърляне на хранилището за РАО от местното население, също се прибегва до съхраняване във временни складове на територията на самите производители на отпадъци.

За постоянното погребване на РАО съществуват два подхода: единият е изхвърляне в моретата и океаните, а другият е погребването им в специално изградени съоръжения от приповърхностен или дълбочинен тип. Първият подход е използван от редица страни до влизане в действие на мораториума от 1983 г. Около 60 000 m³ ниско и средно активни отпадъци са изхвърлени само от страните на Европейския съюз във водите на Северния Атлантически океан. За ниско и средно активните отпадъци функционират редица хранилища както близо до повърхността, така и на големи дълбочини, като до 1990 г. в тях са погребани около 1,3 млн. m³ отпадъци. Досега обаче, въпреки мащабните изследователски програми не е осъществено погребване на високо активни отпадъци и алфа-активни отпадъци.

Отпадъците с кратък период на полуразпад губят своята радиоактивност за няколкостотин години. Те може да бъдат погребани безопасно в приповърхностни хранилища, при условие че се осигури съответната степен на изолация за период от около 300 години. Тази изолация се постига чрез използване на няколко бариери. Това са: матрицата, в която са включени отпадъците; самият контейнер; конструкцията на хранилището и геоложката среда, в която то се изгражда. Тази т.нар. „мултибариерна концепция“ (Фиг. 59) се възприема напоследък от почти всички страни-производители на РАО.



Фигура 59. Мултибариерна концепция за погребване на радиоактивни отпадъци

За отпадъците с дълъг период на полуразпад е необходимо да се гарантира безопасното им съхраняване за много дълъг период от време – от порядъка на 10 000 години. Поради това за тези отпадъци се възприема погребването им да се извършва в дълбоки геоложки формации, на

дълбочина от порядъка на 800-1000 m, които запазват изолиращите си свойства за десетки хиляди години или имат свойствата да забавят придвижването на радионуклиди към биосферата. Полезна информация в това отношение може да се получи от богатите на уран месторождения, които са природен аналог на високо активните отпадъци. Необходимата степен на изолиране на тези отпадъци се осигурява посредством три групи бариери:

- *Изкуствени бариери* – в тази група влизат формата на отпадъците, вида на контейнера, запълващия буферен материал между контейнерите и дъното и стените на подземната конструкция.
- *Геоложката среда*, в която влизат скалите и техния строеж, условията на залягане на подземните води и сеизмотектонските особености.
- *Биосферата*, в която попадат почвите, хидрографската мрежа, флората и фауната.

В световната практика няма ясно дефинирани критерии за избор на място за хранилище на РАО. Не се препоръчва формулирането на твърди критерии и този въпрос се решава от всяка отделна страна в зависимост от нейните природни и социално-икономически условия, като се вземат предвид следните основни изисквания:

1. Пълна гаранция за опазване на околната среда от радиоактивно замърсяване за период минимум от 300 години за ниско и средно активните отпадъци и 10 000 години за високо активните.
2. Особено строги изисквания по отношение на проникването на радионуклиди в подземните води и оттам до хранителната верига на човека, което налага прилагане на мултибариерната концепция, включваща изкуствени и естествени бариери.
3. Подходяща обработка и кондициониране на отпадъците.
4. Възможно най-икономично конструктивно решение и най-малък транспорт до хранилището, при условие че са изпълнени първите две изисквания.

У нас при избора на място за хранилище на ниско и средно активни отпадъци са използвани най-общо следните критерии:

Геоложки критерии. Плътните и слабо напукани магмени, ефузивни и метаморфни скали, както и глинестите разновидности са подходящи за изграждане на хранилище от повърхностен тип. Геоложките формации с висока степен на хомогенност се предпочитат, т.к. в тях по-лесно и достоверно се прогнозира миграцията на радионуклиди. Глините трябва да са с голяма дебелина и да не съдържат пясъчни прослойки и лещи.

Тектонски и сеизмични критерии. Избягват се райони, в които съществуват интензивни съвременни тектонски движения. Вертикалните премествания трябва да са от такъв порядък, че да е абсолютно изключена опасността от промяна в хидрогеоложките условия през следващите няколко столетия в обсега на хранилището и заливането му с повърхностни или подземни води. Близко до избраното място не трябва да преминават никакви активни разломи. Неподходящи са площи със сеизмична интензивност равна или по-голяма от IX степен по скалата МЅК-64.

Геоморфоложки и хидроложки критерии. За предпочитане е хранилището да бъде разположено в близост до местния вододел, където повърхностния отток е по-малък, но се избягват високопланински райони. Терени с потенциален риск от заливане и наводняване са неподходящи.

Хидрогеоложки критерии. Порестостта и пропускливостта на вместващата скала или почва трябва да са възможно най-ниски. Най-подходящи са хомогенни масиви със слаба напуканост. Максималното ниво на подземните води да е на такава дълбочина, че да не съществува опасност дори и при повишаването му, хранилището да бъде залято по време на съществуването си. Хидрогеоложките условия да са прости и лесно да се поддават на моделиране и прогнозиране по цялата дължина на придвижване на подземните води. Тази дължина трябва да е достатъчно голяма, за да може да гарантира най-голямо забавяне на миграцията на радионуклиди.

Инженерногеоложки критерии. Мястото на хранилището не бива да е в район с активни или потенциално активни свлачища и ерозионна дейност. Земната основа да е устойчива на сеизмогенни деформации и да е с достатъчна носеща способност. Препоръчва се тя да е непропадъчна и с ниска деформируемост, или тези неблагоприятни свойства да бъдат

отстранени предварително чрез някой от методите за подобряване. Високата сорбционна способност, характерна за глините, и особено съдържащите монтморилонит и илит, е благоприятно свойство на вместващата геоложка среда.

Социално-икономически и други критерии. Предпочитат се места, които са в близост до производителя на РАО, а също слабо населени райони. Избягват се индустриални зони, места със запаси на полезни изкопаеми, важни за туризма и еколожки обременени райони. Това се отнася и до граничните райони, в случай че не съществува специална спогодба между съседните държави. Опитът на други страни показва, че от много съществено значение за окончателния избор на място е възприемането на хранилището от местното население.

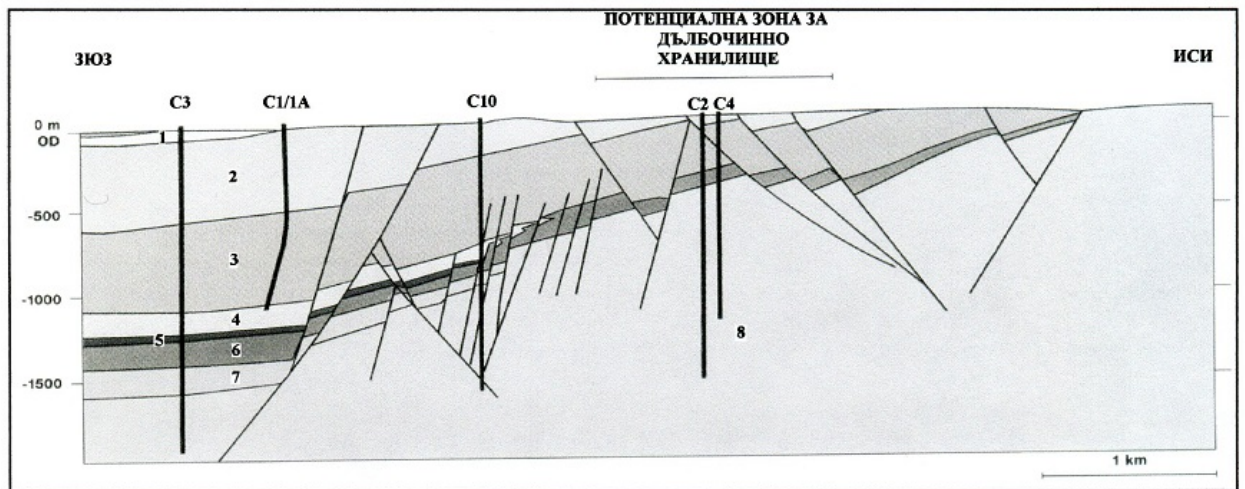
Допълнителни критерии при избор на мини. Мината трябва да е изоставена и неперспективна за бъдеща експлоатация. За предпочитане е да е напълно суха, но при наличие на слаб водоприток е задължително той да бъде отстранен. Механичните свойства на скалния масив трябва да гарантират устойчивостта на минната изработка и достъп до галериите, в които ще се съхраняват отпадъците през целия период на съществуване на хранилището, от порядъка на няколкостотин години. Подземните съоръжения за хранилище не бива да предизвикват провадания на земната повърхност.

Основният проблем, който стои при погребване на високо активните отпадъци е как да бъдат безопасно изолирани от биосферата за такъв дълъг период от време. Досега подобен проблем не е решаван. Експлоатационният период на съоръженията, проектирани и изградени до този момент е от порядъка на няколко десетки до стотина години. Един от най-често използваните строителни материали – цимента – се използва само от около 170-190 години, поради което няма данни какви ще са неговите свойства след няколко стотици, а още повече след хиляди години. Според Агенцията за защита на околната среда на САЩ (EPA), изискването за безопасно изолиране на високо активни отпадъци е за период от 10 000 години да бъдат причинени по-малко от 1000 смъртни случая. Проведените досега изследвания, включително и в специално оборудвани за целта подземни лаборатории, доказват че най-

перспективни вместища скали за дълбочинно хранилище за високо радиоактивни отпадъци са:

- *Гранити.* Те притежават ниска порестост и пропускливост. Освен това са достатъчно здрави и устойчиви. Главните скалообразуващи минерали – кварц и фелдшпати – са почти неразтворими при условията на умерен климат. Недостатък на гранитите е възможното наличие на пукнатини (естествени или формирани при изкопни работи), по които може да стане придвижване на подземни води и миграция на радионуклиди. Може да се очаква, че на дълбочина от порядъка на 1 km съществуващото налягане ще затвори всяка пукнатина, но това трябва да се докаже с провеждане на измервания в самия масив. Изследвания на гранитни масиви са провеждани в Невада, САЩ и в Стрипа, Швеция.
- *Дебели базалти.* Свежийт, неизветрял и ненапукан базалт е твърде здрава скала. Съдържа високотемпературни минерали и вулканско стъкло, което предполага, че ще издържи на високата температура, характерна за високо активните отпадъци. Неблагоприятни качества на базалтите са относително високата порестост и способността им лесно да изветрят. Засега е слабо изучен моделът на движение на подземните води в базалтови масиви, особено в прослоените със седиментни скали.
- *Дебели туфови отложения.* Някои от тези разновидности са много крехки и лесно се напукват, което би нарушило тяхната монолитност и ще увеличи водопрпускливостта. Зеолитите, които са значително променени туфи, са подходяща вместища среда поради значителната им сорбционна способност. Това свойство е благоприятно за забавяне миграцията на радионуклиди. Зеолитните туфи обаче, са по-слаби скални разновидности, имат висока порестост и са по-пропускливи. Освен това, при сравнително ниски температури от порядъка на 200⁰С става дехидратация на зеолитите, което ги видоизменя и намалява сорбционния им капацитет. Във Великобритания като перспективни за дълбочинно хранилище се изследват вулкански

скали с ордовишка възраст, т.нар. Бороудейлска вулканска група, представена от брекчи, туфи и андезити, с дебелина над 1000 m (Фиг. 60).

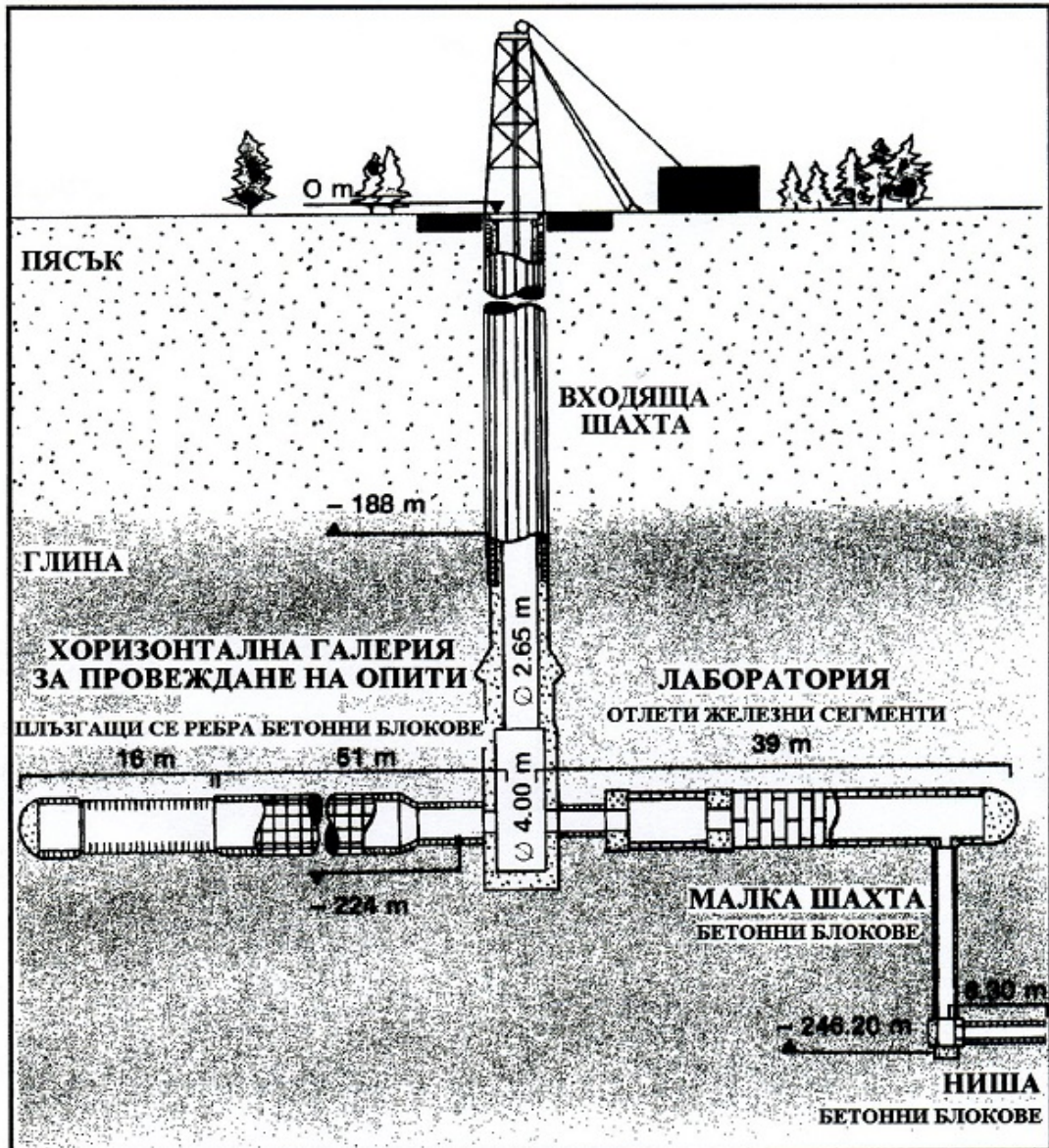


Фигура 60. Схематичен геоложки разрез през площадката в Селафийлд, Великобритания

1 – пясъчници (Ormskirk); 2 – пясъчници (Calder); 3 – пясъчници (St. Bees); 4 – шисти (St. Bees); 5 – евапорити (St. Bees); 6 – брекчи (Brockram, Permian); 7 – варовици (Carboniferous); 8 – вулканска група, представена от брекчи, туфи и андезити (Borrowdale)

- *Глинести шисти и други седиментни скали, набогатени на глина са друга възможност за вместваща среда на дълбочинно хранилище за твърди високо активни отпадъци. Глинестите минерали адсорбират мигриращите радионуклиди и по този начин се забавя достигането им до биосферата. Глинестите разновидности имат слаба пропускливост и пластично поведение на деформиране. От друга страна обаче, те са слаби и може да съдържат прослойки със сравнително висока водопрпускливост. При повишаване на температурата, глинестите седименти подобно на зеолитите се дихидратират и сорбционната им способност намалява. Тези разновидности са обект на изследвания в Белгия, Франция и Италия. Най-детайлни изследвания се провеждат в подземната лаборатория в Мол, Белгия, в която се изучават свойствата на терциерни високопластични глинени на дълбочина около 225 m като среда за погребване на високо активни отпадъци (Фиг. 61). Получените*

результати са твърде обнадеждаващи както по отношение на пропускливостта и сорбционните свойства на тези глини, така и по отношение на изграждането на хоризонтални галерии с диаметър 3,5 m, които са устойчиви с не много скъпи крепежни конструкции на тази дълбочина.



Фигура 61. Схематичен разрез на подземната лаборатория в Мол, Белгия по проекта HADES

- *Дебели наслаги от каменна сол и солни щокове* също са перспективни за погребване на ВРАО. Солта има висока точка на топене в сравнение с повечето скали, което означава, че може да издържи на значително нагряване без да се разтопи. Тя се характеризира с ниска порестост и пропускливост, което

отчасти се дължи на способността ѝ да има пластично поведение на разрушаване при натоварване. В случай, че се напука при сеизмично въздействие или вследствие на акумулирано в скалния масив напрежение, солта има свойството при разрушаването си да samozапечатва образувалите се пукнатини. За разлика от солта повечето скали се характеризират с крехко разрушаване, при което пукнатините остават отворени и се превръщат в пътища на придвижване на подземните води. Каменната сол е сравнително често срещан природен ресурс, така че използването на някоя стара солна мина за хранилище на РАО няма да доведе до дефицит на тази суровина. Най-многобройни и детайлни изследвания на каменната сол като вместила среда за дълбочинно хранилище са проведени в Германия. Установено е, че най-подходящи са солните наслаги, които съдържат много малки количества примеси от други минерали и имат ниско глинесто съдържание. Солните щокове се предпочитат пред напластените солни наслаги, т.к. предлагат по-големи обеми за изграждане на хранилище. В самите щокове относително малка част е подходяща, а останалата съдържа сравнително големи количества примеси и не е подходяща за тази цел. Например, анхидритът, който е един от примесите в халита, се отличава с по-крехко разрушаване, което води до образуване на пукнатини и слаби зони в солния щок.

За България като най-перспективна геоложка среда за изграждане на хранилище за високо активни отпадъци са разглеждани: долнокредни мергели в Предбалкана; гранитния плутон в Сакар и гнайсови и серпентинитови масиви в Източните Родопи. За постоянно хранилище на ниско и средно активни отпадъци като най-перспективна вместила среда са изследвани: долнокредни мергели от Северозападна България; глини с миоценска и кватернерна възраст и дебели льосови масиви в близост до АЕЦ „Козлодуй”.