

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ НА ЕКЗОГЕННИТЕ ПРОЦЕСИ ВЪРХУ ГЕОЛОЖКАТА ЖИЗНЕНА СРЕДА

3.1. Изветряне - оценка и показатели за степента на изветряне и мерки предпазващи от изветряне

Изветрянето е един от най-бавните и същевременно най-широко разпространения от разрушителните геоложки процеси. Редица физични, химични и биологични процеси засягат всички видове скали, разкриващи се на земната повърхност. Преминавайки през различни стадии, здравите и свежи скали се превръщат в изветрителни продукти, състоящи се от сипеца се или песъчливо-глинеста маса. Тези процеси и последствията от тях зависят от климатичните особености и вида на скалите. Дебелината на изветрителните кори е неравномерна и варира в широки граници, но се забелязва, че при по-старите от тях тя е по-мощна. Последствията от изветрителните процеси са влошаване на качествата на земната основа, намаляване на нейната носеща способност и увеличаване на водопропускливостта, нарастване на изкопните работи, с произтичащите от това усложнения при строителството. Това се отнася най-много за тежкото строителство като: язовирни стени, портали на тунели, изкопни съоръжения по пътища, железопътни линии и открити рудници. Изветрянето на скали по склоновете намалява устойчивостта им и активизира други разрушителни процеси като: ерозия, абразия, свлачища и срутища.

Скалите притежават различни, но почти винаги ясни признаци на изветрялост: промяна в цвета с появяване на железни оксиди и други минерални налепи, изветрителни пукнатини, изменение на текстурата, намаляване на плътността, поява на хумус в пукнатините на изветряне и др. Показатели за степента на изветряне, установени чрез опробване на място и чрез лабораторни анализи са: изменение на водопоглъщането, плътността и скоростта на еластичните вълни; изменение на зърнометричния и минералния състав; якостта, деформируемостта, водопропускливостта и размиваемостта. Тези показатели се определят както по косвени признаци, така и посредством преки опити.

Представа за комплексното изменение на химичния състав на скалите, и по-специално на гранита при изветрянето на съставлящите го минерали, дава общият геохимичен коефициент K_K , който се определя по формулата:

$$K_K = 1/h \cdot (RO + R_2O)/R_2O_3$$

където h – коефициент на хидратация ($h = H_2O/SiO_2$);

RO – общо процентно съдържание на двувалентни оксиди
($FeO + MnO + MgO + CaO$);

R_2O – общо процентно съдържание на едновалентни оксиди
($Na_2O + K_2O$);

R_2O_3 – общо процентно съдържание на тривалентни оксиди
($Fe_2O_3 + Al_2O_3$)

Въз основа на общия геохимичен коефициент се определя коефициентът на изветряне K :

$$K = (K_{K1} - K_{K2})/K_{K1}$$

където K_{K1} – общ геохимичен коефициент на неизветрялата скала;

K_{K2} – общ геохимичен коефициент на изветрялата скала.

Според стойностите на коефициента на изветряне, скалите се разделят на следните категории:

- Силно изветрели – $K = 0,75-1,00$;
- Средно изветрели – $K = 0,50-0,75$;
- Слабо изветрели – $K = 0,25-0,50$;
- Много слабо изветрели – $K = 0-0,25$.

Различните минерали се характеризират с различна устойчивост на изветряне, като Цехомский А. М. ги отделя в следните групи:

- Твърде устойчиви – кварц, хематит, лимонит, турмалин, рутил, циркон, корунд, диамант;
- Устойчиви – мусковит, ортоклаз, микроклин, магнетит, дистен, каситерит;

- Умерено устойчиви – алкални плагиоклази, диопсид, апатит, ортит, епидот, ставролит;
- Неустойчиви – кисели плагиоклази, ромбични пироксени, алкални амфиболи, биотит, авгит, оливин, глауконит, калцит, доломит, гипс, пирит, халкопирит.

От различни автори са предложени редица показатели за определяне на степента на изветряне в скалните масиви, като по-важните от тях са:

1. В магмените и метаморфните масиви показателят за степента на изветряне $K_{И}$ може да се определя от данните за обемната плътност ρ_n , като той представлява отношение между обемната плътност на образци от изветрителната кора към обемната плътност на образци от неизветрялата зона. По този показател магмените и метаморфните скали се поделят на:
 - Неизветрели – $K_{И} = 1$, скалите залягат като плътен масив;
 - Слабо изветрели – $1 > K_{И} \geq 0,9$, масивът е слабо напукан;
 - Изветрели – $0,9 > K_{И} \geq 0,8$, масивът е напукан и разделен на късове;
 - Силно изветрели - $K_{И} < 0,8$, масивът е силно грусиран.
2. За определяне на степента на изветряне $K_{В}$ може да се използват данни за трошимоспособността на скалите, получени по метода Лос Анджелис:

$$K_{В} = (K_1 - K_0)/K_1$$

където K_1 – отношение на масата на частиците, с размер по-малък от 2 mm, към масата на частиците с размер над 2 mm, след изпитването по метода Лос Анджелис;

K_0 – същото отношение, но преди изпитването.

При $K_{В} < 0,5$ скалите се определят като неизветрели; при $0,5 < K_{В} < 0,75$ – скалите са слабо изветрели и при $0,75 < K_{В} < 1$ – са силно изветрели.

3. Когато в седиментните и магмените скали могат да се разграничат четирите изветрителни зони, за определяне на степента на изветряне е предложен показателят $V_{С}$:

$$V_C = (F_H - F_0)/(F_H - F_A)$$

където F е характерен показател за свойствата или за състава на изследвания масив (например, обемна плътност, обем на порите, якост на едноосен натиск, динамичен модул, съдържание на гипс или на железни оксиди и др.). Индексите H , A и O се отнасят съответно за неизветрялата, максимално изветрялата и оценяваната скала. По този показател скалите се разделят на: силно изветрели – $V_C = 0,9-1,0$; изветрели – $V_C = 0,7-0,9$; средно изветрели – $V_C = 0,3-0,7$; слабо изветрели – $V_C = 0-0,3$.

4. Друг показател за устойчивостта на изветряне се определя от данните за якостта на едноосен натиск на скалите по формулата:

$$N = R_1/R_0$$

където R_1 – якост на скалите, една година след разкриването им в даден откос;

R_0 – якост на скалите веднага след разкриването им.

За определяне на скоростта на изветряне, като най-достоверни се приемат натурните налюдения на опитни площадки и в откосите на изкопи. Резултатите от кратковременните наблюдения (обикновено няколко години) по възможност се допълват с данни за мощността и строежа на изветрителните зони в пътни откоси или други изкопи, съществували десетки години. Оценката на скоростта на изветрителните процеси има важно значение за устойчивостта на пътни изкопи и склонове, които се проектира да бъдат преоткосирани и площадки в масиви, изложени на активното влияние на изветряне. За промяната във физико-механичните свойства на скалите при тяхното изветряне твърде показателни са данните за светлосиви, дребнозърнести гранити от Южна България със съдържание на 17% кварц и 5% слюди (Табл. 9).

При избор на основа за сгради и съоръжения, изветрителната кора се преминава с фундамента до неизветрелите скали. Елувиалният материал може да служи за носеща основа, само при условие че има достатъчна якост или е заздравен посредством някой от методите за подобряване.

Таблица 9. Физико-механични показатели на изветрели Южнобългарски гранити

ЗОНИ НА ИЗВЕТРЯНЕ	СЪСТАВ И СТРОЕЖ	ОБЕМНА ПЛЪТНОСТ, g/cm ³	ЯКОСТ НА НАТИСК, МПа	V _p , m/s	МОДУЛ НА ДЕФОРМАЦИЯ, x 10 ³ МПа
IV	Напълно изменени скали, глинесто-песъчливи отложения с кварцови зърна	-	-	-	-
III	Гранитни късове, изветрели, лесно раздробяващи се, с размер до 25cm, с хумус и глина по пукнатините	2,49	27,5	1560	2,7
II	Гранитни блокове, изветрели по крайщата, с размери 30-60 cm	2,62	120,8	3230	22,0
I	Пукнатини на изветряне разделят гранита на блокове с размери 50-300 cm, които нямат външни признаци на промяна	2,65	159,0	3830	38,6

Наклонът на откосите на изкопите се определя с отчитане на якостта на скалите в изветрителната кора и скоростта на изветряне.

Намаляването на якостта на срязване на скалния масив в резултат на изветряне се дължи на: намаляване на силата на триене между скалните блокове вследствие на по-малката грапавост на стените на пукнатините; намаляване на ефекта от зацепването между блоковете, поради разширяване на съществуващите пукнатини; намаляване на сцеплението в масива, вследствие на раздробяване на скалите в откоса.

За предотвратяване на изветрянето или подобряване на свойствата на вече изветрели скали се прилагат различни мероприятия, които може да се обединят в следните групи:

- Покритие на скалите с материали, непрopusкащи изветрителните агенти.
- Пропиване на скалите с различни вещества.
- Неутрализация на изветрителните агенти.
- Планировка на територията и отвеждане на водата.

Покритието на скалите с различен вид материали – бетон, циментов разтвор, глина, полимери и др. – зависи от преобладаващите изветрителни фактори и дълбочината на проникването им. Например, полимерните, циментовите и други изкуствени покрития запазват скалата от проникване на вода, но не я защитават от температурните колебания. В това отношение по-добър изолиращ материал е песъчливата глина. Слой с дебелина равна на дълбочината на проникване на денонощните температурни колебания е добро водонепропускливо покритие. В редица случаи дъното на строителните изкопи не се удълбочава до проектната кота. Оставащият слой се отнема непосредствено преди полагане на фундамента. Пропиването на скалите може да стане с водно стъкло, циментов разтвор, глинеста суспензия, хидрон и др. Водно стъкло се използва за укрепване на песъчливи и песъчливо-глинести разновидности. Циментовият разтвор се използва за напукани скали. У нас шприцоване на откоси в открити изкопи е прилагано при гара Бов, където откосът е в гранодиорит и непосредствено след тунел „Витиня”, където откосът е изграден от филити и диабази. Пясъците може да се пропият с глинеста суспензия, което води до понижаване на водопрopusкливостта им. Неутрализация на агентите на изветряне се прилага рядко, поради високата ѝ стойност. Такъв метод е насищането на филтриращата се вода

със соли, които тя разтваря от скалите, с което се намалява способността ѝ за по-нататъшно разтваряне. Действието на подземните води се неутрализира чрез дренажи, а повърхностните води се отвеждат посредством канавки. Скални строителни материали, паметници на културата изсечени в скали и др. се изолират от влиянието на изветрителните процеси чрез различни покрития от специални бои, лакове, органични вещества, водно стъкло и др. В строителството най-често стремежът е да се използва колкото се може по-устойчиви на изветряне скални облицовъчни материали.

3.2. Площна ерозия и оврагообразуване

Нерегулираната дейност на повърхностните води довежда до развитие на площна и линейна ерозия. Интензивността на площната ерозия зависи от:

- Строежа и състава на почвите;
- Наклона на повърхността;
- Климатичните особености
- Наличието или отсъствието на растителна покривка.

Влиянието на наклона и наличието на растителност върху количеството на изнасяния почвен материал е показано на Табл. 10.

Таблица 10. Влияние на наклона на повърхността и растителността върху количеството еродиран материал

НАКЛОН НА ПОВЪРХНОСТТА, °	КОЛИЧЕСТВО НА ИЗНАСЯНИЯ ПОЧВЕН МАТЕРИАЛ ОТ 1 m ² , В ПРОДЪЛЖЕНИЕ НА 6 МЕСЕЦА, g	
	ОТ ПОКРИТА С ТРЕВНА РАСТИТЕЛНОСТ ПОВЪРХНОСТ	ОТ ОГОЛЕНА ПОВЪРХНОСТ
10	14	834
20	42	1368
0	51	3104

Геоложкият строеж влияе чрез водните свойства и устойчивостта на изветряне на скалите. Най-лесно се размиват глинесто-песъчливите разновидности, особено праховите лъсови почви. С повишаване на количеството на глинестата фракция и увеличаване на плътността и силите на сцепление, размиваемостта при глините намалява.

Геометричните характеристики на склона и растителната му покривка определят скоростта и кинетичната енергия на водните струи, загубите от изпарение и инфилтрация, и интензивността на ерозията. Растителната покривка задържа и изпарява дъждовната вода. Липсата на растителност води до твърде значителни, дори катастрофални последствия от ерозията. Данните за подложени на площна ерозия незастроени земи в САЩ показват мащабността на това явление (Табл. 11). От таблицата се вижда, че най-засегнати от площна ерозия са обработваемите селскостопански земи.

Таблица 11. Засегнати от площна ерозия територии в САЩ
(по US Department of Agricultural Soil Conservation Service)

ВИД НА ЗЕМЯТА	СКОРОСТ НА ЕРОЗИЯТА, тона/акра/годишно		ЗАСЕГНАТА ПЛОЩ, млн. акра	ОБЩИ ЕРОЗИОННИ ЗАГУБИ, млн. тона
	от - до	средно		
ОБРАБОТВАЕМА ЗЕМЯ	0,83-15	4,8	412	1978
НЕОБРАБОТВАЕМА ЗЕМЯ	0,22-6,4	3,4	408	1387
ГОРИ	0,02-2,5	1,2	367	440
ПАСИЩА	0,01-12,6	2,6	133	346
ОБЩИ ЗАГУБИ				4151

Климатичните особености (количество и характер на валежите, скорост на топене на снега, изпарение, ветрове и др.) определят количеството вода, което се стича по повърхността. Най-интензивна е ерозията при годишни валежи 250-350 mm. Такова количество валежи е достатъчно за значителен повърхностен отток, но е твърде малко, за да осигури израстването на защитна растителност.

В резултат на размиването на склоновете и водоразделите от повърхностни води се образуват овразите, които разчленяват дълбоко и интензивно дадена територия, унищожават полезна земя на огромни площи, като я превръщат в непригодна за различни стопански, строителни и земеделски цели. Овразите нанасят особено голяма вреда на пътищата и други линейни съоръжения. За да се избегнат местата с интензивна

овражна дейност, се налага да се строят многобройни изкуствени съоръжения, да се правят допълнителни заобиколни пътища, което е свързано със значителни материални разходи. При удълбочаването си овразите може да достигнат до нивото на подземните води и да ги дренират, при което настъпва изтощаване на водните ресурси. Те могат да нарушат и влажностния режим в зоната на аерация и по този начин да се понижи плодородието на обработваемата земя. Размитата от овражна дейност почва може да прегради пътища, напоителни канали и реки, и да създаде затруднения при експлоатацията им. Вследствие на активно оврагообразуване и повърхностна ерозия се затлачват някои малки и средни по обем водохранилища. Например, малък язовир в Дагестан, с височина на стената 12 m, е бил изцяло запълнен само след 3 годишната му експлоатация. В САЩ се изразходват десетки милиони долари всяка година за изгребване и отстраняване на нежеланите наслаги от изкуствени водоеми и канали. У нас също е установено значително затлачване на язовирите по р. Арда, вследствие на силно развитие на ерозионните процеси във водосборната област. Например, за язовир „Студен кладенец“ е измерен общ обем на отложените наноси 64 млн. m³ в периода 1958-1971 г., което означава, че годишно са отлагани около 5 млн. m³. По-тежко е състоянието на малките язовири, при които затлачването е в по-големи размери.

Дължината на овразите се изменя в широки граници – от няколко десетки метра до десетки километри. Дълбочината им също варира от няколко метра до 25-30 m. Така нареченият коефициент на овражност K_o може да се използва за количествена характеристика на овражната дейност:

$$K_o = \sum l/F$$

където $\sum l$ – сума от дължините на всички оврази, формирани на определена площ F .

По обема на ерозираните маси, овразите се разделят на:

- Ровини – по-малко от 10 m³;
- Малки оврази – от 10 до 100 m³;
- Средни оврази – от 100 до 1000 m³;
- Големи оврази – от 1000 до 10 000 m³;

- Много големи оврази – над 10 000 m³.

В процеса на своето развитие овразите преминават през няколко етапа:

I етап (начален) – В него се оформят малки ровини с дълбочина до 0,5 m, рядко достигаща 1 m. Те имат V-образен профил и дъното им е високо над местния ерозионен базис. В тези ровини се концентрират потоци от валежни води.

II етап (на активна дълбочинна ерозия) – През този етап става ускорено връзване, удълбочаване и разширяване на оврага. Склоновете придобиват по-стръмен наклон, а профилът от V-образен преминава в U-образен.

III етап (на активна странична ерозия) – Дъното на оврага достига до основата на склона (местния ерозионен базис). Напречният профил изцяло се дооформя като U-образен. Развитието на оврага затихва, като оформянето му достига равновесното си състояние.

IV етап (на затихване) – Ерозионните процеси напълно затихват. Напречният профил и склоновете са в равновесно състояние. Релефните форми се заглаждат и покриват с трева, храсти и друга растителност.

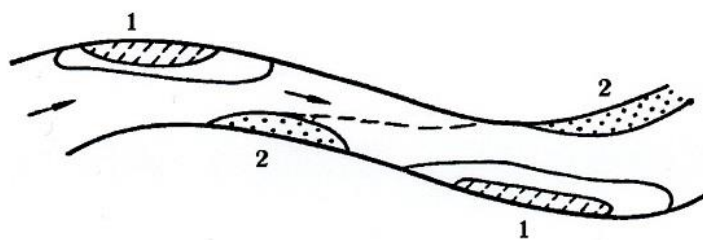
Установяването на етапа на развитие на овразите има съществено значение при оценката на условията за строителство. В район където развитието им е в първия или втория етап, трудно могат да се проектират и изградят съоръжения, без предварително да се приложат противоерозионни мероприятия и да се извърши специално укрепване на фундаментите. В случаите, когато овражната дейност е затихнала, те може да се преминават при строителство на съоръжения без укрепване, като обикновени релефни понижения. Установено е, че при наклон до 2⁰ почти не настъпва размиване на рохкавия почвен материал и много рядко се наблюдава оформяне на ровини. При наклон от 2⁰ до 4⁰-5⁰ размиването е доста забележимо, а при наклон от 4⁰-5⁰ до 7⁰-8⁰ ерозията може да се прояви интензивно и повсеместно. При по-голям от 8⁰ наклон ровините са многобройни и бързо се превръщат в оврази. Най-опасни за развитие на оврази са краткотрайните валежи, с интензивност 1 mm/min.

Влиянието на стопанската дейност върху развитието на овражната дейност е разнообразно. Тя може да е положителна, когато е насочена

към прогнозиране на тези явления, борбата с тях и възстановяване на нарушените терени, но по-често човешката дейност влияе отрицателно. Тя се проявява в: нарушаване на режима на повърхностния отток, разрушаване на защитното растително покритие по склоновете и водоразделите, неспазване на техническите условия при строителство на различни съоръжения, пътища, канали, водопроводи и др.

3.3. Линейна ерозия и противоерозионни защитни мероприятия

Линейната ерозия може да е дълбочинна (руслова) и странична (склонова). Речните долини са области, в които по време на цялата цивилизация е била концентрирана човешката дейност и се е извършвало най-разнообразно строителство, поради което всеки процес, включително и ерозията трябва да бъде добре изучен. При изследване на ерозионните процеси трябва да се отчита влиянието на хидроложките фактори, като скорост, енергия и разход на водния поток и др. Хидроложките фактори са твърде различни при равнинните и планинските реки, с различни водосборни области и врязани в различни скални комплекси. От хидроложките изследвания особено значение имат данните за ежегодните и многогодишните пълноводия на реките, които се оценяват чрез т.нар. безопасност. Например, 1% безопасност отговаря на очакваната вълна, която ще се появи веднъж на 100 години, а 20% безопасност – веднъж за 5 годишен период. Речните потоци обикновено са турбулентни и имат различни скорости по напречните сечения. При завои на речното русло настъпват значителни преразпределения и изменения в скоростта на водните потоци. По външните стени на завоите скоростта нараства, а по вътрешните – намалява около 1,5-2 пъти. Тези особености определят още по-сложния турбулентен характер на потоците, близък до винтообразен, което се отразява върху формирането на различни релефни форми в руслото на реката – зони на големи дълбочини и плитчини с дънни наноси (Фиг. 9).



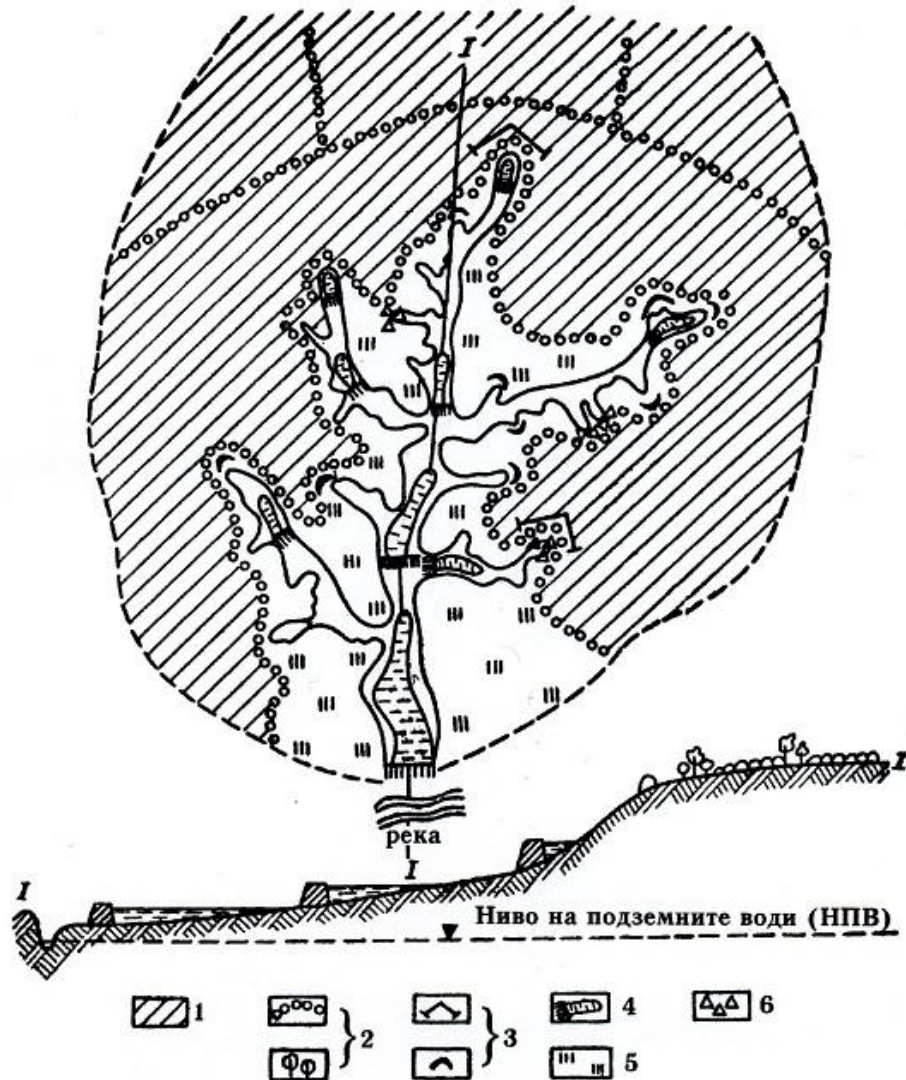
Фигура 9. План на участък от речното русло
1 – дълбоководни зони; 2 – плитчини

Хидроложките характеристики имат определящо значение за размиването, пренасянето и отлагането на частици от литоложките разновидности, изграждащи бреговете. Размиването зависи от челната сила на потока P_c действаща върху дадена частица с тегло G , от подемната сила P_n , кохезията C и триенето φ на частицата с дъното или стените на потока. Следователно размиваемостта и пренасянето на частиците зависи не само от хидроложките характеристики на потока, но и от структурните връзки между частиците. Между водното количество, напречното сечение на руслото и скоростта на водата съществува динамично равновесие. Връзката между тези параметри определя кой от русловите процеси ще преобладава. В случай, че наклонът на руслото е малък, наносите започват да се акумулират и да го запълват. Това предизвиква увеличаване на наклона в участъка, разположен по-надолу и там започва ерозия на дъното и пренасяне на материал. В случай, че наклонът на руслото е голям, започва дънна ерозия, което довежда до намаляване на наклона и скоростта, при което започва акумулиране на наноси. Водната ерозия във веки участък от долината зависи от водния разход и от режима на оттока. При едни и същи водни количества ерозията е по-интензивна в планинските участъци, особено в горното им течение, и значително по-слаба в долното течение на равнинните участъци. Увеличаването на водното количество по течението на реката довежда до нарастване на скоростта, а също широчината и дълбочината на руслото. В долното течение, където наклонът е малък, реката извършва руслова ерозия, като интензивността ѝ зависи от съпротивлението срещу размиване на скалите и почвите. Скоростта на пренасяне и утаяване на различните по зърнометричен състав алувиални наноси (чакъл, пясък, прах и глина), съгласно закона на Стокс, се определя от размера на

частиците, от разликата между тяхната плътност и плътността на водата и от кинетичната енергия на потока. За характеристика и оценка на устойчивостта на руслото и бреговете се сравняват съществуващите или възможни скорости на потока с пределно допустимата неразмиваща скорост. За същата цел се използва и коефициентът K_y , който е равен на отношението между средния диаметър на частиците, изграждащи брега и руслото на реката d_{CP} (mm) и наклона на реката I (m/km). Колкото по-големи са стойностите на този коефициент, толкова по-устойчиви са бреговете и руслото на реката. При прогнозирането на размиването и разрушаването на речните брегове се отчитат регионални и местни фактори, като първите се използват предимно на стадия на предварителните проучвания и изследвания, а вторите – при детайлните изследвания и при обосновка на проектите за противоерозионни мероприятия. От регионалните фактори първостепенно значение имат хидроложките особености на реката, зависещи от условията на подхранването \dot{y} , геоморфоложкия строеж на речната долина и геоложките условия. От анализа на тези данни може да се определят участъците, които са най-уязвими на размиване и разрушаване и по кое време на годината е най-интензивно. За събиране на данните трябва да се разполага с инженерногеоложка карта или с карта на кватернерните отложения по речната долина, надлъжни и напречни профили на характерни участъци и съответните хидрографи на реката. Последните представляват графики за колебанието на водното ниво и разхода Q на реката за период от една година. Разходът на реката е количеството вода, което минава през дадено сечение на речното корито за единица време. От местните фактори е важно да се определи състава и състоянието на скалите и почвите, изграждащи речното русло и брега. Размиването на брега е най-вероятно в участъци, където реката прави резки завои или меандрира. Например, по Дунавския бряг с намалена ерозионна устойчивост са участъците, в чиято основа залягат плиоценски глини, покрити с дебели лъсови наслаги. Установеното максимално размиване на клифа е при гр. Оряхово (1-1,2 m/a) и при с. Ценово. Определянето на скоростта на размиване на участъци, изградени от различни литоложки

разновидности представлява полезна информация при проектирането на различни съоръжения.

Принципна схема за разполагане на различни видове противоерозионни мероприятия е представена на Фиг. 10.



Фигура 10. Принципна схема за разполагане на различни противоерозионни мероприятия (по Ломтадзе В. Д.)

1 – агромелиоративни; 2 – лесозащитни; 3 – водозадържащи и регулиращи съоръжения; 4 – задържащи и филтриращи водни басейни; 5 – затревяване на склонове; 6 – укрепване с бетонови стени, пилоти и др.

Най-общо защитните мероприятия могат да се обединят в следните групи:

- *Агримелиоративни.* Те включват противоерозионни начини за обработка на почвата и посевите. Най-разпространено е обработването на почвите напречно на склона, което снижава

скоростта на водния поток. При този начин не се изразходват допълнителни средства, а се постига значителен ефект при площната ерозия и оврагообразуването. За по-пълно задържане на водата по склоновете са предложени различни начини за създаване на изкуствен микрорелеф: изграждане на хоризонтални валове, непрекъснати и прекъснати бразди, терасиране и др. Засаждането на растителност също е едно от агромелиоративните мероприятия за защита от ерозията. Почвозащитните свойства на растителността зависят от количеството на корените, надземната растителна маса и др.

- *Лесозащитни мерки.* В участъците подложени на площна ерозия горските насаждения се разполагат в пояси, напречно на склона или по периметъра на оврага. Опитът в това отношение показва, че горски пояси с икономически приемлива ширина не могат да решат проблема с водната ерозия, т.к. интензивността на постъпващите повърхностни води обикновено надвишава интензивността на филтрация. Освен това повърхностният отток постъпва в горските пояси по релефните понижения и така само част от горските насаждения изпълняват предназначението си. Залесяването дава добри резултати при силно еродирани склонове.
- *Изграждане на водохващащи, водозадържащи и водорегулиращи съоръжения.* Те са предназначени да улавят и да забавят повърхностните потоци, а също да увеличават инфилтрацията на повърхностните води. Към този тип съоръжения се отнасят: системите водоотвеждащи канали, бетонни прагове, стени на водни изравнители, преградни стени и др. Създадените с помощта на насипи и стени малки водоеми изменят наклона на потоците и тяхната скорост и играят ролята на наносоуловители като спомагат за инфилтрацията на повърхностните води. За намаляване на страничната речна ерозия в населени места се изграждат шпунтови или облицовъчни стени, а извън тях – защитни бетонови конструкции, които са от различен тип. Прилага се и насипване

на каменен блокаж, бетонови плочи, които служат както за защита на брега от ерозия, така и за регулиране на речния поток (неговата посока, наклон, скорост и разход). За промяна на посоката се изграждат специални съоръжения, като буни, напречни ребра и др. За защита на бреговете от наводнения при високи води се изграждат язовирни стени, с което се решават комплекс от задачи – защита от ерозия и наводнения, получаване на електроенергия, подобряване на условията за корабоплаване и др.

- *Укрепване* на участъците с активно развитие на ерозия се извършва чрез засипване на ровините, след което се застилат каменни покрития, бетонови плочи или се провежда укрепване с пилоти. В някои страни се изграждат системи от бетонови и асфалтови покрития, в комбинация с дренажни съоръжения. Проектирането на различни видове противоерозионни инженерни мероприятия, които обикновено изискват значителни средства, се осъществява след детайлни хидроложки, хидрогеоложки и инженерногеоложки изследвания на засегнатите от ерозия територии.

3.4. Абразионни процеси. Фактори, които влияят за формиране на океанските, морските и езерните брегове. Устойчивост на размиване. Интензивност на абразията. Противоабразионни мероприятия и тяхната ефективност

За изменението морфологията на бреговете на моретата, океаните и езерата, под въздействие главно на разрушителната дейност на вълните, в българската научна литература под влияние на руската е въведено понятието абразия. В англоезичната литература се използват по-точни наименования на този процес, а именно: морска ерозия (sea erosion) и брегова ерозия (coastal erosion). Формирането на бреговете на язовири и други изкуствени водоеми се нарича преработка.

Разрушителното действие на вълните много често нарушава устойчивостта и нормалната експлоатация на разположени в крайбрежната зона сгради и съоръжения. Обикновено тези зони са с развито строителство на населени места, курорти, пристанищни съоръжения, пътища и железопътни линии, комуникационни съоръжения и др. Съвременните абразионни процеси засягат както брега, така и прибрежните части на шелфа. Силата и активността на абразията се определят от сложен комплекс природни фактори и условия. От една страна това са *вълновите фактори*, които са и главни – сила и посока на морските вълни и течения. От друга страна са *невълновите* – изветряне, ерозия от повърхностни води, оводняване на склонове от подземните води и др. Значение за развитие на абразията имат морфологията и литоложкия състав на брега и подводния склон, а също физико-механичните свойства на скалите. Голямо е влиянието на щормовете, които предизвикват бързи временни или постоянни изменения на бреговата линия, свързани с подкопаване на стръмни брегове, изнасяне на плажни ивици или отлагане на пясъци. В зависимост от преобладаващите процеси и явления в бреговата зона, бреговете биват: абразионни и акумулативни.

Вълните възникват на водната повърхност най-често под въздействие на вятъра и много по-рядко от земетресения, големи свличания, колебания в атмосферното налягане, движение на плавателни съдове и др. Количеството енергия, предавано от вятъра на вълната е различно в различните ѝ части, в резултат на което дебелината и скоростта на преместване на отделните елементарни слоеве вода по посока на вятъра не са еднакви и имат пулсационен характер. Движението на водните частици в този случай се извършва по елипса, която е толкова поразтеглена, колкото по-голяма е скоростта на течението. Скоростта на въздушните потоци обикновено е неравномерна, особено при щормове. Затова те имат турбулентен характер на движение и създават неравномерно разпределено налягане на въздуха по водната повърхност. Вследствие на това възникват вълни с различна височина и дължина, като по-малките вълни постепенно отстъпват място на по-големите, т.к.

последните по-добре съхраняват получената от вятъра енергия. При придвижване към брега, отделни участъци от вълните попадат на различни дълбочини, обусловени от неравния релеф на дъното, което предизвиква изменение в посоката на движение на вълните, тяхното изкривяване или т.нар. рефракция на вълните. Вълната се стреми да заеме положение успоредно на брега и това води до концентрация на енергията на вълнение в някои участъци от брега. Ефектът от рефракция на вълните се отчита при разполагане на брегоукрепителни съоръжения и при избора на техния тип. Основните характеристики на вълната са:

- Дължина на вълната L . Това е разстоянието от върха (гребена) на една вълна до върха на следващата;
- Височина на вълната h . Това е разстоянието от върха до основата на вълната;
- Период на вълната T (s). Това е времето, за което вълната се премества на разстояние равно на своята дължина;
- Скорост на разпространение V (m/s). Това е пътят, който вълната преминава за единица време, или $V = L/T$.

Възникващите вълнения се разпространяват на значителни разстояния извън областта на действие на вятъра. Работата извършвана от вълните, се осъществява за сметка на изразходването на запаса от енергия, който се определя по формулата:

$$E = 1/8 \cdot h^2 \cdot L$$

където E – сумарна енергия на целия вълнов фронт (kN/m).

В откритите части на океаните ветровите вълни достигат много големи размери, особено в южните ширини. Дължината им достига 400 m, височината – 12-13 m, периода – 17-18 s и скоростта на разпространение – от 14 до 22 m/s. Във вътрешните морета и езера размерите на вълните са значително по-малки. Например, за Черно море височината на вълните достига 4-6 m. Някои щормове в Черно море обаче, имат изключителна сила, като са установени вълни с дължина 160-170 m и височина 12 m. Размерите на вълните в язовирите са несравнимо по-малки. Например, за

някои големи язовири е установена височина на вълната 1,5-2,5 m. За прогнозиране размерите на вълните са предложени различни емпирични формули и номограми. От тях по предварително известни данни за скоростта и продължителността на действие на вятъра, се определят височината и дължината на вълните. При изчисляване на преработката на брегове на водохранилища, височината на вълните при различна скорост на вятъра се определя по номограмите на Браславский А. П.

Установено е, че когато вълните се приближават към брега и попаднат в плитководна зона, те започват да изпитват влиянието на дъното, като скоростта, височината и дължината им намаляват, а енергията им отслабва. Влиянието на вълните се разпространява до дълбочина 1,5 пъти дължината им, но практически влиянието на вълните става забележимо при дълбочина 0,5 L. Когато дълбочината на дъното стане равна на височината на вълните, настъпва пълното или частичното им разрушаване. За оценка на абразионното действие върху брега и за проектиране на укрепителни съоръжения значение има силата на удара или натиска на вълните. Тя се определя със специални уреди (динамографи) и по някои емпирични формули. Съществуват много такива формули като една от тях е тази на Хирои:

$$P = 3h \cdot (1 + h/L) \cdot 10^4$$

Според формулата на Хирои, при височина на вълната 6 m и дължина 50 m, силата на натиска е $2,02 \cdot 10^5$ Pa. За район от Черно море е определена максимална сила на натиска $0,45 \cdot 10^5$ Pa, а за район от Северно море – $6 \cdot 10^5$ Pa. Особено значение за въздействието на вълните върху брега имат морските течения, приливите и отливите, общата циркулация на морските води и др., които определят акумулационните и абразионните процеси.

Характерът на размиване и разрушаване на бреговете се определя от комплексното взаимодействие на следните фактори:

- Абразионното действие на водоема, в резултат на което се образува абразионната част на бреговата зона. В някои случаи

това помага на пренасяне на рохкавия материал с теченията по посока успоредна на брега.

- Акумулация на материала, образуващ се при размиване на бреговия склон. Една част от този материал се отлага и формира акумулативната част на бреговата зона.
- Акумулация на рохкавия материал, пренасян от успоредните на брега течения или от вливащите се реки.

При сравняване на морфоложките особености на абразионните и акумулативните брегове се вижда, че те в голяма степен зависят от якостта и състоянието на скалите и почвите. Когато бреговете са изградени от твърди скали с висока якост, малка деформируемост, слаба водопроницаемост и висока устойчивост на въздействието на атмосферните фактори, в повечето случаи те са много слабо засегнати от въздействието на водоема. Брегове, изградени от относително твърди разновидности, но значително напукани и изветрели, а също от полускални разновидности, с ниска плътност и якост, са по-податливи на размиване и разрушаване. Изградените от тези разновидности брегове винаги носят признаци от въздействието на водоема, като в повечето случаи те са абразионни, със стръмен или относително стръмен склон, добре оформена вълноприбойна ниша, която често се вкопава в основата на склона и сравнително тясна плажна ивица. Развитието на профила на равновесие при тези брегове се характеризира с постепенно отстъпване на бреговия склон все по-далече от бреговата линия и формиране на подводен склон. Брегове, изградени от рохкави, несвързани, чакълесто-песъчливи разновидности и меки свързани глинести почви, лесно и бързо се размиват. Те обикновено са ниски и имат широк пясъчен плаж и други акумулативни форми – тераси, коси и др. Подводният брегови склон има очертание близко до профила на равновесие.

Водоустойчивостта на скалите и почвите при вълново размиване се оценява както по косвени геоморфоложки показатели, така и чрез преки параметри на размиването. За получаване на преки показатели за размиваемостта се провеждат теренни опити, обемът и мащабите на които са различни в зависимост от отговорността на проектираното

съоръжение. При някои лабораторни експерименти изкуствено се моделира вълновото действие, като се задават вълни с различни стойности на височина, дължина и период. Засега са извършени твърде малко специални изследвания и наблюдения, позволяващи да се получат сравнителни количествени характеристики. Отделни наблюдения показват размиване на брега от порядъка на десетки метри за година при най-слабо устойчивите почви. У нас е измерена най-голяма скорост на абразия от порядъка на 1m/a при нос Сиврибурун в близост до Шабла и при нос Галата. В Табл. 12 са представени данни за допустимата максимална неразмиваща скорост на водните течения за някои основни литоложки разновидности. При скорости на течението по-големи от посочените (Табл.12), скалите и почвите започват да се размиват. На скалните и полускалните разновидности голямо влияние оказва степента на изветряне и напукаността им. Високите брегове се разрушават по-бързо от ниските, т.к. гравитационните сили ускоряват този процес. Устойчивостта на размиване зависи и от условията на залягане на скалите. При хоризонтално залягане и при разкриване на слаби разновидности, в тях бързо се оформя вълноприбойна ниша, а над нея започват масови обрушвания. При наклон на скалите в посока към водоема, вследствие на размиване може да възникнат свличания. В случай, когато при такова залягане се разкриват плътни и здрави скали, те служат като естествена бариера, която забавя и задържа разрушаването на брега. Внасяният от реките рохкав материал също влияе върху абразионните процеси. Там където той липсва, започва развитие на абразия, а в участъци където са натрупани големи количества от тези наноси абразията се преустановява.

Освен природните условия и фактори, известно влияние върху размиването на бреговете оказва и инженерно-стопанската дейност. Вече има много примери за интензивно размиване и разрушаване на брегове след изграждане на различни съоръжения, включително и брегоукрепителни, т.к. в процеса на проучване и проектиране не е била отчетена достатъчно добре динамиката на геоложките процеси в бреговата зона. Например, у нас буната и оградителния вълнолом на яхтено пристанище в курорта „Златни пясъци“ задържат пясък за сметка

на изнесеня материал от плажа на комплекса. Буните при къмпинг „Европа” засилват абразионната дейност откъм подветрената страна, което е наложила да се направи допълнително укрепване на брега.

Таблица 12. Допустима максимална неразмиваща скорост на водните течения за някои литоложки разновидности

СКАЛИ И ПОЧВИ	СКОРОСТ, m/s
Гранити, диабази, базалти, сиенити, диорити, кварцити, гнайси	15
Здраво споени пясъчници, варовици, плътни мрамори	4-5
Шуплести варовици, доломити	3-4
Мергели, шисти	2-3
Едри валуни	4-5
Дребни валуни	3-4
Едър чакъл	2-3
Дребен чакъл	1,00-1,25
Едрозърнест пясък	0,25-0,60
Среднозърнест пясък	0,25-0,35
Финозърнест пясък	0,20
Плътни глини и пясъчливи глини	1,20
Глини и пясъчливи глини с ниска плътност	0,50
Плътен глинест пясък	0,60-0,80
Глинест пясък с ниска плътност	0,25-0,35
Прахов льос	0,20-0,30

В бреговата зона съществува изключително деликатно равновесие в развитието на геоложките процеси, което много лесно може да се наруши от необосновано разполагане на съоръжения. За нарушаване на това равновесие влияние оказва изземването на пясък за строителни цели от устието на вливащите се във водоемите реки, от подводния брегови склон и особено от плажната ивица. Брегове лишени от плажна ивица бързо се рушат, а също и брегоукрепителните съоръжения по дължината, на които липсва плаж. За решаване на следните задачи е необходимо да се определя степента на опасност от размиване и разрушаване на морските брегове:

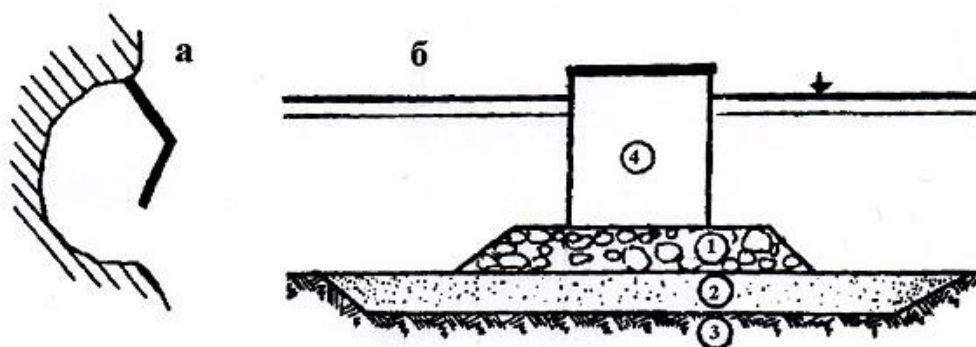
- При планировка и разполагане на нови съоръжения в бреговата зона, във връзка с развитието на населени места и курорти.
- При проектиране и осъществяване на инженерни защитни мероприятия в конкретни участъци и за осигуряване устойчивостта и нормалната експлоатация на съществуващи сгради и съоръжения.

Първата задача може да се реши чрез регионално изучаване на бреговата зона в определен район с цел да се направи оценка и райониране по степен на използване (непригодни, ограничено пригодни и пригодни) на отделните участъци. При регионалните изследвания се уточняват участъците, които се размиват и разрушават и се прави сравнителна оценка на интензивността на тези процеси въз основа на теренни наблюдения, дистанционни снимки и анализ на съществуващите хидроложки и инженерногеоложки данни. Силно размиващите се брегове се отличават ясно по морфоложките си белези. Те имат добре изразен клиф, често стръмен, със следи от свежи обрушвания. Плажът, ако съществува е тесен, а на интензивно размиваните участъци плажът е съставен от едър чакъл и дори по-едри късове с размер на валуни. С такъв материал е покрит и подводния склон. В горната част на бреговия склон се наблюдават отцепвания и образуване на пукнатини, които са признак за придвижване на скалната маса и нарушено равновесие. Съоръжения, намиращи се в такива участъци, обикновено са повредени или разрушени. Абразионният тип бряг най-често е ориентиран перпендикулярно на посоката на преобладаващите ветрове. Втората задача се решава чрез изпълнение на детайлни геоложки изследвания в конкретен участък, като подробно се изучава релефа му и този на подводния брегови склон, геоложкия строеж, физико-механичните свойства на литоложките разновидности, интензивността на вълновото действие и др. Провеждат се теренни опити и стационарни хидроложки и инженерногеоложки наблюдения и се съставя инженерногеоложка карта на участъка. Прави се прогнозна оценка за възможността от възникване на опасни процеси след осъществяването на различни защитни мероприятия.

Мерките за защита могат най-общо да се поделят на: профилактични и капитални. *Профилактичните* се осъществяват с цел да се предпази

даден район от развитие на опасни процеси. Към тях се отнасят: охрана на съществуващите плажове, изграждане на брегоукрепителни съоръжения и провеждане на наблюдения за условията, при които действат, както и техния периодичен ремонт; провеждане на режимни наблюдения, с цел да се предупреди за аварийното състояние на даден участък и съоръжение в бреговата зона. Запазването на рохкавия материал, формиращ плажа и другите акумулативни форми е задължително условие за защита на брега от размиване и разрушаване. Към това може да се добави и изкуствено попълване на плажа чрез насипване на подходящ материал, докаран от други места. *Капитални* мероприятия са: изграждане на съоръжения и брегови укрепления, както за непосредствена защита на брега от прякото действие на вълните, така и за съхраняване и нарастване на количеството рохкав материал в крайбрежната зона. Защитните съоръжения са: вълнобойни стени, бетонови плочи, тетраподи, скален блокаж, скално покритие на брега и откосите, вълноломи, преградни диги и др. Към съоръженията предназначени главно за задържане на наносите в бреговата зона се отнасят: буни, подводни вълногасители и др. В брегоукрепителната практика особено на морските брегове е прието да се прилага съчетаване на защитни и наносозадържащи съоръжения, с постоянно осъществяване на профилактика. Основните видове противоабразионни съоръжения имат следната характеристика:

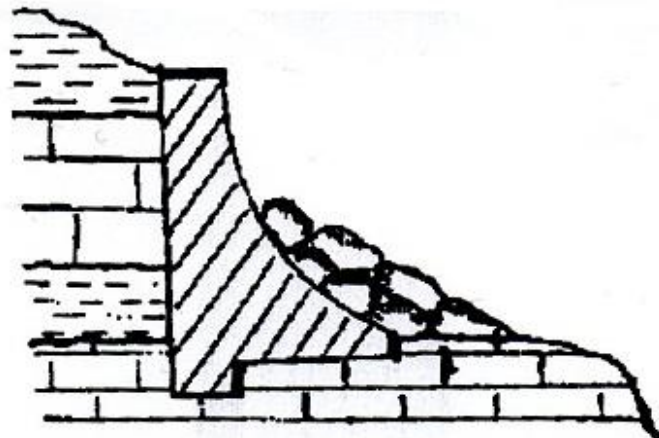
Вълноломи. Това са насипи от скални блокове или масивни бетонови стени, които се разполагат на известно разстояние от брега и представляват препятствие, в което удрящите се вълни губят енергията си и се разрушават (Фиг. 11).



Фигура 11. Вълнолом в морски залив: а – в план; б – напречен профил;
 1 – скална подложка; 2 – пясъчна възглавница;
 3 – слаби почви; 4 – стоманобетонов кесон

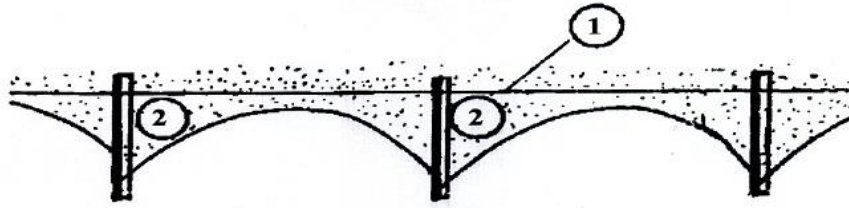
Фундирането на вълноломи обикновено се извършва върху широка основа от пясъчна възглавница, а напречният им профил е твърде разнообразен. В план вълноломите се разполагат успоредно на защитавания бряг. Понякога ги съединяват с брега чрез един или няколко напречни насипа за отстраняване влиянието на надлъжни течения зад вълнолома. В някои случаи добър резултат има изграждането на 2-3 успоредни реда вълноломи.

Вълнобойни бетонови стени. Това са надлъжни съоръжения, които се опират в самия бряг и го защитават от непосредствено размиване. Стените се изграждат от отделни бетонови или скални блокове, или от монолитен бетон (Фиг. 12). Фундирането трябва да е върху здрави скали. В случай, че основата не е от здрави скали се преминава към пилотно фундиране. Външната страна на тези стени може да е вертикална, наклонена, стъпаловидна или вдлъбната. Често в основата на стената се натрупват скално-почвени материали, които играят роля на вълногасител.



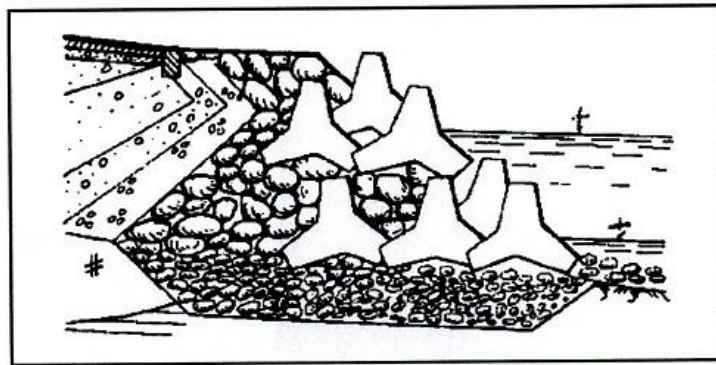
Фигура. 12. Вълнобойна бетонова стена

Буни. Това са напречни съоръжения, които се изграждат когато има естествено движение на наноси в посока надлъжно на брега (Фиг. 13). Те може да са бетонови или каменно-насипни. Тези прегради за потока на движещите се наноси помагат за съхраняване и нарастване на плажната ивица в защитавания участък.



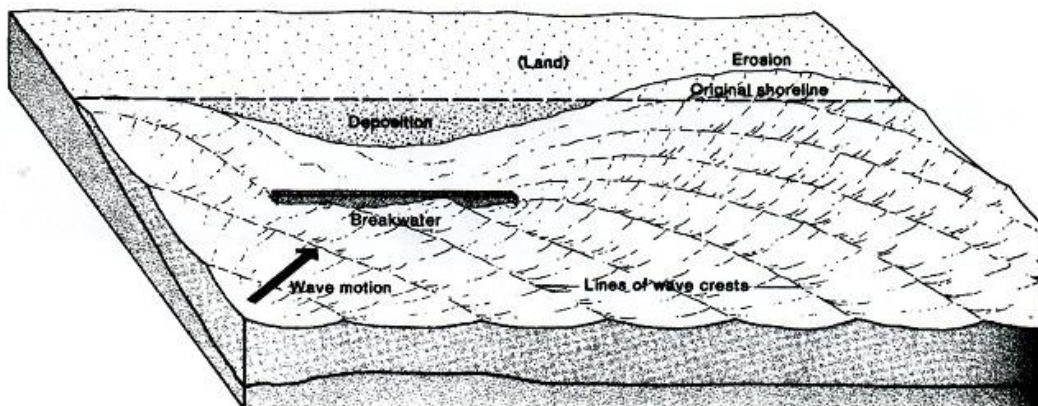
Фигура 13. Буни: 1 – брегова линия; 2 – акумулация на рохкави материали

Тетраподи. Представяват железобетонни фабрично изготвени конструкции, които се нареждат в зони подложени на абразия (Фиг. 14). Служат като вълногасители и защитни прегради за морските брегове. Те се поставят и в засегнати от свлачища участъци, където изпълняват функциите и на контрафорсни съоръжения.



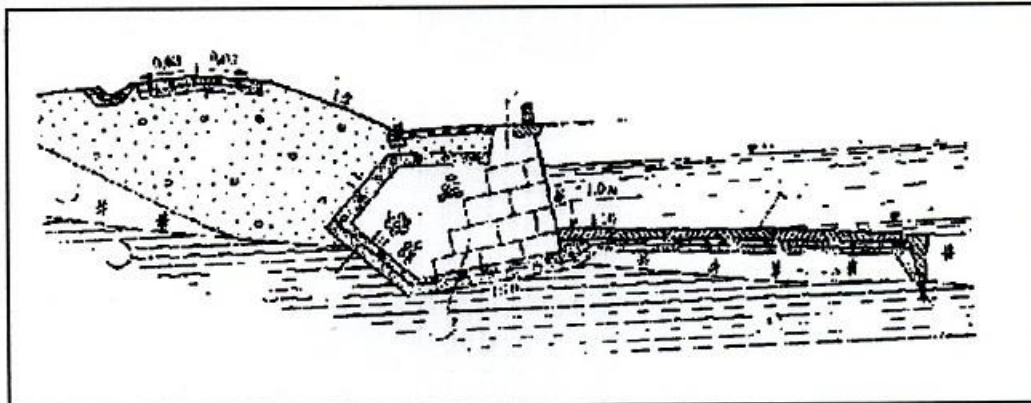
Фигура 14. Тетраподи

Подводни вълногасители. Най-често се изграждат от скални късове в сравнително плитки заливи, подложени на абразия (Фиг. 15). Опитът от използването им показва доста добри резултати и този тип съоръжения не загрозява околната среда.



Фигура. 15. Подводен вълногасител (по Montgomery)

Блоково-насипни стени. Те се изграждат от скални или бетонови блокове (Фиг. 16) и имат същото предназначение като тетраподите, но за разлика от тях почти винаги са допълнение към други укрепителни съоръжения.



Фигура 16. Противоабразионна блоково-насипна стена

Преградни диги. Те обикновено се облицоват от страната на вълновото действие и служат за защита на ниски части от сушата от нахлуване на морски води. Чрез диги понякога се отвоюват площи от акваторията на моретата.

Изборът на начин за защита на брега от размиване и разрушаване се определя от: силата на вълнодействие, наличието на пренасяни наноси в посока надлъжно на брега, релефа на бреговата зона особено в подводната ѝ част, геоложкия строеж и добрия естетичен вид на съоръжението. Голямо значение при избора има не само техническата целесъобразност на начина за защита, но и неговите икономически предимства.

3.5. Гравитационни процеси - фактори, влияещи върху устойчивостта на склоновете; типове гравитационни премествания. Срутища, сипеи и лавини – основна характеристика и мероприятия за защита

По характера на своето действие многобройните фактори обуславящи развитието на склоновите процеси могат да се обединят в следните групи:

- *Фактори създаващи средата*, в която се развиват склоновите процеси. Това са: литоложки разновидности, тектонски структури, напуканост, хидрогеоложки особености на земната среда, геометрия на склона и др.
- *Фактори изменящи състоянието и свойствата на масива*. Това са: разтовараване и разуплътняване на скалите; ерозионно и абразионно разчленяване на териториите; изветряне и суфозия; разтваряне и карстообразуване; съвременни тектонски движения, увеличаващи раздробеността на скалите; увеличение на водното съдържание на масива от атмосферни и подземни води и др. Всички тези фактори изменят големината и разпределението на напреженията в скалния масив, изграждащ даден склон.
- *Техногенни фактори*. Те са твърде разнообразни и въздействат както на якостните свойства, така и на напрегнатото състояние на склоновете. Към тях се отнасят: изкопни работи и подсичане на склона; вертикална планировка; претоварване от различни съоръжения; вибрации от машини и взривни работи; допълнително навлажняване от нерегулирано изтичане на води от ВиК системите, каналите за напояване и др.; открита и подземна разработка на полезни изкопаеми; изпомпване на вода, нефт и др. За техногенните фактори е характерна относително ограничена област на действие, но се проявяват много по-активно.

Някои фактори, като подземните води и сеизмичната активност се разглеждат в едни случаи като компоненти на средата, а в други – като действащи фактори.

Гравитационните явления са твърде разнообразни и се различават както по своя генезис, така и по своите мащаби и проява във времето. Основните типове гравитационни премествания са следните:

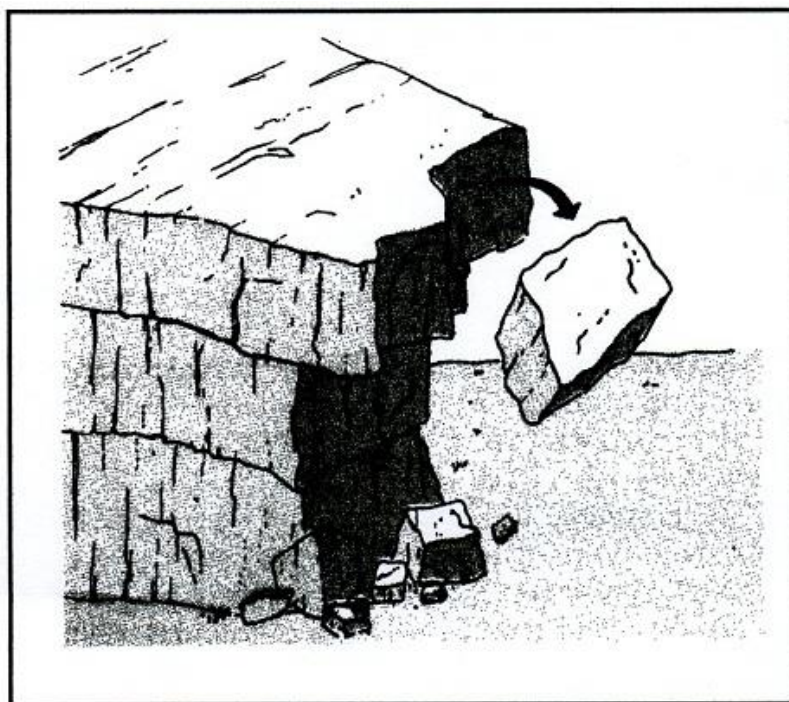
- *Срутища*. Те възникват при отделяне от склона на по-големи или по-малки скални маси и тяхното обрушване и придвижване надолу по склона е по пътя на свободното падане или чрез частичното им удряне, отскачане и търкаляне по склона.

- *Сипеи*. При тях също възниква отделяне на скални късове и тяхното падане и търкаляне надолу по склона. Обикновено те се формират в силно напукани и изветрели, стръмни склонове. За разлика от срутищата, големината на отделящите се и придвижващи се късове е значително по-малка – с размери на чакъл и пясък. Отделеният материал се натрупва в основата на склона.
- *Свлачища*. Тази група гравитационни премествания е твърде разнообразна, но най-общо се характеризира с преместване чрез хлъзгане на литоложките разновидности, изграждащи даден склон, като в по-голямата част не се губи контакта между хлъзгащата се и неподвижната част на склона. Процесът на хлъзгане възниква и се развива с различна скорост, когато тангенциалните сили превишат якостта на срязване в масива.
- *Лавини*. Те също попадат в групата на основните гравитационни премествания и възникват при хлъзгане и обрушване на снежни маси.

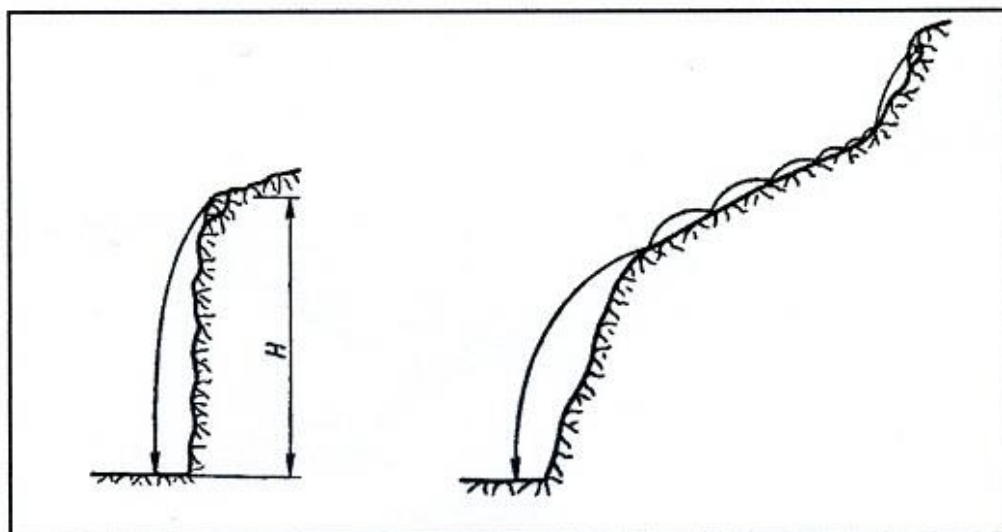
Освен основните типове гравитационни премествания съществуват сложни и преходни типове като: свлачище-срутище и срутище-свлачище. При тях има комбинация от двата типа гравитационни премествания. Според някои автори всички гравитационни премествания от типа на срутища, сипеи, свлачища, лавини и др. могат да се класифицират според засегнатия от тях обем на: малки – до 10 000 m³; средни – от 10 000 до 100 000 m³; големи – от 100 000 до 1 000 000 m³; много големи – от 1 млн. до няколко млн. m³ и грандиозни – десетки и стотици млн. m³.

Срутищните явления са два основни вида:

- *Обрушване*. Представлява падане на големи скални блокове от много стръмни, почти вертикални откоси, като по-голямата част от пътя си преминават по въздуха (Фиг. 17).
- *Типично срутище*. При тях придвижването на скалните блокове става по стръмни планински склонове. Обрушват се не само единични късове и блокове, но и по-големи скални маси, които при своето движение надолу се търкалят, преобръщат и разтрошават (Фиг. 18).



Фигура. 17. Обрушване на скални блокове



Фигура 18. Схема на придвижване на скалния материал по склона при обрушване и срутище

Срутищните явления създават постоянна опасност за живота и дейността на хората, а също и за целостта и нормалната експлоатация на съоръженията в такива райони. Основната причина за възникване на срутище е нарушаване на равновесието на скалните маси в откосите и склоновете. То се предизвиква главно от постоянно действащите тангенциални сили (една от компонентите на силата на тежестта) и временно или периодично действащи сили като: хидростатично налягане

на водата, запълваща празнините в скалния масив и сеизмично натоварване, възникващо при земетресения, взривни работи и вибрации от различни машини и др. Действието на тези сили предизвиква срутища тогава, когато твърди и относително твърди скали се разкриват на високи и стръмни склонове и откоси, и в резултат от изветрянето са в състояние, при което съпротивлението им на срязване не може да уравни външните сили. Напукаността е важна предпоставка за възникване на обрушвания и срутища. По степен на напуканост се отделят четири категории скали:

- Значително напукани и раздробени скали, при които се наблюдават средно 5-8 ясно изразени пукнатини по повърхността на 1 m от височината или дължината на дадено разсртие. В такива участъци срутищата са често явление.
- Средно напукани скали, при които се наблюдават 2-3 ясно изразени пукнатини на 1 m. Обрушванията и срутищата в такива участъци също са чести и имат достатъчно опасна разрушителна сила.
- Слабо напукани скали, при които се установяват 1-2 пукнатини на 2-3 m по разкритата повърхност. Срутищните явления в такива участъци са слабо опасни.
- Ненапукани, монолитни скали, при които не се наблюдават ясно изразени пукнатини.

Обрушвания и срутища възникват само в планински райони, със силно пресечен релеф, с високи и стръмни склонове, по стръмни откоси на изкопи и полуизкопи и в кариери със стръмни откоси. Разрушаващата сила на срутищата P е право пропорционална на масата на падащите скални късове M и на скоростта на тяхното падане V :

$$P = (M \cdot V^2)/2$$

Скоростта на свободно падащите тела зависи от височината, от която се обрушват. Следователно опасността от срутищни явления зависи не само от масата и размера на скалните късове, но и от височината на обрушване. От наблюдения на пътни участъци е установено, че обрушвания от височина 10-12 m и повече винаги предизвикват повреди и разрушения на пътното платно. Съществен фактор за възникване на

срутища е човешката дейност. Подкопаването на склонове, придаването на недопустимо стръмен наклон на откосите, несъобразен с посоката на напластяване, шистозността, ориентацията на пукнатините и други тектонски нарушения, извършването на несъобразени с условията взривни работи, незадоволителната ефективност на защитните съоръжения и други видове дейности създават благоприятни условия за възникване на обрушвания и срутища. Вероятността за възникването им трябва да се оценява въз основа на изучаване на комплекс от фактори. Първостепенно значение имат морфоложките особености на склона, условията на залягане и състава на литоложките разновидности, степента на изветряне и напуканост. Това изследване дава възможност да се направи качествена оценка на вероятността от проява на срутища. За да се повиши обективността на оценката е необходимо да се извърши картиране, фотограметрична снимка и зарисовка на застрашения участък, като тези дейности са изключително трудни в районите с развитие на срутища, поради недостъпността на склоновете и динамичността на процесите. Прогнозирането включва не само вероятността от възникване на срутище, но и определяне на зоната на неговото влияние. Размерът на тази зона може да се изчисли от разстоянието X_T , до което достигат падащите скални късове в основата на склона или откоса. За определяне на това разстояние са предложени редица емпирични формули, а за най-често срещаните в практиката откоси разстоянието X_T се определя от следната таблица (Табл. 13).

Таблица 13. Разстояние (m), до което достигат падащи скални късове в основата на откоси с различна височина и наклон (по Ломтадзе, 1977)

НАКЛОН НА ОТКОСА, °	ВИСОЧИНА НА ОТКОСА, m				
	12	20	30	40	50
90	3,5	6,0	12,0	12,0	15,0
80	3,5	5,5	8,0	11,0	14,0
70	3,0	5,0	7,5	10,0	13,0
60	2,5	4,5	7,0	9,0	12,0
50	2,5	4,0	6,5	8,5	11,0
40	2,5	4,0	6,0	8,0	10,0

Застрашеността от срутищни прояви на линейни съоръжения от типа на пътища, железопътни линии, електропроводи и др., разположени в основата на даден склон, може да се определи чрез т.нар. коефициент на опасност от срутища K_{OC} :

$$K_{OC} = X_{\phi}/X_T$$

където X_{ϕ} – ширина на фактически съществуващата или проектирана площадка (m).

При $K_{OC} > 1$, непосредствено обрушване на скални блокове върху съоръжението е малко вероятно, но при $K_{OC} < 1$ падането на скални маси върху съоръжението е неизбежно.

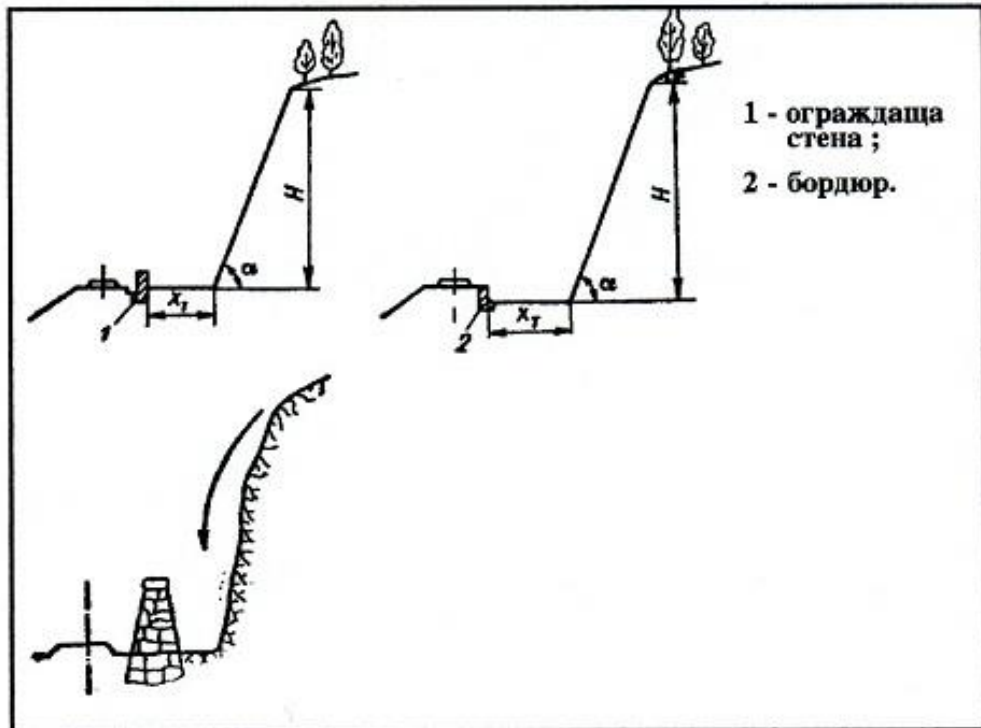
За по-конкретна оценка на опасността от срутища се препоръчва да се направи райониране на участъци с различна степен на застрашеност: силно застрашени; застрашени; слабо застрашени и незастрашени. Към *силно застрашените* се отнасят склонове, изградени от напукани скали и коефициент на опасност по-малък от 1. В този случай срутването може да предизвика аварии и закриване на движението за дълъг период от време. Към *застрашените* участъци се отнасят склонове, на които се разкриват скали със средна гъстота на напуканост, при които е възможно обрушване на неголеми обеми скална маса. Коефициентът на опасност е около 1 и падането на скални късове върху съоръжения разположени в основата на склона е твърде вероятно. В такива участъци е възможно възникване на аварии и разрушения. Към *слабо застрашените* участъци се отнасят склонове и откоси, които са напукани и по тях се образуват малки срутища. Коефициентът на опасност при тях е около и над 1,5 и попадането на скални отломки върху оценяваната площ или съоръжение е малко вероятно. *Незастрашени* са онези участъци, при които е изключено възникване на обрушвания и срутища, или участъци, на които е възможно тяхното образуване, но вследствие на полегатия склон или наличие на достатъчно широка площадка в основата му няма опасност за съществуващите или проектирани съоръжения. Коефициентът на опасност за такъв участък е значително по-голям от 1.

Защитните мероприятия са: профилактични и изграждане на специални съоръжения. Към *профилактичните мерки* се отнасят:

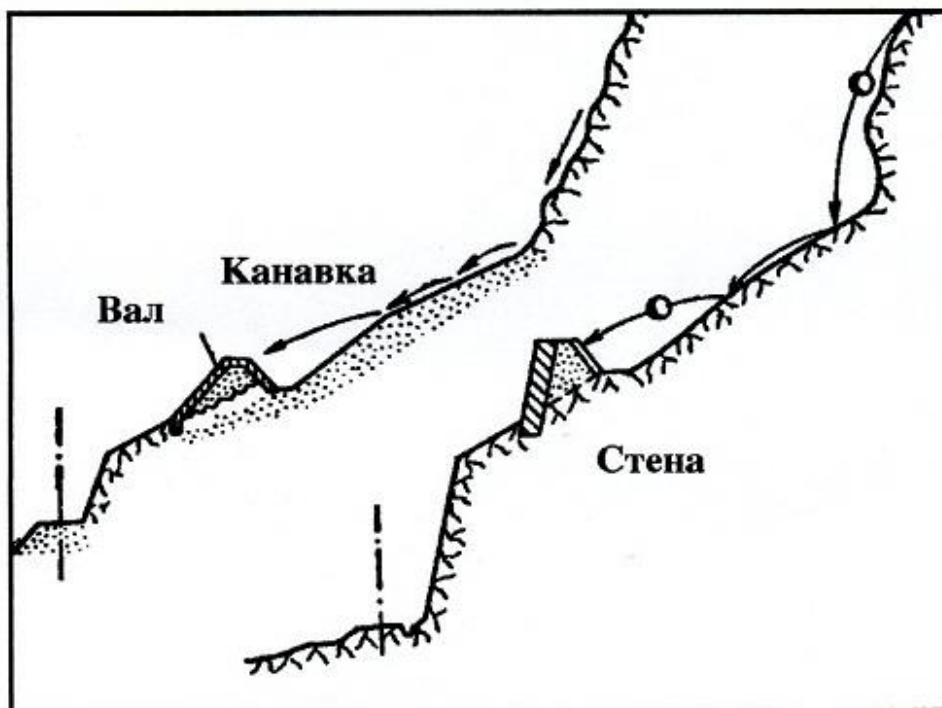
- Периодични наблюдения на застрашените участъци и съставяне на карти с точно очертано местоположение на най-опасните скални блокове.
- Организиране на служби по охрана и сигнализиране на опасността от срутищни прояви. Тук се включва създаването на светлинна, звукова и друга автоматична сигнализация по застрашените пътни и железопътни участъци.
- Провеждане на изкуствено обрушване на неустойчивите скални маси и отстраняването им от участъците, важни за човешката дейност.
- Периодичен ремонт и наблюдение на изградените противосрутищни съоръжения.

Най-често прилаганите *съоръжения за защита* от срутища са:

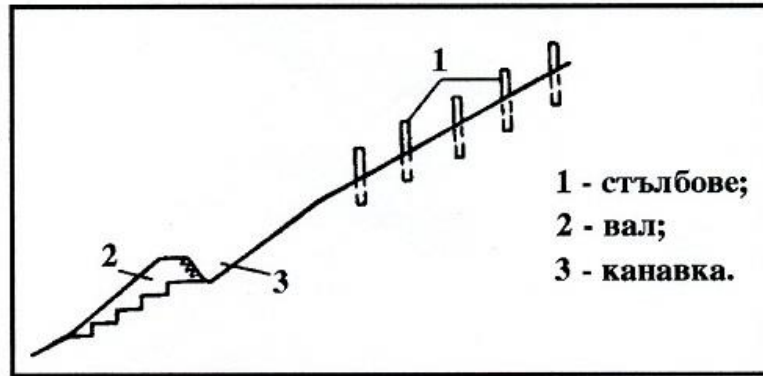
- Изграждане на стени и площадки в основата на склона или откоса за задържане на обрушените скални маси (Фиг. 19).
- Изграждане на преградни валове (насипи), стени и канавки по самия склон, които намаляват скоростта на придвижване и улавят част от обрушения материал (Фиг. 20).
- Шахматно разполагане на стълбове по склона за снижаване на скоростта на движение на скалните отломки (Фиг. 21).
- Облицовъчни стени и друг вид покрития за предпазване на скалните разкрития от бързо изветряне (Фиг. 22).
- Закрепване на неустойчивите скални блокове чрез анкери, стоманени болтове и др. (Фиг. 23).
- Циментация на напукания скален масив с цел да му се придаде монолитност и устойчивост.
- Изграждане на тунели и галерии в основата на склоновете за предпазване на пътното платно от срутваци се скални блокове, които понякога преминават защитното съоръжение (Фиг. 24).
- Поставяне на покривни предпазни телени мрежи при срутвания с по-малък обем.



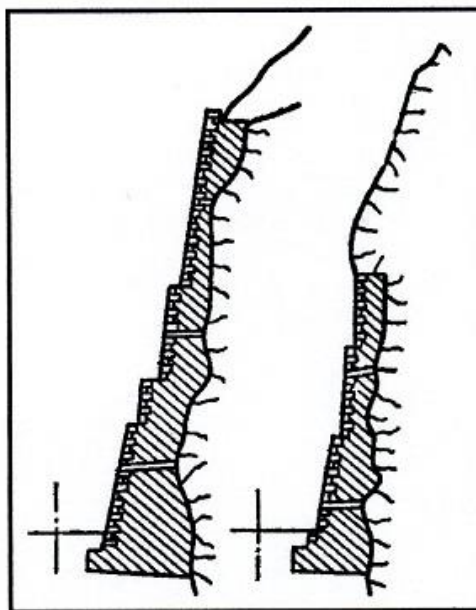
Фигура. 19. Стени и площадки за задържане на обрушена скална маса в основата на склона или откоса



Фигура 20. Преградни валове (насипи), стени и канавки по склона, намаляващи скоростта на придвижване на обрушения материал



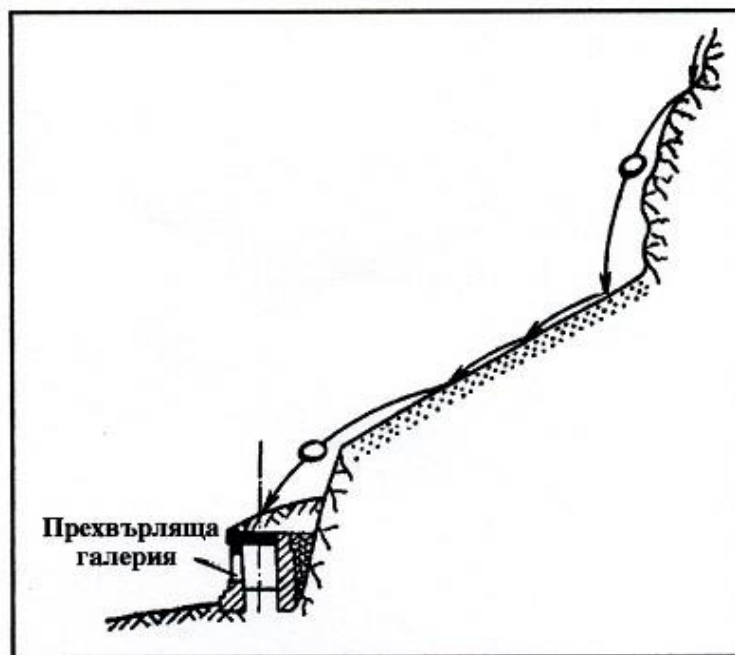
Фигура 21. Шахматно разполагане на стълбове по склона за снижаване скоростта на движение на обрушения материал



Фигура 22. Облицовъчни стени за предпазване на скални разкрития от изветряне



Фигура 23. Закрепване на скални блокове чрез анкери и стоманени болтове



Фигура 24. Изграждане на тунели и прехвърлящи галерии за предпазване на пътното платно

В някои случаи се прибегва до изграждане на ново трасе, заобикалящо застрашения участък. Най-ефективна е защитата от срутищни прояви, когато се прилага комплекс от мероприятия със съответна икономическа обосновка.

Сипеите се отличават от срутищата по по-малкия размер на скалните отломки, които се отделят и придвижват по склоновете. По съдържанието на късове с размери над 50 cm е направена следната клаификация на срутищата и сипеите:

- Срутище – късове с размери по-големи от 50 cm са повече от 75%.
- Сипей-срутище - късове с тези размери са между 50% и 75%.
- Срутище-сипей - късове с тези размери са между 25% и 50%.
- Сипей - късове с размери над 50 cm са по-малко от 25%.

По степен на подвижност сипеите се поделят на четири типа (Табл. 14). Коефициентът на подвижност се определя по формулата:

$$K = \alpha/\varphi$$

където α – ъгъл на повърхността на сипея;

φ – ъгъл на естествения откос (равновесие) за материала, изграждащ сипея.

Придвижването на сипеите зависи от наклона на склона и количеството на валежите. За бързото им придвижване благоприятстват обилните дъждове, бързото снеготопене, земетресенията, ерозионното или техногенното подрязване на склона и унищожаването на дървесната растителност.

Таблица 14. Подялба на сипеите по степен на подвижност

ТИП	ХАРАКТЕРИСТИКА НА СИПЕЯ	КОЕФИЦИЕНТ НА ПОДВИЖНОСТ
1	Подвижни (живи) сипеи	>1,0
2	Достатъчно подвижни сипеи, при които обикновено няма признаци на затихване	0,7-1,0
3	Слабо подвижни, затихващи сипеи, със слабо подхранване	0,5-0,7
4	Относително неподвижни и уплътнени сипеи, при които не се наблюдава постъпване на нов материал	<0.5

При изследването и описанието на сипеите особено внимание се обръща на областта на подхранване, областта на придвижване и на акумулация. Методите за оценка на устойчивостта на сипеите се определят от условията на формиране и динамиката в развитието им. В някои случаи са подходящи методи, прилагани за оценка устойчивостта на свлачищни терени, като се отчита факта, че съпротивителните сили в сипеите се определят предимно от триенето между отделните късове, т.к. между тях липсва сцепление. Според някои автори съществуват три стадия във формирането на сипеите:

- I. Стадий на интензивно разрушаване, при който наклонът на областта на подхранване е над 65° , растителност почти отсъства и сипеят е активен.
- II. Стадий на умерено разрушаване. Наклонът на областта на подхранване е 45° - 65° , като на места се появява растителност.
- III. Стадий на слабо разрушаване, при който наклонът на областта на подхранване е 30° - 45° , почти целият склон се покрива с растителност и става само отлющване на малки скални късове.

Някои от защитните мерки, които се предприемат в застрашените от сипеи участъци са:

- Терасиране на склоновете;
- Изграждане на подпорни стени и канавки;
- Поставяне на покривни телени мрежи;
- Строителство на прехвърлящи съоръжения;
- Укрепване чрез засаждане на подходяща растителност.

Лавините се разделят на три типа според релефа на терена, по който става придвижването им:

- Снежни свличания – движението става по повърхността на относително равен склон.
- Улейни лавини – снежните маси се придвижват по строго фиксирано русло.
- Скачащи лавини, при които на пътя им се появява участък с отвесни стени.

Скоростта на придвижване на лавините обикновено е от 16 m/s до 36 m/s, при наклон на терена 40° - 50° , но има и случаи когато достига 55 m/s. Когато снежната маса е оводнена, скоростта е значително по-малка – около 2-3 m/s. Разрушителното действие на лавините се дължи на ударната сила на снежната маса и предхождащата я въздушна вълна. С голямата разрушителна способност на въздушната вълна се обясняват големите поражения на сгради и съоръжения, които нанасят сравнително малки по обем лавини. Възникването на лавините се определя от следните фактори:

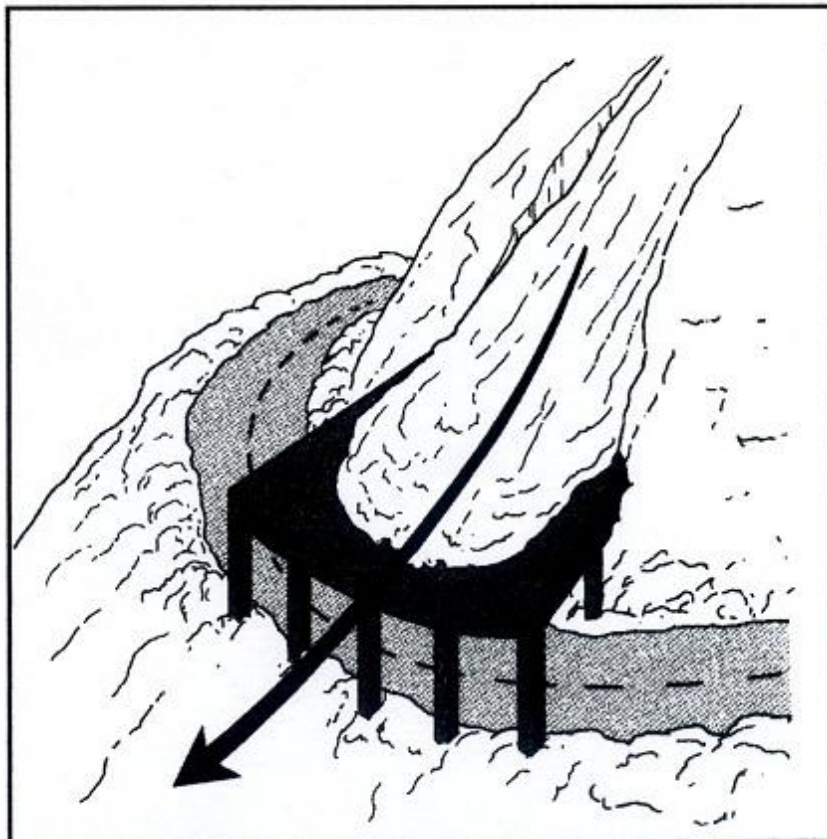
- Съотношението между наклона на склона и дебелината на снежната покривка. Повечето лавини възникват при наклон между 30° и 50° .
- Структурата на снега и неговата прекристализация в дълбочина, водеща до намаляване на сцеплението.
- Температурния режим в самата снежна маса и метеорологичните условия.
- Микрорелефа на теренната повърхност.
- Земетресения или техногенно предизвикани сътресения.

При своето движение снежните лавини може да въвлекат и някои елувиални и делувиални отложения, което допълнително увеличава

разрушителната им сила, като големината на удара може да достигне 1,3 MN/m².

Най-често прилаганите мерки за защита от лавини са:

- Съставяне на прогнозни карти за лавинната опасност.
- Изкуствено обрушване на снежните маси, най-често с помощта на взрив.
- Изграждане на съоръжения, които изменят пътя на движение на лавината, от типа на направляващите насипни съоръжения.
- Построяване на навеси, галерии и тунели, които пропускат лавините над защитаваните обекти (Фиг. 25).
- Поставяне на защитни огради и щитове.
- Залесяване и съхраняване на дървесната растителност в лавиноопасните участъци.



Фигура 25. Прехвърлящо снежните маси съоръжение (тунел, галерия или навес) (по Montgomery)

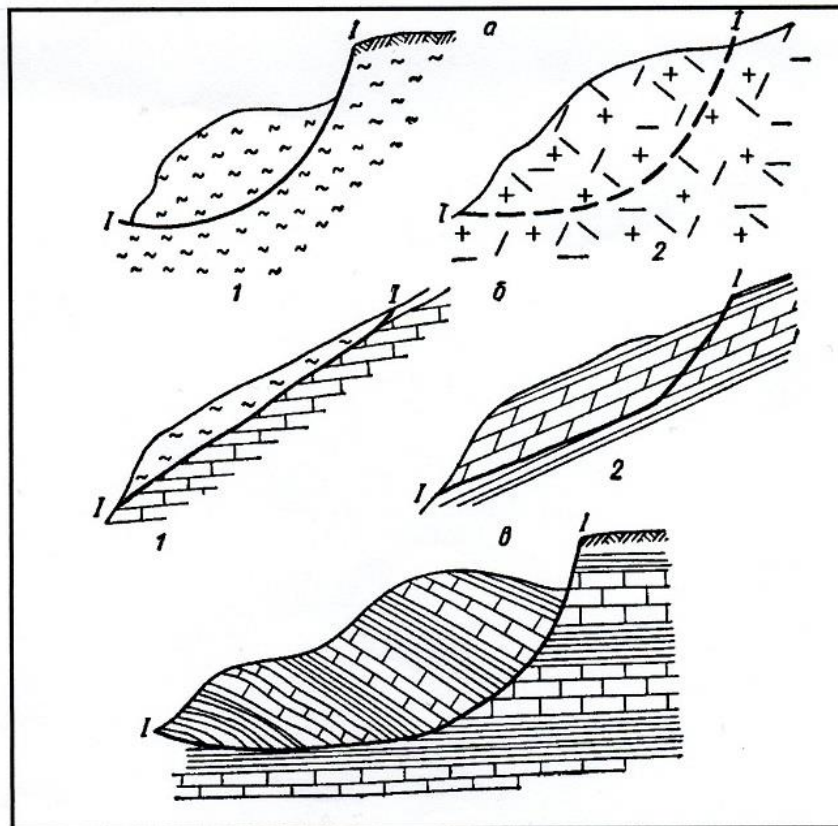
3.6. Свлачища – основни класификации, елементи на свлачището, обща оценка на устойчивостта и приложимост на изчислителните методи

Свлачищата са твърде разнообразни по своя размер, строеж, причини и условия на образуване, механизъм и динамика на процеса. Във връзка с това са предложени редица класификации на свлачищата. Едни от тях са по детайлни и отчитат няколко характерни признака, а други са съставени само въз основа на един признак. Засега не съществува една единна и всеобхватна класификация на свлачищата, която да се базира на точно и ясно определени признаци. По-известните класификации на свлачищата, които представляват методическа основа при тяхното изучаване, ще бъдат разгледани.

Класификацията на Павлов А. П. е съставена въз основа на характера на свлачищния процес, като свлачищата са разделени на два типа: *делапсивни* (хлъзгащи се) и *детрузивни* (тласкащи). Делапсивните свлачища възникват в долната част на склона и постепенно се развиват нагоре. Такива свлачища най-често се предизвикват от речна ерозия или при изкуствено подсичане в основата на склона. Детрузивните свлачища започват да се формират в горната част на склона, като откъснатите при свличането маси изтласкват лежащите пред тях и в основата на склона се формира свлачищен вал.

Класификацията на Саваренский Ф. П. е съставена на базата на два признака – строежа на свлачищния склон и положението и формата на хлъзгателната повърхнина. По тази класификация свлачищата са три типа (Фиг. 26). *Асеквентните свлачища* са образувани в склон, изграден от еднородни, неслоисти литоложки разновидности, т.е. по вид свлечените маси са еднакви с подложката. Формата на хлъзгателната повърхнина е близка до кръгово-цилиндрична, а положението ѝ зависи от големината на триенето и сцеплението на разновидностите. Най-често този тип свлачища се формират в склонове изградени от еднородни глинни. При *консеквентните свлачища* хлъзгането става по наклонена повърхност, предопределена от строежа на склона (повърхност на наслояване, пукнатини, разломна зона и др.). В склонове изградени от седиментни

скали, свличането може да стане по повърхнина на напластяване. Консеквентни са повечето свличания в делувия, при които хлъзгателната повърхнина преминава по границата между делувия и основната скала. *Инсеквентни* са свлацищата, при които хлъзгателната повърхнина пресича слоеве с различен състав. Обикновено формата е начупена, с по-стръмен горен участък и по-полегат долен.



Фигура 26. Типове свлацища по класификацията на Саваренский Ф. П.
 а – асеквентен; 1 – в еднородни глин; 2 – в напукани твърди разновидности;
 б – консеквентен; 1 – делувий върху основна скала; 2 – в моноклинално
 наклонени наслоени разновидности; в - инсеквентен

Саваренский е предложил и друга *класификация по дълбочина на хлъзгателната повърхнина* или зона. Според нея свлацищата са:

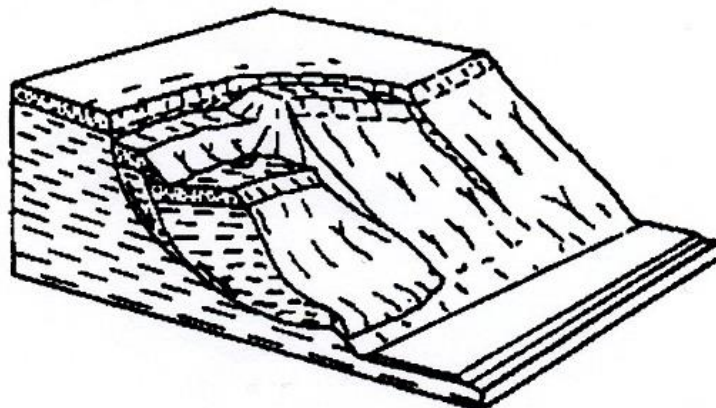
- Повърхностни – повърхността на хлъзгане е на дълбочина до 2,5 m.
- Плитки – хлъзгателната повърхнина е от 2,5 до 5 m.
- Недълбоки – от 5 до 10 m.
- Дълбоки – от 10 до 20 m.
- Много дълбоки – с дълбочина на хлъзгателната повърхнина повече от 20 m.

Класификацията на Попов И. В. е съставена според възрастта и фазата на развитие на свлачищата. Те са разделени на *съвременни* и *древни*. Съвременните свлачища от своя страна биват: движещи се (активни); временно преустановили своето движение и завършили своя активен стадий. Древните свлачища са поделени на: открити и погребани. Последните са покрити с по-късно отложени наслаги.

Класификацията на Варнес Д. Д. е най-често използваната класификация в европейските страни. Тя се отнася не само за свлачищните процеси, а и за срутищата и обрушванията, т.е. има претенциите да обхваща почти всички типове склонови движения. Основните критерии в тази класификация са: типа на движение и типа на литоложките разновидности. Според типа на движение, свлачищата са разделени в четири основни групи:

- *Свлачища на хлъзгане.*
- *Свлачища на изтласкване.*
- *Свлачища-потоци.*
- *Сложни свлачища.*

Първата група свлачища на хлъзгане са поделени от своя страна на: свличания чрез завъртане (*ротационни*) и *консеквентни* свличания. При ротационните свлачища движението се извършва чрез завъртане около точка, намираща се над центъра на тежестта на свличания се блок, по криволинейна хлъзгателна повърхност (Фиг. 27).

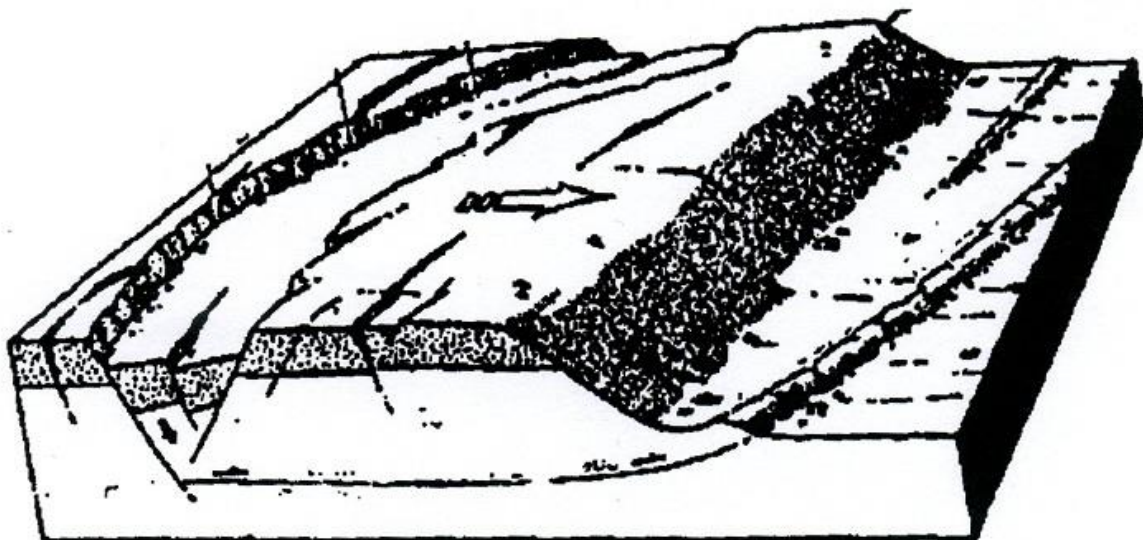


Фигура 27. Свличане чрез завъртане (ротационно)
по класификацията на D. Varnes

При консеквентните свличания движението става главно по плоска или леко вълниста повърхнина и в повечето случаи е обусловено от наличието

на слаба структурна зона, като тектонско разломяване, пукнатини, повърхнина на напластяване или наличие на слой с намалено съпротивление на срязване.

Втората група свлачища на изтласкване се формират предимно в склонове, изградени от скални или полускални разновидности, които залягат върху по-слаби глинни с ясно изразени пластични свойства. От скалните разновидности се откъсват отделни блокове, които се хлъзгат по пластичните зони. Хлъзгателната повърхнина обикновено е на голяма дълбочина и засегнатите от свличането обеми са твърде внушителни (Фиг. 28). Примери за такъв тип склонови движения са свлачищата в открития рудник „Трояново-2” и някои от свлачищата по Северното Черноморско крайбрежие.



Фигура 28. Свлачище на изтласкване по класификацията на D. Varnes

В третата група на свлачищата-потоци се разграничават два подтипа: възникващи в скални разновидности и такива в почвени разновидности като глинни, пясъци и лъос. При скалните разновидности се развиват пространствено непрекъснати деформации под формата на повърхностно или дълбочинно пълзене. Движенията са изключително бавни и протичат обикновено без ускорение. При почвените разновидности движението наподобява това на вискозните течности. Хлъзгателни повърхнини най-често не се установяват или съществуват за твърде кратко време. Движенията са от изключително бързи до много бавни. В делувиални склонови материали, изградени от разнородни по състав почви,

свлачищата-потоци обикновено са много бързи. При интензивни валежи или бързо снеготопене подобни свлачища-потоци може да се превърнат в кално-каменни порои. При увеличаване на водното съдържание и промяна в консистенцията и/или сеизмично въздействие възникват типични свлачища-потоци в прахово-песъчливи материали и в чувствителни глини.

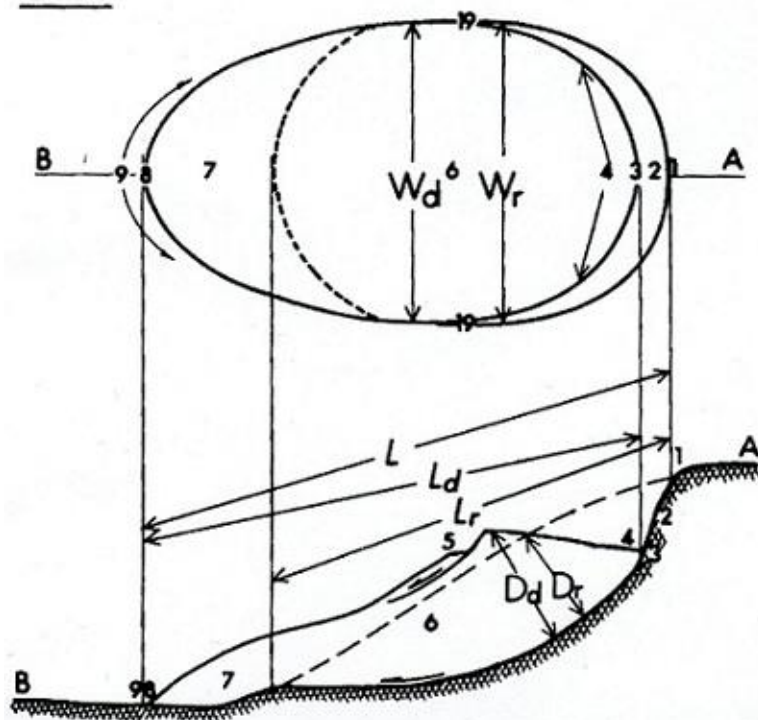
В отделна група Варнес отделя т.нар. сложни свлачища. При тях движението е съчетание от описаните основни механизми на движение. Много голяма част от свлачищата попадат в тази група, въпреки че в отделни части от тях или в определен период от време преобладава само един механизъм на движение.

Вторият основен критерий в класификацията на Варнес е типа на литоложките разновидности. Те са групирани в две основни групи: *скални* и *нескални*. В групата на нескалните се разграничават несвързани отломъчни почви (чакъли и пясъци с различна големина) и свързани почви (лъсови и различни по състав глинести разновидности). В класификацията на Варнес е дадена и скала, по която се определя скоростта на движение при свлачищата. В зависимост от стойностите на тази скорост се оценява и вида на движението:

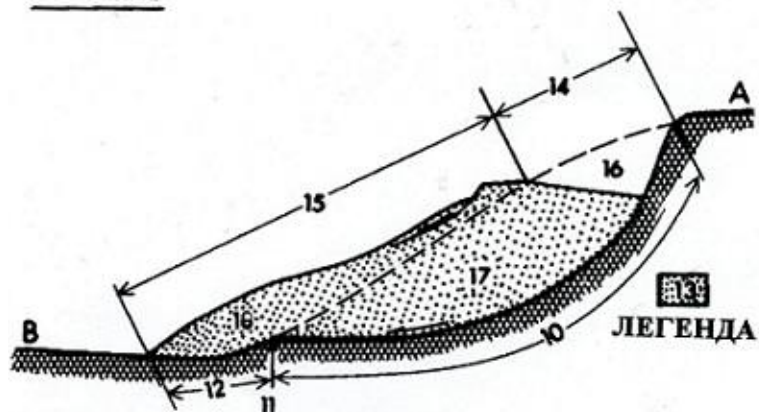
- При повече от 3 m/s – движението е изключително бързо;
- От 3 m/s до 0,3 m/min – движението е много бързо;
- От 0,3 m/min до 1,5 m/24h – бързо;
- От 1,5 m/24h до 1,5 m в месец – умерено;
- От 1,5 m в месец до 1,5 m годишно – бавно;
- От 1,5 m годишно до 0,06 m годишно – много бавно;
- При по-малко от 0,06 m годишно движението на едносвлачище се определя като изключително бавно.

Във връзка с използването на различни термини при определянето на един и същи елемент от свлачищата, през 1990 г. от Комисията по свлачищата при Международната асоциация по инженерна геология (IAEG) е предложена унифицирана номенклатура за описанието на елементите на свлачището на примера на едно ротационно свлачище (Фиг. 29).

ПЛАН



РАЗРЕЗИ



Фигура 29. Елементи на ротационен тип свлачище по номенклатурата на IAEG

- 1) *Корона, вежда (Crown)* – най-горната част от незасегнатия от свличането откос. Това е непреместеният материал, който си стои все още на мястото и е в непосредствена близост до главния отстъп.
- 2) *Главен отстъп (Main scarp)* – това е стръмната повърхност върху ненарушения материал в най-горния ръб на свлачището, оформена от движението на свличащия се материал и отдалечаването му от ненарушения материал.

- 3) *Врђх (Top)* – най-високата точка от контакта между преместения материал (13) и главния отстъп (2).
- 4) *Глава (Head)* – най-горните части от свлачището покрай контакта между преместения материал и главния отстъп (2).
- 5) *Второстепенен отстъп (Minor scarp)* – стрђмна повърхност върху преместения материал от свлачището, оформена вследствие на неравномерни движения в обсега на свлачищите се маси.
- 6) *Основно тяло (Main body)* – частта от преместения материал от свлачището, която покрива (заляга над) свлачищната повърхнина между главния отстъп (2) и долния край (петата) на свлачищната повърхност (11).
- 7) *Пета (Foot)* – частта от свлачището, която се е придвижила извън (зад, след) долния край (петата) на свлачищната повърхнина (11) и покрива първоначалната земна повърхност.
- 8) *Край (Tip)* – точката от долния край (граница) на свлачището (9), която е най-отдалечена от върха (3) на свлачището.
- 9) *Долен край (Toe)* – ниският, обикновено извит край на преместения материал от свлачището. Той е и на най-голямо разстояние от главния отстъп (2).
- 10) *Свлачищна повърхнина (Surface of rupture)* – това е проекцията на повърхнината на главния отстъп (2) под преместения от свлачището материал.
- 11) *Долен край, граница, пета на свлачищната повърхнина (Toe of surface of rupture)* – пресичането (понякога може да е покрито с материал) между най-ниската част от свлачищната повърхнина (10) и първоначалната земна повърхност.
- 12) *Разделителна повърхнина (Surface of separation)* – частта от първоначалната земна повърхност покрита от петата на свлачището (7).
- 13) *Преместен, свлечен материал (Displaced material)* – материал преместен от първоначалното му положение в склона чрез движението на свлачището.

- 14) *Зона на пропадане, потъване, понижение (Zone of depletion)* – частта от свлачището, в обсега на която преместения материал (13) заляга под първоначалната земна повърхност.
- 15) *Зона на акумулация, натрупване (Zone of accumulation)* – частта от свлачището, в обсега на която преместения материал се натрупва над първоначалната земна повърхност.
- 16) *Обем на пропадане, потъване (Depletion)* – обема ограничен от главния отстъп (2), пропадналите маси (17) и първоначалната земна повърхност.
- 17) *Пропаднали маси (Depleted mass)* – част от преместения материал, който покрива свлачищната повърхнина (10), но попада под първоначалната земна повърхност.
- 18) *Обем на акумулация (Accumulation)* – обемът преместен материал (13), който заляга над първоначалната земна повърхност.
- 19) *Страничен контур, фланг, борд (Flank)* – това е страничната граница на свлачището. При описанието на страните е за предпочитане да се използват посоките на компаса, но в случай че те се описват като лява и дясна страна, това трябва да стане чрез оглед от най-горната част на незасегнатия от свлачището откос.

Размерите на едно свлачище са:

- Дължина на свлачищната повърхнина L_r . Това е разстоянието от долния край на свлачищната повърхнина (11) до най-горната част на незасегнатия от свлачището откос (1).
- Дължина на преместените маси L_d . Това е разстоянието от края (8) до върха на свлачището (3).
- Обща дължина L . Тя представлява разстоянието от края на свлачището (8) до горната част на незасегнатия от свлачището откос (1).
- Широчина на свлачищната повърхнина W_r . Това е максималната широчина между страните на свлачището, перпендикулярна на дължината на свлачищната повърхнина L_r .
- Широчина на преместените маси W_d , която представлява максималната ширина на преместените маси, перпендикулярна на дължината им L_d .

- Дълбочина на свлачищната повърхнина D_r . Това е максималната дълбочина на свлачищната повърхнина под първоначалната земна повърхност, измерена перпендикулярно на нея.
- Дълбочина на преместените маси D_d . Представлява максималната дълбочина на преместените маси, измерена перепендикулярно на свлачищната повърхнина.

Количествената оценка за степента на устойчивост на склоновете се смята за най-обективна, когато се използва някой от многобройните изчислителни методи, въпреки че са известни много случаи, когато такава оценка може да се направи едва след като е настъпило свличането. Тази безпомощност на изчислителните методи не се дължи на тяхната теоретична неточност, а по-скоро на несъответствието им с разнообразната природна обстановка и неотчитането на някои важни природни фактори в изходните изчислителни схеми. Локалната количествена оценка на устойчивостта на склона се състои в решаване на равнинна статическа задача, при която се разглеждат условията за равновесие. Основният количествен показател, характеризиращ устойчивостта на склона е *коэффициента на сигурност* F . Някои автори го наричат коефициент на устойчивост. Най-общо този коефициент F представлява отношение между съпротивителните (задържащите, пасивните) сили ΣR към активните сили ΣA , или отношение на техните моменти спрямо определен център на въртене. Определянето на съпротивителните и активните сили практически се извършва, като тялото на свлачището се разделя на отделни ламели и за всяка ламела поотделно силата на тежестта G се разлага на съставлящите я тангенциална T и нормална N компоненти (Фиг. 30).

Сумата от съпротивителните сили ΣR се определя от израза:

$$\Sigma R = \Sigma \text{tg}\varphi_i \cdot G_i \cdot \cos\alpha_i + C_i \cdot l_i$$

където φ_i - ъгъл на вътрешно триене за всяка отделна ламела;

C_i – кохезия за всяка ламела;

G_i – тегло на отделната ламела;

l_i – дължина на ламелата;

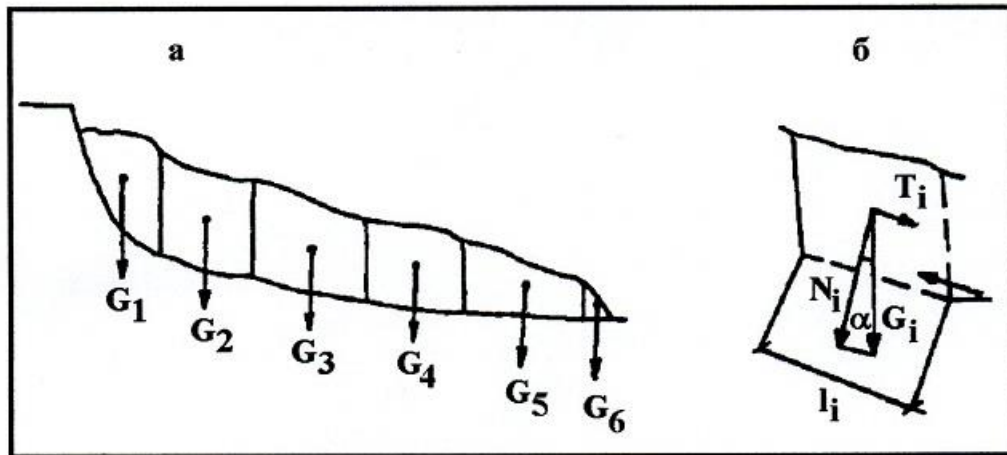
α_i – ъгълът, заключен между вектора на силата на теглото G_i и неговата нормална компонента N_i .

Сумата на активните сили ΣA се определя от тангенциалната компонента T_i на силата на тежестта и е равна на:

$$\Sigma A = \Sigma G_i \cdot \sin \alpha_i$$

Формулата за коефициента на сигурност придобива следния вид:

$$F = (\Sigma \operatorname{tg} \varphi_i \cdot G_i \cdot \cos \alpha_i + C_i \cdot l_i) / (\Sigma G_i \cdot \sin \alpha_i)$$



Фигура 30. Схематично разделяне на свлачищното тяло на ламели (а) и схема на действащите сили в една ламела (б)

Всички природни или изкуствени фактори, свързани с устойчивостта на склона и проявата на свличане влияят върху абсолютната стойност на коефициента на сигурност и предизвикват неговото намаляване във времето. Когато $F > 1$, тялото на свлачището се намира в устойчиво състояние, а при $F < 1$ – в неустойчиво. При $F = 1$ свлачището е в състояние на гранично равновесие. В случай, че разгледаме един типичен прогресивно развиващ се свлачищен процес, преди деформиране на откоса коефициентът на сигурност е по-голям от 1. В началния период на бавно деформиране, свлачището е в състояние близко до граничното равновесие и $F \approx 1$, а по време на интензивното свличане $F < 1$. Непосредствено след самото свличане, в етапа на затихване, коефициентът отново се увеличава над 1. Абсолютната стойност на коефициента на сигурност е трудно определяема при непроявени свлачища и без установена свлачищна повърхнина. Голяма част от известните изчислителни методи имат очевидни недостатъци, но прилагането им е

полезно при анализа на влиянието на различните фактори и причини за възникване на свлачището. Прието е, че повечето методи включтелно и по-приблизителните дават обективна количествена оценка на устойчивостта, ролята на евентуалните укрепителни мероприятия и ефекта от тяхното прилагане. За свлачищно опасни склонове и откоси, с установявана по изчислителен път свлачищна повърхнина, се използва успешно хипотезата за нейната кръгово-цилиндрична форма. В този случай се прилагат методите на Терцаги, Тейлор, Бишоп, Маслов и др. В случаите на активни свлачища, с проявена и изяснена свлачищна повърхнина или при свлачища с фиксирана при инженерногеоложкото проучване повърхнина се използват изчислителните методи на Шахунянц, Маслов-Берер, Янбю и др. Всички изчислителни методи имат както предимства, така и недостатъци. Например, методите използващи кръгово-цилиндрична повърхнина дават достоверно формата на свлачищната повърхнина само в горната част, докато в дълбочина действителната форма е по-сложна. Голямо влияние оказват изходната изчислителна схема, напрегнатото и деформационното състояние на масива и най-много достоверността на приетите якостни показатели на почвата в зоната на свлачищната повърхнина. Липсва математичен метод за точно очртаване на най-вероятната форма и място на тази повърхнина при свлачища, при които не е фиксирана. По-точното и пълно отразяване на целия комплекс от разнообразни природни фактори може да компенсира неточностите на съществуващите изчислителни методи. Критерий за проверка на приложимостта на даден изчислителен метод е изпробването му в реални условия на активно свлачище. Удобен случай за оценка ефективността на метода и включените в изчисленията природни фактори е съпоставката на изчислителните резултати с действителното състояние на склона при проявено свличане и фиксирана повърхнина на свличане. Често намаляването на устойчивостта се свързва само с понижена якост на срязване, без да се отчитат неизбежното стареене, пълзене и структурните изменения в масива с течение на времето. Внезапно проявено свличане може да се предшества от дългогодишни реологични деформации.

3.7. Механизъм на свлачищния процес, причини за нарушаване равновесието в склонове и откоси и последствия от свлачищните прояви за геоложката жизнена среда

Механизмът на свлачищния процес в подготвителния стадий на влошаване на общата устойчивост на склона, който понякога продължава с години, преминава през следните фази:

- Условно еластично поведение на целия масив, с бързо затихващи деформации.
- Еластично-пластично състояние на свлачищното тяло, като в отделни затворени участъци срязващите напрежения достигат граничното почвено съпротивление, а в горната част нарастват опънните усилия, с поява на пукнатини.
- Фаза на пълзене или бавно нарастващи деформации в обширни участъци, намиращи се в пластично състояние и развитие на нови пукнатини в главата на свлачището. Свлачищното тяло е в гранично равновесие.
- Фаза на главното преместване на свлачището.

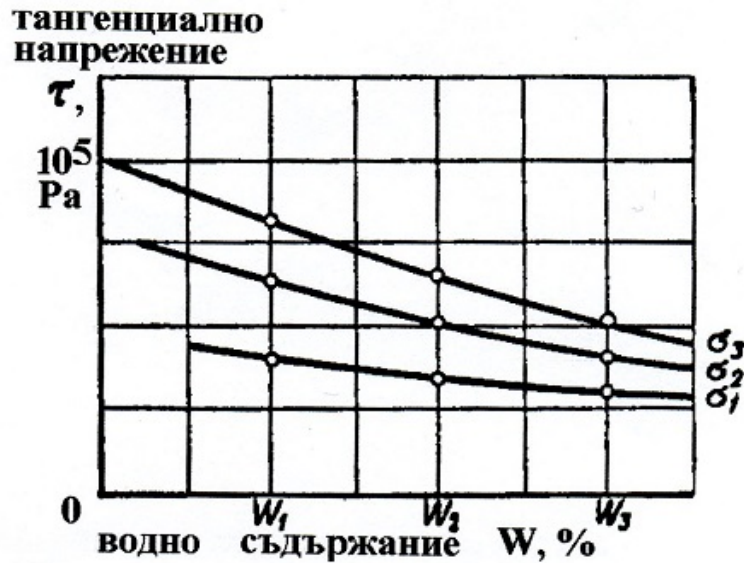
Когато напреженията в зоната на бъдещата свлачищна повърхнина достигнат по стойност якостта на почвата, започва прогресивно разрушаване. То се изразява в бързо намаляване на якостта на срязване в зоната на хлъзгане (от върхова до остатъчна стойност) и съответно скокообразно намаляване на коефициента на сигурност, предизвикващо механично преместване и завъртане спрямо основната здрава почва. В отделните части на свлачищното тяло преместванията са различни. При това напреженията се преразпределят, както в тялото на свлачището, така и в непреместените разновидности под него. Общото равновесие се възстановява и коефициентът на сигурност става по-голям от 1. Следват по-малки деформации в тялото на свлачището и възстановяване на локалните условия на равновесие. Описаният механизъм на свлачищния процес е най-често цикличен, със сложна периодична повторемост

(сезонна, многогодишна и др.) и с обратими колебания на коефициента на сигурност.

Основните причини за нарушаване на равновесието на даден склон са следните:

- ✓ *Значителният наклон на склона или откоса*, при еднакви други условия, е една от съществените причини за възникване на свлачищни процеси. Например, ако имаме един склон, в който основната скала е покрита с делувиална пясъчлива глина, с якостни показатели - $\varphi=18^{\circ}$ и $C=0,8 \cdot 10^5$ Pa, и тегло на делувиалния слой – 100 t. Изчислявайки коефициента на сигурност за този склон при различни ъгли на наклона (от 11° до 45°) ще установим, че при ъгли на наклона равни и по-големи от 21° този склон е неустойчив, т.к. $F < 1$. При намаляване на наклона до 19° коефициентът на сигурност става около 1, което означава че склонът е в състояние на гранично равновесие. За още по-полегати ъгли на наклона склонът е устойчив. Естествените склонове винаги се стремят към достигане на равновесно състояние, т.е. към наклон близък до ъгъла на естествения откос за изграждащите склона разновидности. Процеси като речната ерозия, абразията или изкуственото подсичане при изкопни работи и при разработка на кариери увеличава стръмнината и по този начин намалява общата устойчивост.
- ✓ Втората основна причина за нарушаване равновесието на един склон е *намаляване на якостта на изграждащите го разновидности* вследствие на изменения във физичното им състояние при навлажняване, набъбване, разуплътняване, изветряне, нарушаване на естествения строеж и развитие на процеса на пълзене (бавно деформиране във времето). Най-често се наблюдава изменение във физико-механичното състояние на почвите при повишаване на водното им съдържание вследствие на проникване на повърхностни или подземни води. Навлажняването увеличава теглото на почвите

и съответно действието на гравитачните сили. Това се съпровожда и с отслабване на структурните връзки и промяна в консистенцията на почвите – до пластична и даже течна, и съответно понижаване на якостта на срязване. На Фиг. 31, която е характерна за всяка глинеста почва, е показано понижението на напрежението на срязване τ с увеличаване на водното съдържание W . Някои глинести разновидности имат свойството силно да набъбват, при което обемът им може да се увеличи с около 25-30%. Вследствие на набъбването, структурните връзки може още повече да отслабнат, консистенцията да се влоши и съпротивлението на срязване да се понижи. Многобройните наблюдения показват тясна връзка между периодите на интензивни свлачищни премествания и периодите на обилни и продължителни валежи, високото водно ниво във водоемите и разнообразните форми на проява на подземните води. Процесът на изветряне оказва голямо влияние върху изменението на физико-механичните свойства на скалите и почвите. В планинските области многобройни свлачищни прояви са свързани с елувиалните наслаги. Периодичното навлажняване-изсъхване и замръзване-размръзване води до нарушаване на естествената структура и нейното разуплътняване, и понижаване на якостта и устойчивостта. Полускалните и глинестите разновидности имат способността да изменят якостта си и да се деформират във времето. При изследване на причините за възникване на едно свлачище трябва да се отчитат и реологичните свойства, които се проявяват като: пълзене, релаксация и снижаване на якостта. Извършените изследвания показват, че намаляването на якостта във времето за различни полускални и глинести разновидности може да достигне 70% от якостта установена при бързо срязване и 10-50% от якостта при бавно срязване.



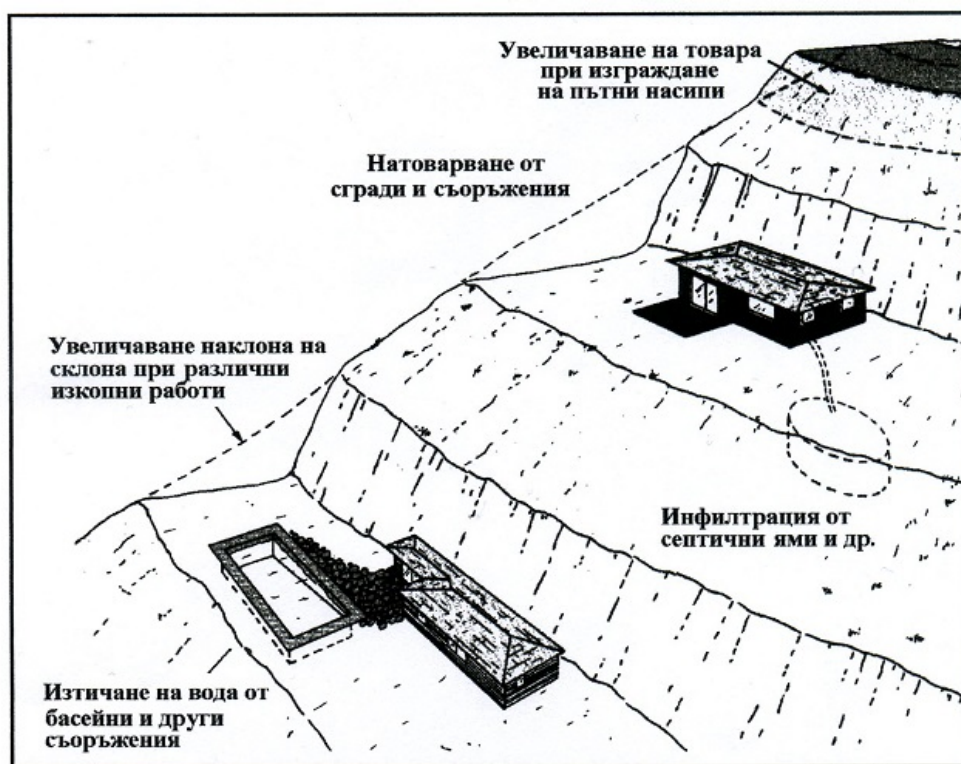
Фигура 31. Зависимост между тангенциалното напрежение и водното съдържание за глинеста почва

- ✓ Третата основна причина за възникване на свлачища е действието на *хидростатичния и хидродинамичния натиск*, които предизвикват развитието на т.нар. филтрационни деформации. Ролята на тези сили, влияещи върху изменението на напрегнатото състояние на масива е непостоянна и нееднаква, но в отделни периоди от време може да е твърде значима за някои свлачищни участъци. Например, при повишаване на водното ниво в долната част на един склон или откос, част от изграждащия го материал попада под вода, вследствие на което теглото му намалява и е възможно да се окаже недостатъчно за задържане на отгоре лежащите земни маси. След като са загубили опората си, те започват да се преместват и хлъзгат надолу по склона. Разновидностите, намиращи се под вода намаляват нормалното ефективно напрежение по съществуващата или потенциалната свлачищна повърхнина, в резултат на което намалява съпротивлението на срязване на почвите и е възможно склонът да се окаже в неустойчиво състояние. Под въздействие на хидростатичните сили възникват свлачища по склоновете на водохранилища след тяхното запълване. Известни са случаи, когато стари стабилизирани свлачища по склонове на речни долини отново

се активизират след изграждане на водохранилище в този район. Голяма е ролята на хидродинамичния натиск за нарушаване равновесието в склонове и откоси. Хидродинамичният натиск е по посока на движение на филтрационния поток и е толкова по-голям, колкото е по-ниска водопрпускливостта на геоложката среда. В периоди на рязко изменение на напорния градиент, хидродинамичният натиск може да стане причина за загуба на устойчивост и възникване на свлачища.

- ✓ Четвъртата основна причина е *изменение в напрегнатото състояние на скалите и почвите*, изграждащи склона или откоса. При естественото си залягане почвите се намират в едно или друго напрегнато състояние, уравновесено от вътрешните сили действащи в масива. При промяна на условията обаче, е възможно напреженията в масива да отслабнат и да се разсеят. Например, разтоварване на скалите и почвите настъпва под действие на речна ерозия, при направа на изкопи, разработка на кариери и др. При скалните и отчасти при полускалните разновидности, това разтоварване довежда до разширяване на скритите и закритите пукнатини и до поява на нови. Пукнатините на разтоварване най-често се развиват успоредно на теренната повърхност на склона, като формират повърхнини или зони на отслабване. В близост да тази повърхност те са повече и по-добре изразени, а в дълбочина стават по-редки и незабележими. Пукнатините на разтоварване винаги са ориентирани неблагоприятно за устойчивостта на склона и често по тях става придвижване на земни маси. При някои полускални и при повечето глинести разновидности, разуплътняването е съпроводено с хидратация и набъбване. Настъпване на такива изменения в основата на склона, т.е. в неговата пасивна част, води до намаляване на якостта и съответно общата устойчивост на склона.
- ✓ Петата причина за нарушаване на равновесието на един склон е *претоварването* му и особено в участъците в непосредствена

близост до главата и главния отстъп на свлачището, *сеизмичното въздействие и други външни статични и динамични дълговременни и кратковременни сили въздействия*. Строителството на сгради и съоръжения върху склонове, складирането на материали, прокарването на пътища, действието на различни машини създаващи вибрации и взривните работи като правило понижават устойчивостта и може да доведат до свличане на земни маси (Фиг. 32). Огромно е влиянието на земетресенията върху устойчивостта, като често те са причина за възникване на свлачища.

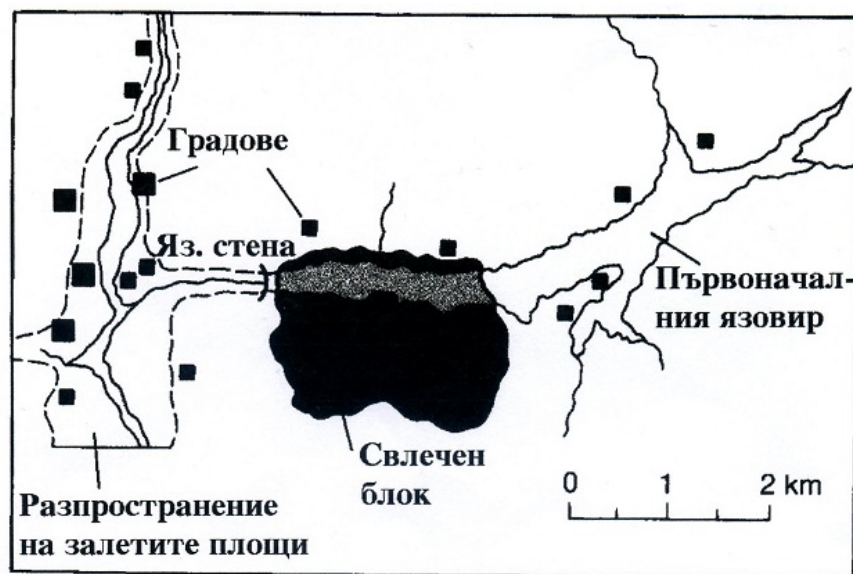


Фигура 32. Ефекти от строителните дейности и претоварване на склона върху неговата устойчивост (по Montgomery)

Свлачищните прояви са събития обикновено по-малко разрушителни и с по-малко загуби от някои други катастрофални процеси и явления като земетресения, наводнения и др., но свлачищата са широко разпространени и сумарните загуби от тях са твърде значими. Немалка част от разрушенията и загубите от земетресения и наводнения се дължат на успоредно възникващите с тях свлачища. Съществуващите данни показват, че само в САЩ ежегодните материални загуби от свлачищни

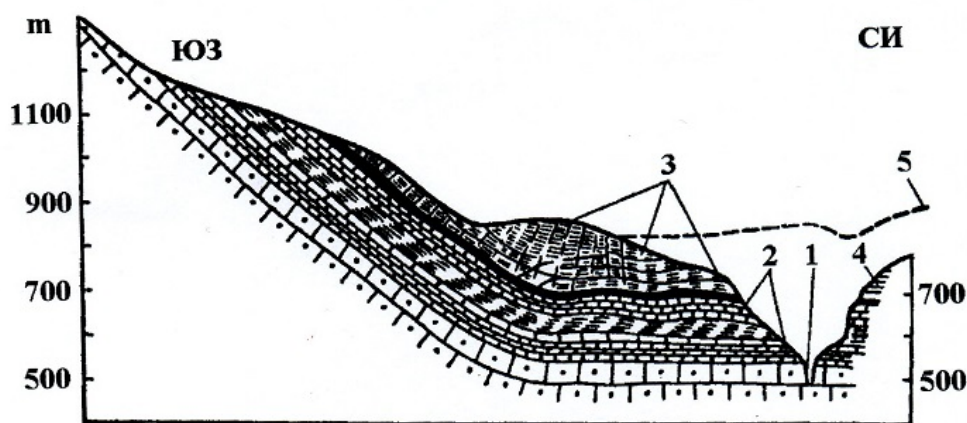
прояви са около 1 млрд. долара. Строителството на съоръжения и тяхната експлоатация в райони с разпространение или вероятно възникване на свлачища е сложен проблем. В отделни райони свлачищата съществено изменят релефа, унищожават селскостопански земи, нарушават устойчивостта на съоръжения, сгради, пътища, канали, а понякога разрушават цели комплекси от съоръжения и населени места, като предизвикват не само големи материални щети, но и човешки жертви.

Примерите за катастрофални свлачищни прояви са много. Такова е грандиозното свличане в Перуанските Анди, където освен големи материални загуби загиват десетки хиляди хора. В Европа най-разрушителното свлачище е станало на 9 октомври 1963 г. на брега на язовир „Вайонт“ в Северна Италия. Язовирната стена е една от най-високите дъгови стени в света - 265,5 m. От лявата страна на каньонообразната долина са се придвижили свлачищни маси с обем около 250 млн. m³ и са попаднали в чашата на водохранилището. Скоростта на движение на свлачището е била от 15 до 30 m/s. Свлачището е предизвикало значителни сеизмични трусове, регистрирани във Виена и Брюксел. При падането на свлечените маси се е образувала вълна, която на десния бряг е била с 260 m над водното ниво в язовира. Последвалите вълни, които са прехвърлили язовирната стена са достигнали височина до 100 m над най-високата ѝ кота. Устремилният се по долината воден поток е залял 5 селища, при което са загинали около 3000 човека (Фиг. 33).



Фигура 33. План на залетите селища вследствие на свлачището при язовир „Вайонт“, Северна Италия (по Montgomery)

Катастрофата от момента на възникване на свлачището до пълното разрушаване на обектите в най-ниската част е продължила не повече от 7 минути. Самата язовирна стена е издържала на огромното натоварване и досега стои незасегната на мястото си. Причината за тази катастрофа са неблагоприятните геоложки условия в зоната на водохранилището, които не са били добре изяснени в процеса на проучването. Каньонообразната, дълбоко врязана долина на реката е изградена от дебел пласт средноюрски дебелослойни варовици и тънкослойни варовици и мергели с глинести прослойки, с възраст горна юра и долна креда. В най-горната част на склона тези отложения са покрити с тънки кватернерни наслаги (Фиг. 34). Варовиците са силно разломени, напукани и западат стръмно към реката. Съществуват тектонски зони със силно надробен материал. Всичките тези тектонски елементи са неблагоприятно ориентирани и са способствали отделянето и свличането на огромни маси. Стръмните склонове също са допринесли за проявата на значителни гравитационни сили. На свличането определено въздействие е оказало изкуственото повишаване на нивото във водохранилището и намаляване якостта на почвите, предизвикано от допълнителното им навлажняване. Още преди катастрофата е имало бавни гравитачни движения, на които не е било обърнато необходимото внимание.



Фигура 34. Схематичен геоложки разрез при язовирната стена „Вайонт”
(по Мюлер и Бриоли)

1 – дебелослойни варовици (J_2); 2 – тънкослойни варовици и мергели с глинести прослойки (J_3); 3 – тънкослойни варовици и мергели (K_1); 4 – земна повърхност до възникване на свлачището; 5 – теренна повърхност след проява на свлачището

Едно от най-големите свличания в съвременната история е станало през 1911 г. в Памир. Свлочището е възникнало след силно земетресение и обема на свлечените маси е бил около 2,5 млрд. m³. По пътя си тези маси напълно разрушават едно селище, в което загиват 54 човека. Свлеченият материал прегражда една речна долина, в резултат на което се образува езеро, дълго около 54 km и дълбоко около 300 m. Япония е страна, която наред с другите геоложки опасности е силно засегната и от склонови процеси. Само за периода 1969-1972 г. от свлочища са разрушени около 7500 сгради, а човешките жертви са 520. Нашата страна също е засегната от свлочищни процеси. Над 1300 свлочища засягат 350 населени места, още толкова има по пътища, железопътни линии и открити рудници. Не е известно колко са в горските, селскостопанските и други площи, където също нанасят щети. Заради разрушителни свлочищни прояви са изселени 9 села, сериозно са засегнати 12 града, като за укрепването само на Балчик бяха предвидени около 450 млн. лева по цени от 1991 г. Огромни по обем свличания съпътстват открития добив на въглища в Източномаришкия басейн. Само проявеното през 1987 г. свлочище засяга 13 млн. m³ земна маса и въглища, като са нанесени сериозни преки и косвени загуби от разрушени комуникации, недобити въглища, затруднено електропроизводство и др. Голямото свличане в района на курортния комплекс „Златни пясъци” и Овчаровския плаж през 1997 г. нанесе не само значителни материални щети, но взе и човешка жертва. Изброените неблагоприятни последствия за геоложката жизнена среда от свлочищата показват, че в засегнатите райони трябва постоянно да се извършват режимни наблюдения и изследвания, профилактична дейност и изграждане на разнообразни противосвлочищни конструкции.

3.8. Основни противосвлочищни мероприятия

В съвременната практика на борба със свлочищата най-често се прилагат следните групи мероприятия:

- ✓ Регулиране на повърхностния отток.
- ✓ Дрениране на оводнения свлочищен склон.

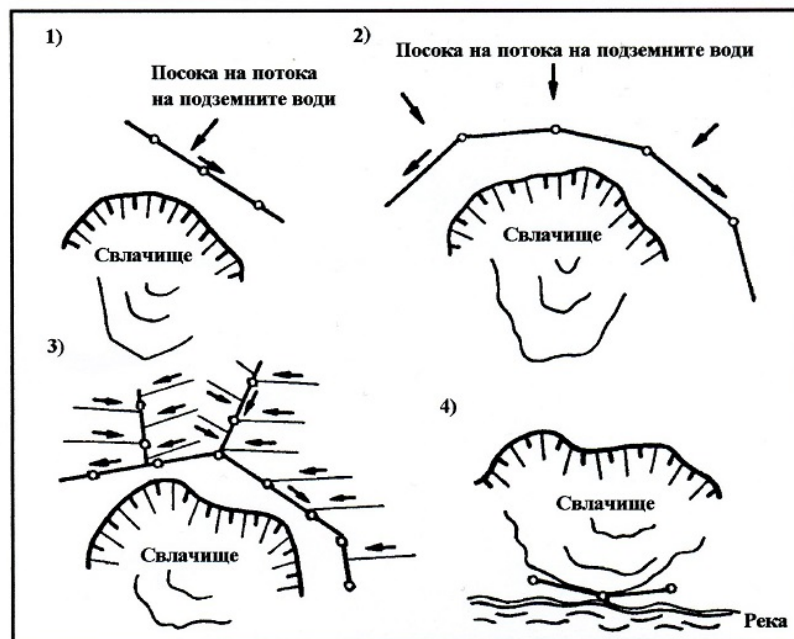
- ✓ Преразпределяне на земните маси в тялото на свлачището чрез преоткосиране, терасиране и планиране.
- ✓ Защита от размиване и подкопаване на основата на склона.
- ✓ Укрепване на свличащите се маси чрез изграждане на различни противосвлачищни конструкции като подпорни стени, анкери, пилоти, шлицови стени, елементи от геотекстил и др.
- ✓ Изкуствено подобряване на свойствата на почвите и скалите, изграждащи неустойчивия склон, чрез термично и електрохимично заздравяване, чрез внасяне на хигроскопични вещества за осушаване и др.
- ✓ Растително укрепване на склона.
- ✓ Изграждане на покрития от изкуствени материали (цимент, полимери, геотекстил и др.), които ограничават действието на изветрянето, ерозията и повърхностните води.
- ✓ Профилактични мероприятия.

За да се изберат най-подходящите мероприятия е необходимо много добре да са изяснени причините и условията за възникване на дадено свлачище. Противосвлачищните мероприятия трябва да са насочени към намаляване или отстраняване на действието на силите, предизвикващи склоновите процеси. Трябва да бъдат детайлно изучени геоложкия строеж, местоположението и формата на свлачищната повърхнина или зоната на отслабване, положението на водоносните хоризонти и условията на тяхното подхранване. Без тези данни не може да се определи вида, конструкцията и мястото на защитното съоръжение. Стабилизирането на едно свлачище се постига обикновено при използване на комплекс от противосвлачищни мероприятия. Най-подходящия комплекс от мерки се избира на базата на сравняване на няколко различни варианта.

Регулиране на повърхностния отток се прилага, за да се намали или отстрани допълнителното навлажняване на почвите от дъждовни води. Това е един почти постоянно действащ фактор за изменение на физичното състояние, якостта и други свойства на почвите. Регулирането на повърхностния отток е една винаги полезна и необходима мярка. Освен изграждането на системи от повърхностни водоотвеждащи съоръжения, в

тази група се включват планировка на релефа и лесозащитни дейности. Системата за повърхностно отводняване се състои от открити скатови оградящи канали над главния откос на свлачището, и отводнителни канавки (магистрални и второстепенни). При нужда се изграждат бързотоци, прагове, преливници, водоизпускатели и др. Във всички случаи трябва да се избягва пропускането на вода от оградителните скатови канали през тялото на свлачището. Планировката има за цел да улесни и ускори стичането на повърхностни води, да се избегне задържането на вода в релефните понижения, за да се намали до минимум инфилтрацията и навлажняването на почвите.

Дренирането на оводнения свлачищен склон е по-сложно и скъпо мероприятие, но почти винаги е включвано в комплекса от противосвлачищни мерки. Неговата цел е да улови и отведе подземните води извън границите на свлачищния район или да понижи нивото им дотолкова, че да не оказват неблагоприятно влияние върху устойчивостта. Поради това, че условията на залягане на подземните води са различни, за осушаване на свлачищни участъци се използват различни начини и видове дренажни съоръжения. В план разполагането на дренажите се осъществява по четири основни схеми (Фиг. 35).

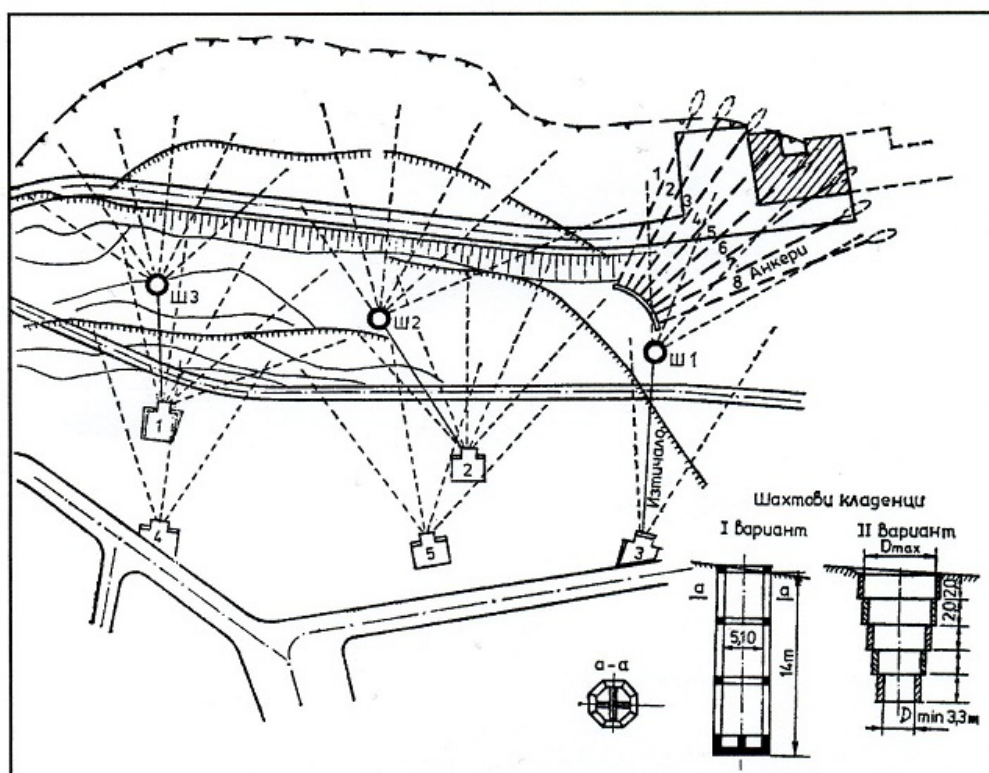


Фигура 35. Основни схеми за разполагане на дренажи в свлачищен склон

1–дренажна завеса в горната, незасегната част от склона; 2–кръгово разполагане на дренажи; 3–равномерно разполагане; 4–брегово (контрафорсно) разполагане на дренажни сондажи

По първата схема дренажите се разполагат в горната незасегната част от склона, над свлачището, и изпълняват функцията на завеса препятстваща постъпването на идващите от склона подземни води към тялото на свлачището. По втората схема дренажите се разполагат в кръг около свлачището и ограничават от всички страни навлизането на подземни води, Третата схема се нарича брегова или контрафорсна, и локализирането на дренажите по нея става в долния край на свлачището. По четвъртата схема дренажите се разполагат равномерно по целия участък.

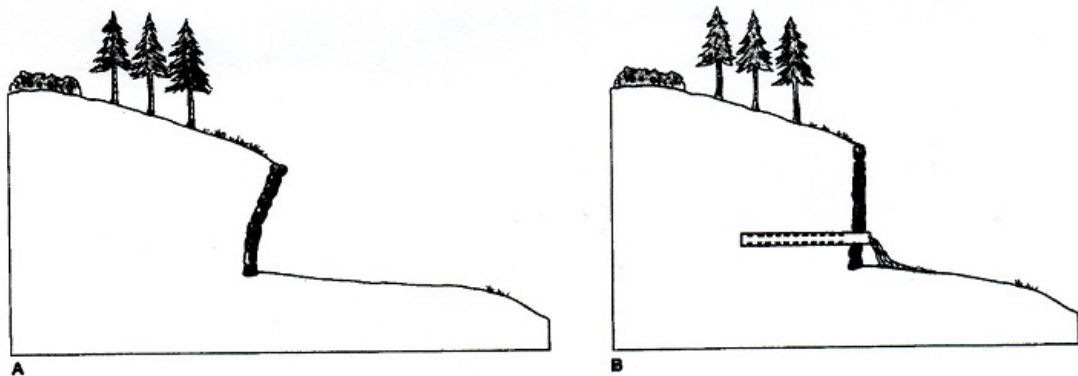
В разрез дренажите биват: вертикални, хоризонтални и комбинирани. Дренажите може да са свършени, т.е. изцяло преминаващи водоносния хоризонт, и несвършени – само частично врязани във водоносния хоризонт. Дренажни галерии се прилагат в случаите на дълбоко залягащ водоносен хоризонт, голям дебит и добро водоотдаване на почвите. Комбинация от проходима дренажна галерия и вертикални сондажни дренажи е изградена на Балчишкото свлачище (Фиг. 36).



Фигура 36. Укрепителни мероприятия на свлачището в гр. Балчик

Трасето на галерията е с дължина 1360 m, а диаметърът ѝ е 3,6 m. Съоръжението е прокопано на дълбочина 45 m, в глините на Тополската свита. По проект е предвидена и вертикална дренажна завеса от 300 броя сондажни дренажи, от които в действителност са изградени само 150. През няколкогодишната експлоатация на дренажните съоръжения е установен забележим положителен ефект. Видимо са стабилизирани локалните свличания, понижено е водното ниво в пиезометрите, разположени близо до галерията, спаднала е депресионната крива на водното ниво след дренажната завеса.

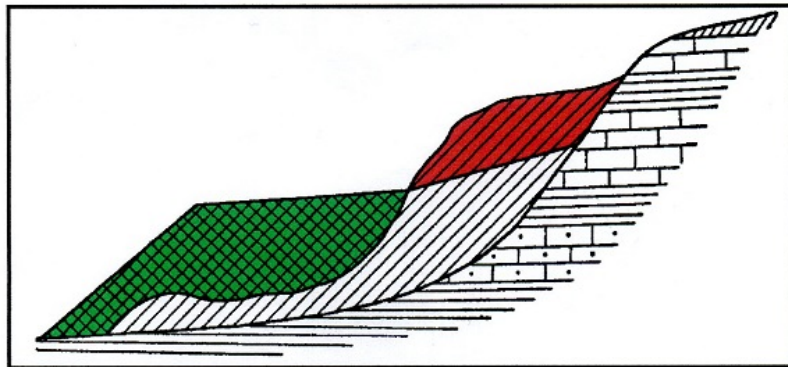
Хоризонталните дренажи се смята, че са най-икономични. Те масово се използват за укрепване на свлачища по Тихоокеанското крайбрежие на САЩ още от средата на XX век. Хоризонтални дренажи се изпълняват с дължина до 50-100 m и наклон нагоре от 3 до 20% за гравитачно изтичане на водата. Изпълнението на тези сондажи е просто и сравнително бързо. Дължината, наклонът и разстоянието между сондажите се определят въз основа на всестранни изследвания на свлачището. Ефектът от тяхната работа се контролира най-добре посредством дебита на изтичащата вода (Фиг. 37).



Фигура 37. Укрепване на неустойчив склон чрез хоризонтални дренажи

Преразпределянето на земните маси в тялото на свлачището е един от най-широко прилаганите начини за постигане на устойчивост на един склон. С преустройството на склона и откосите на свлачищното тяло и извън него се цели да се намали наклона, да се запълнят и подравнят локалните негативни понижения, да се планира територията и да се преразпределят земните маси. Последното се постига, като се измени отношението между активните (хлъзгащи) и съпротивителните

(задържащи) сили чрез терасиране, преоткосиране и отнемане на материал от горната част, съчетано с претоварване от същия материал на пасивната част в петата на свлачището (Фиг. 38). Отстраняването на почва в пасивната част на свлачището се допуска само при изкопни работи за подпорни съоръжения и при замяна на тези почви с каменни и други насипни контрабанкети.



Фигура 38. Преразпределяне на земни маси в тялото на свлачище за достигане на устойчиво състояние на склона

При кръгово-цилиндрична повърхнина на хлъзгане, границата между пасивната и активната зона е приблизително там, където наклона на свлачищната повърхнина се доближава до 0° . Обемът на насипа в пасивната част, който е достатъчен за задържане на свлачището в устойчиво състояние, се определя чрез изчисления по някой от методите за количествена оценка на устойчивостта.

Защитата от размиване на склона се осъществява чрез брегови укрепителни съоръжения. Активно действащите съоръжения изменят хидравличния режим на речния поток или вълновия и наносния режим на морето. Пасивните съоръжения се съпротивляват директно на разрушителните сили на водата от водоема. Най-ефективна е комбинираната активна и пасивна защита. Към речните брегови укрепителни съоръжения се отнасят: вертикални и наклонени стени, корави и гъвкави откосни облицовъчни съоръжения, корекционни руслови съоръжения от типа на струенаправляващи и изправителни буни. Морските брегоукрепителни съоръжения, които се изграждат за защита на свлачищни участъци са: откосни надлъжни укрепвания, вълнобойни брегови стени, подводни вълноломи, напречни буни, изкуствени плажове и др.

Основните *конструктивни решения* за механично задържане срещу свличане на склона са подпорни укрепващи съоръжения и дълбоко заложените задържащи конструкции, пряко влияещи върху коефициента на сигурност. Те трябва да отговарят на съвременните изисквания за индустриални и високо механизирани технологии. Възможностите за приложение на противосвлачищните конструкции за предотвратяване на свличане или механично задържане на свлачища зависят от:

- Големината на свлачищния натиск;
- Височината на укрепващата конструкция;
- Геоложкия строеж в тялото на свлачището и под него;
- Наклона на терена;
- Действието на ерозията, абразията и сеизмичните сили;
- Наличната механизация и опит на строителната организация-изпълнител;
- Условиата за строителна дейност в склона и достъпността на участъка за техника и механизация;
- Икономическата обосновааност на решението, съобразно важността на строителния обект.

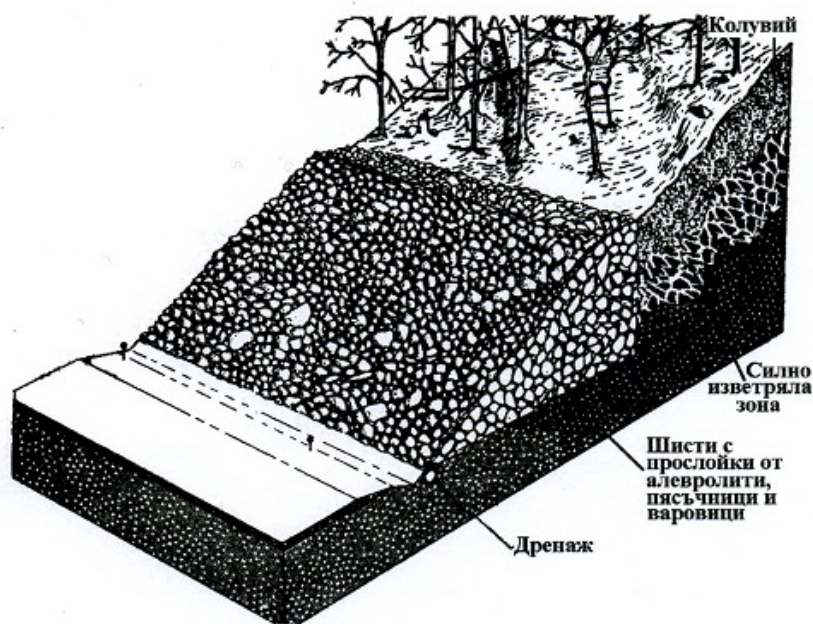
Укрепващите съоръжения са твърде разнообразни по вид и конструкция, като ще разгледаме най-често прилаганите. *Подпорните стени* обикновено се изграждат в петата на плитки и недълбоки свлачища. Задължително условие е наличието на здрави литоложки разновидности под свлачищната повърхнина, в които да се фундазира подпорната стена. Тя поема свлачищния натиск в основата на склона. За разлика от обикновените подпорни стени, проектираните и изградени в свлачищни терени трябва да отговарят на следните условия:

1. При извършване на изкопните работи не трябва да се допуска активизиране на свлачището. За тази цел се препоръчва изкопите и строителството на стената да се правят на сектори с дължина от 4 до 10 m, само в сухите периоди от годината.
2. Непосредствено зад стената трябва да се изграждат дренажни съоръжения, като най-често това са дренажни тръби, поставени на нивото на хлъзгателната повърхнина и покрити с обратна

засипка. Водите, които се дренират задължително се извеждат извън границите на свлачищното тяло.

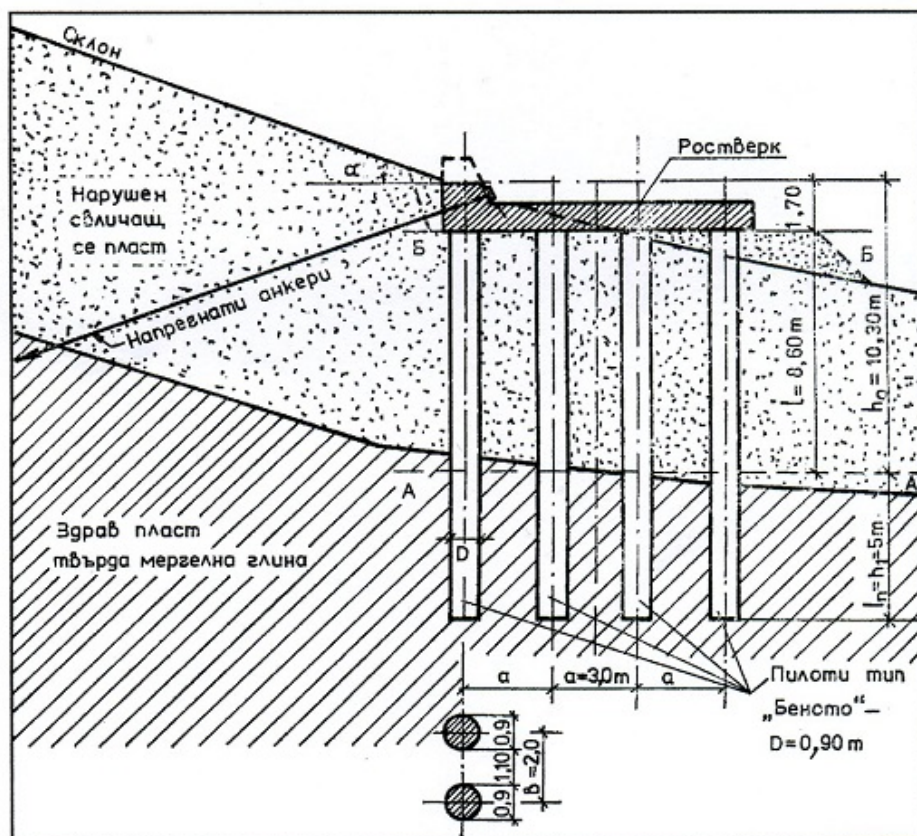
3. Оразмеряването на подпорната стена трябва да се извърши при най-неблагоприятното въздействие на всички фактори, влияещи върху устойчивостта на свлачището.

Контрафорсните съоръжения включват контрафорсни земни насипи, каменно-насипни стени и др., изградени също в петата на свлачището. За разлика от подпорните стени тези съоръжения могат да поемат значителни премествания на земните маси и не се нуждаят от специални условия за фундиране. Много често те играят ролята на дренажни призми (Фиг. 39). Контрафорсните съоръжения винаги са предпочитани при укрепване на свлачища, но за тяхното изграждане е необходим свободен терен в основата на свлачището.



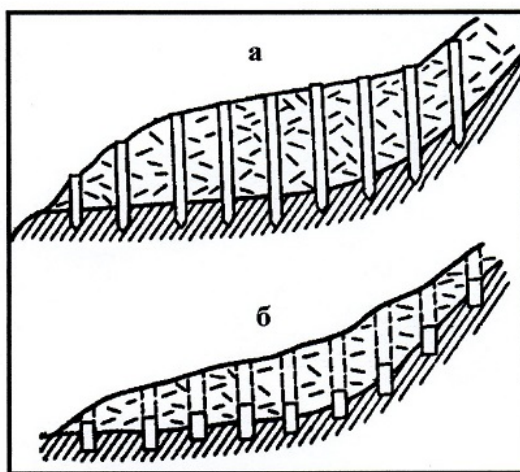
Фигура 39. Каменен контрафорс в комбинация с дренаж за укрепване на неустойчив склон

Анкери се прилагат, когато под свлачищното тяло залягат здрави скали, в които анкерите се закотвят. Дължината на различните видове анкери е от 5-6 m до 30 m. Обикновено се изграждат от няколко стоманени въжета, които след втвърдяване на излетия в корена бетон, се напрягат и могат да поемат натоварвания от порядъка на 1000-1500 kN. Анкерите често се прилагат в комбинация с подпорни стени или с пилоти (Фиг. 40).



Фигура 40. Многоредна анкерирана пилотна противосвлачищна конструкция

Пилотите се използват също при недълбоко разположена свлачищна повърхнина. Те имат различни размери и се изготвят от различни материали. Разполагането им става в редове или шахматно, като дълбочината им трябва да е такава, че да преминава свлачищната повърхнина. Според начина на поставяне, пилотите са забивни и изливни (Фиг. 41).



Фигура 41. Укрепване на свлачищен терен със забивни (а) и изливни (б) пилоти

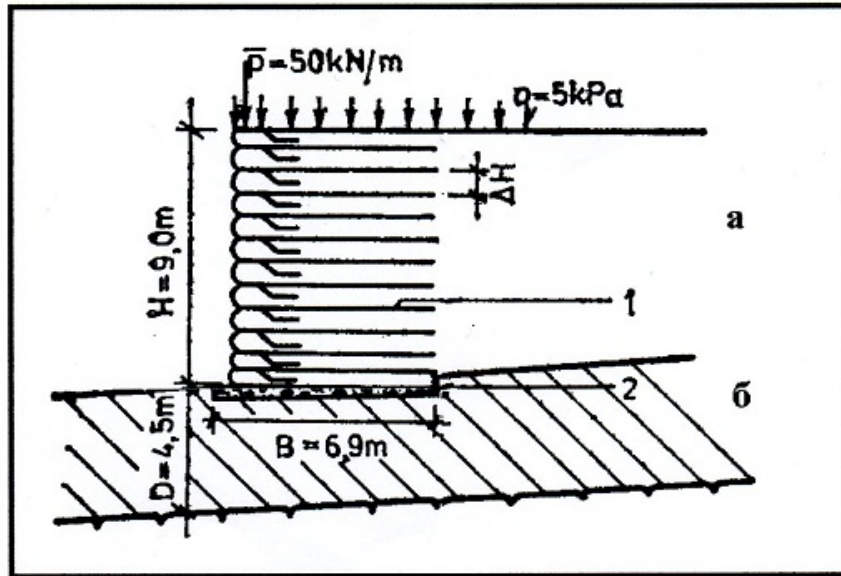
Забивните пилоти обикновено са с дължина 10-15 m и сечение от порядъка на 100-120 cm². Броят на забивните пилоти се определя в зависимост от сумарната свлачищна сила в петата на свлачището. Конструкциите от дълбоко заложи сондажно изливни пилотни редове са едни от най-ефективните решения за механична защита срещу свлачищния натиск. Те са конзолно закотвени в здравия пласт чрез сондиране, а не чрез забиване, което не изисква подсичане и направа на изкоп в тялото на свлачището. Тези пилоти позволяват укрепване на локализиран участък и максимална механизация на работните операции. Изливните пилоти се изпълняват както с по-малък диаметър (35-50 cm), така и с голям диаметър (до 1,2 m), а дължината им обикновено е до 30 m с гъвкав армировъчен скелет. Изливно сондажните пилоти се изграждат с пълно или частично обсаждане, без бентонитов разтвор, т.к. използването му е с отрицателен ефект върху устойчивостта. Съоръжение с изливни пилоти е приложимо при големина на свлачищния натиск до 1000-1400 kN/m.

Шлицовите стени са стоманобетонни ребра, които са по-корави от изливните пилоти и са с по-добра носимоспособност. Те може да работят и самостоятелно, без допълнително анкерирание. Изливането се извършва най-често на ламели с дължина 2,5 m и дебелина 60-90 cm. Работи се от повърхността, без дълбоки изкопи, но е необходим достъп до мястото на работа. Ефективни са при слаба активност и еднородност на свлачищното тяло, а изкопите трябва да се извършват в сухо време и без употребата на бентонитов разтвор.

Подпорни стени с елементи от геотекстил. Геотекстилът е изкуствен полимерен материал, който напоследък все повече навлиза в строителната практика, в това число и за укрепване на плитки свлачища или временно стабилизирани откоси. За изграждане на подпорни стени обикновено се прилага тъкан полиестерен геотекстил, като се изпълнява конструкция подобна на сандвич от насип от песъчлив чакъл на слоеве загънат от платна геотекстил (Фиг. 42).

Моделът „Тексол”, който представлява хомогенизирана смес от пясък, дълги полиестерни конци и вода, е успешно прилаган във Франция за укрепване на неустойчиви откоси. Тази смес се нанася и уплътнява на

място като почвен насип, т.е. на пластове при оптимално водно съдържание. Благодарение на голямата якост на конците и триенето между тях и почвата, се получава смес с високи якостни параметри – ъгъл на вътрешно триене $\varphi = 35^{\circ}-40^{\circ}$ и кохезия $C = 100-200 \text{ kPa}$.



Фигура 42. Подпорна стена с геотекстил

Изборът на метод за изкуствено подобряване на свойствата на почвите и скалите, изграждащи потенциално неустойчив склон, се определя от:

- Петрографските особености на литоложките разновидности и тяхното физическо състояние;
- Изискванията към изменение на свойствата на почвите и скалите;
- Техническите възможности за използване на един или друг метод при конкретните условия;
- Икономическите предимства в сравнение с други мероприятия, повишаващи устойчивостта на склона.

В свлачищни участъци най-често се прилагат методи за подобряване, които осигуряват увеличаване на плътността, понижаване на водното съдържание и водопропускливостта и нарастване на съпротивлението на срязване и устойчивостта. Такива методи са: циментация, глинизация, електрохимично и термично заздравяване. Циментация се използва за подобряване свойствата на напукани скали и несвързани чакълести и

песъчливи разновидности. През специално прокарани сондажи в свлачищното тяло, които задължително навлизат в подложката от здрави разновидности, се нагнетява циментов разтвор. Глинизация се прилага за тампониране на пукнатини в скални масиви. С електрохимично заздравяване се постига осушаване и подобряване на физико-механичните свойства на глини. То се осъществява чрез обработка на почвите с постоянен ток, като в свлачищното тяло и под свлачищната повърхнина се забиват електроди, свързани чрез електрическа верига. Действието на постоянния ток предизвиква в глините електролиза, йонообманны реакции и намаляване на водното им съдържание. Недостатък на този метод е високата му цена. Термичното заздравяване е също един скъп метод, за който е необходимо и специално оборудване. При него се прилагат две основни технологични схеми. По първата се нагнетява нагорещен до 600° - 900° C въздух в специални тръби, при което намиращата се в радиус до 1,5-2,0 m глинеста почва се осушава и повишава якостта си. По втората схема загряването на почвата се постига чрез изгаряне на твърди или течни горива в сондажни отвори. Постигнатата по този начин температура е по-висока, а радиусът на действие е по-голям – до 3,0-3,5 m. За осушаване на свлачищното тяло е възможно и използване на пилоти от негасена вар. Този метод е ефикасен при плитки и малки по обем свлачища.

Растително укрепване. Различните видове растителност оказват влияние върху изменението на водния баланс в свлачищните участъци. Тяхната роля се изразява в осушаване на почвите, регулиране на повърхностния отток, а кореновата система на някои растителни видове изпълнява функцията на армировка. Във Великобритания например, този начин за укрепване на пътни откоси е широко разпространен.

Изграждане на покрития от изкуствени материали, ограничаващи действието на изветрянето, ерозията и повърхностните води. Такива покрития се изпълняват от различни материали: бетон, циментов разтвор, асфалт, полиетилен, различни видове геотекстил и др. При скални откоси най-честото покритие е от т.нар. торкрет бетон, който се състои от цимент и запълнител с размери до 2 cm. Торкрет бетонът се напръсква върху откоса, като дебелината на покритието е до 8-10 cm. Недостатък на всички

досега използвани покрития е тяхната недълготрайност и необходимостта от честото им подновяване.

Профилактичните мероприятия включват:

- Наблюдения върху динамиката на свлачищните придвижвания чрез изграждане на опорни геодезични мрежи с дълбочинни и повърхностни репери, инклинометрични и пиезометрични опити, с цел навременното предупреждаване за очаквани аварии и катастрофи. Тези наблюдения и изследвания се извършват периодично по предварително съставена схема в зависимост от скоростта на придвижване на едно свлачище и от фазата на развитие, в която то се намира.
- Установяване на съответни охранителни зони в активните свлачищни участъци, в които да се спазват съответни правила и изисквания за ползване на територията и експлоатация на съоръженията.
- Провеждане на наблюдения за целостта и функционирането на противосвлачищните съоръжения и извършване на необходимия ремонт.
- Провеждане на допълнителни противосвлачищни мероприятия и строителство на съоръжения в съответствие с настъпващите стадии и фази в развитието на дадено свлачище.

3.9. Инженерногеоложка оценка на карстови процеси – скорост на окарствяване, активност на карста, степен на устойчивост на окарстени територии. Противокарстови защитни мероприятия

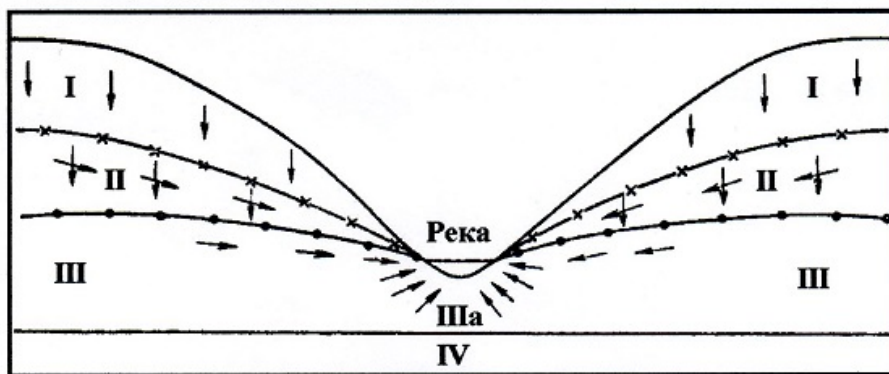
Наличието на карст често предизвиква усложнения при провеждане на строителни и минни работи, причинява големи водопритоци в подземни изработки и строителни изкопи или значителни водни загуби под и встрани от язовирни стени и в обсега на водохранилището. Многобройни са примерите на деформации и пропадания на съоръжения в райони с развитие на карст. Повечето защитни мероприятия са скъпоструващи и изискват специално техническо оборудване. В отделни участъци

карстовите явления са развити толкова интензивно, че нанасят постоянно материални, а понякога и човешки загуби. Наличието на карст създава усложнения и трудности при проектиране и строителство на хидротехнически съоръжения, като има примери на твърде несполучливи решения. Например, в Испания след построяване на една дъгова язовирна стена (Монте Хаке в Андалусия) с височина 72 m върху окарстени варовици е било установено, че е невъзможно запълването на язовира, т.к. всичката вода е преминавала под стената по карстови празнини и канали. Подобни случаи са регистрирани и в други страни – Франция, Русия и др. Карстът създава трудности и при строителството на подземни съоръжения. Слабата устойчивост на подземните изработки е свързана с обрушванията, пропаданията и огромните водопритоци, които понякога достигат 3000-4000 m³/h. Условието за развитие на карст са: наличие на разтворими скали (варовици, гипс, анхидрит, доломит и каменна сол); повърхностни и подземни води, циркулиращи по пукнатините, които са агресивни, т.е. съдържат свободен CO₂ и тектонски нарушения на скалите, които увеличават тяхната водопроницаемост. Развитието на карст в гипса, анхидрита и каменната сол протича по-бързо и за експлоатационния период на съоръженията устойчивостта на скалите може значително да се понижи и да възникнат недопустими деформации. В карбонатните скали карстовите процеси протичат много бавно, обикновено за цели геоложки периоди от време, но понякога човешката дейност може да активизира и ускори този процес (например, изхвърлянето на киселинни разтвори и горещи течности). Покритият карст е по-опасен от разкриващия се на повърхността, т.к. може да се прояви под формата на пропадане на земната повърхност не веднага, а в периода на експлоатация на дадено съоръжение.

Една от особеностите на карстовия процес е неговата вертикална зоналност. Най-известна е схемата на Соколов, според която се отделят отгоре-надолу следните зони (Фиг. 43):

- I. *Зона на аерация*, отличаваща се с най-голяма окарстеност и в границите, на която се осъществява главно движението в дълбочина на инфилтриращите се води със сравнително голяма скорост.

- II. Зона на сезонните колебания на нивото на карстовите води.
- III. Зона на пълно насищане, която обикновено е с по-малка или средна окарстеност. Тя се намира в сферата на дрениращото въздействие на местната хидрографска мрежа. Скоростта на движение на подземните води в тази зона е по-малка в сравнение със зоната на аерация. В нея се срещат и аномални участъци, с повишена окарстеност и висока водопропускливост.
- IV. Зона на дълбочинна циркулация. В нея движението на подземни води се осъществява с малка скорост, по посока на отдалечени места на дрениране. Тази зона е слабо окарстена.



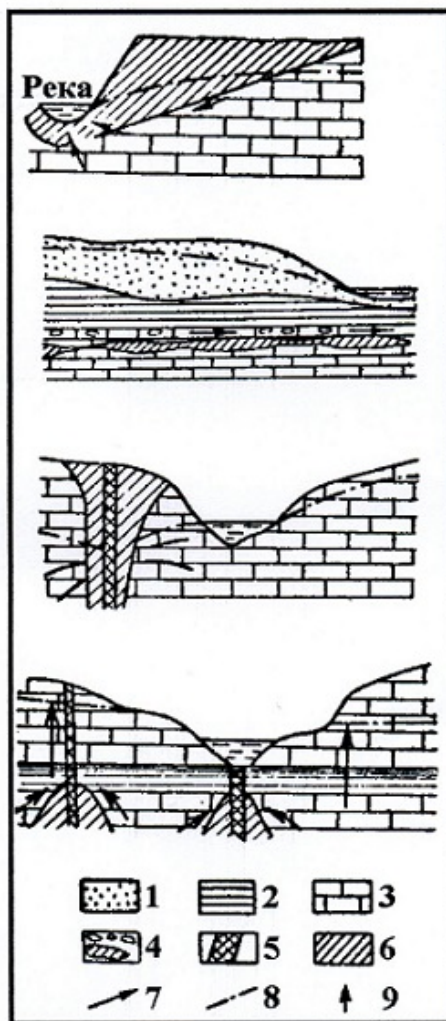
Фигура 43. Условия на движение на подземните води във вертикалните зони на окарстения масив (по Соколов Д. С.)

I – зона на аерация; II – зона на сезонни колебания на подземните води; III – зона на пълно насищане в сферата на дрениращото действие на речна долина; IIIa – област на разтоварване на подземните води на дъното на долината; IV – зона на дълбочинна циркулация на подземните води, разположена извън влиянието на местната хидрографска мрежа. Със стрелки е показана посоката на движение на водата.

Отбелязаните закономерности във вертикалната зоналност на карста понякога се нарушават. Например, ако в пласта от разтворими скали се срещат слоеве от разновидности с по-голяма разтворимост при дадените условия, то в тях започва интензивно развитие на карстовия процес. По този начин в пласта се образуват отделни прослойки с повишена окарстеност. Благоприятни условия за повишено окарстяване има при:

- Ерозионно врязване, където най-подходящи условия има в зоните с развити пукнатини на разтоварване;
- Водоразделните участъци, където най-добри условия за развитие на карст предлагат най-разтворимите и с повишена напуканост прослойки;

- Зоните с тектонски нарушения при низходящо и възходящо движение на потока на подземните води (Фиг. 44).



Фигура 44. Схеми на повишено окарстяване при различни геоложки условия (по Лыкошин А. Г.)

1 – пясък; 2 – глина; 3 – варовици; 4 – каверни и карстови повърхнини; 5 – тектонска зона; 6 – зона с интензивно развитие на карст; 7 – посока на движение на подземните води; 8 – ниво на подземните води; 9 – воден напор

Под степен на окарстеност на скалите се разбира степента на нарушение на тяхната монолитност, в резултат на образуване на различни по форма и размери празнини при разтварянето и излужването им. Количествена оценка на окарстеността дава показателят на окарстеност K :

$$K = V_0/V \cdot 100 \quad (\%)$$

където V_0 – обем на празнините в изследвания окарстен масив;

V – обем на скалите в масива.

Оценката на съвременното състояние на окарстеност има практическо значение за районите с развитие на карбонатен карст. В районите с

развитие на карст в гипс, анхидрит и каменна сол е необходимо да се знае освен степента на окарстеност и скоростта на развитие на карстовия процес, т.к. при тях той се развива твърде бързо. За оценка на скоростта на развитие на карста Родионов е предложил да се използва показателя за съвременна активност на карстовия процес A :

$$A = V_p/V \cdot 100 \quad (\%)$$

където V_p – обем на разтворената скала, изнасян от подземните води в карстовия масив;

V – общ обем скали в карстовия масив.

Показателят A се определя за даден период от време. Количеството на разтворените скали се установява от данните за режимните наблюдения на минерализацията на изворите (водоизточниците) в изследвания район за период от време от порядъка на няколко до десетки години. Изчисленият показател за съвременна активност може да се ползва само за класификационни цели, но не и за практически нужди.

Степента на окарстеност се определя чрез различни, най-често косвени методи. Геоморфоложките наблюдения в много случаи дават убедителни данни. Например, броят на различните повърхностни карстови форми на единица площ от дадена територия, характеризира плътността на тяхното разпространение и позволява да се оцени степента на окарстеност в изучавания район. По-пълни сравнителни данни за окарстеността може да се получат, ако се измери площта и обема на карстовите форми. Тези данни са приблизителни, т.к. не отчитат размерите на карстовите форми в дълбочина, но в случая на разпространение на повърхностен карст те са твърде полезни. Извършването на геодезични и маркшайдерски измервания на карстовите форми и празнини на повърхността и в дълбочина дават по-точни данни за степента на окарстеност. Много надеждни са резултатите, получени от геофизични проучвания и от документиране на извадената ядка при прокарване на проучвателни сондажи. Загубата на сондажна промивка и пропадането на сондажния лост са индикация за наличие на кухини в проучвания карстов масив. Най-често използваните геофизични методи за определяне степента на окарстеност са сеизмопроучването и електропроучването. Те позволяват в геоложкия разрез да се отделят

типозете окарстени скали, да се изяснят особеностите на погребания релеф, да се определи дълбочината на залягане на окарстените прослойки и точно да се оконтурят карстовите празнини и зони. Изключително важно значение за оценката на окарстеността на масива имат хидрогеоложките наблюдения и филтрационните опити. Измерването на дебита и определянето на режима на водоизточниците дават полезна информация. Колкото по-голям е дебитът на карстовия извор, толкова по-голяма е и окарстеността на скалите. Карстовите извори се отличават не само с голям дебит, но и със значителната му изменчивост през годината. В силно окарстени райони дебитът на изворите е в непосредствена зависимост от метеорологичните условия и бързо реагира на тяхното изменение. Друга характерна особеност на карстовите райони е интензивното поглъщане на повърхностните води в дълбочина през различни карстови форми. Известни са много примери, когато реки напълно изчезват при навлизането им в окарстени скали и след преминаване на карстовата зона отново се появяват, като понякога са с увеличен разход. Сравнителна оценка на степента на окарстяване може да се направи и по резултатите получени от специални опитни филтрационни работи: водонагнетяване и водоналиване в сондажи или минни изработки, а също опитно водочерпене при наличие на водоносни хоризонти. Водопроникливостта и водообилността на разтворимите скали се определят главно от тяхната окарстеност и частично от напукаността им. Количествени характеристики на водопоглъщането и водопроникливостта са: относителното водопоглъщане q и коефициентът на филтрация K_f . Коефициентът на относително водопоглъщане q се определя по формулата:

$$q = Q/(H \cdot l) \quad (l/\text{min})$$

където Q – общо водопоглъщане при напор H за една минута;

l - дължина на участъка от сондажа, в който се извършва водонагнетяване.

Според стойностите на q и K_f скалите се разделят в следните групи по степен на водопроникливост, окарстеност и напуканост (Табл. 15). Степента на окарстеност може да се определя и от установените провадания и деформации на съоръжения. За по-голяма достоверност е

необходимо използването на няколко различни метода и съпоставяне на получените резултати. Методите може да са както за количествена оценка, така и за качествена.

Таблица 15. Класифициране на скалите по степен на водопроницаемост, окарстеност и напуканост според относителното водопоглъщане q и коефициента на филтрация K_f

СКАЛИ	КОЕФИЦИЕНТ НА ФИЛТРАЦИЯ K_f , m/24h	ОТНОСИТЕЛНО ВОДОПОГЛЪЩАНЕ q , l/min
Практически водоупори, неокарстени и ненапукани	<0,01	<0,005
Много слабо водопроницаеми, слабо окарстени и слабо напукани	0,01-0,1	0,005-0,05
Слабо водопроницаеми, слабо окарстени и слабо напукани	0,1-10	0,05-5
Водопроницаеми, окарстени и напукани	10-30	5-15
Силно водопроницаеми, силно окарстени и силно напукани	30-100	15-50
Много силно водопроницаеми, силно окарстени и силно напукани	>100	>50

Проектирането и строителството на съоръжения в карстови райони и тяхното усвояване за различни стопански нужди се извършват въз основа на детайлни геоложки проучвания и изследвания, които имат за цел установяване на:

- Дълбочината на залегане на разтворимите скали.
- Дебелината, състава и свойствата на покриващите отложения.
- Дебелината на разтворимите скали, степента на окарстеност, пространственото разположение на повърхностните и дълбочинните карстови форми и тяхното влияние върху устойчивостта на територията.
- Зоната на влияние на проектираните съоръжения, носещата способност на окарстените скали и на покриващите ги отложения.

- Водопроникливостта и водообилността на окарстените скали, дълбочината на залягане на нивото на карстовите води и техният напор. Тези характеристики са особено необходими при проектиране на дълбоко залягащи подземни и хидротехнически съоръжения.
- Интензивността на развитието на карста, неговия вид и честота на карстовите прояви, както и причините и условията спомагащи за неговото активизиране.
- Подходящите принципи и методи на строителство и осигуряване устойчивостта на съоръженията, основаващи се на обобщаване на предишния строителен опит в разглеждания район.

Средногодишното количество на пропаданията и увреждането от тях на дадена територия се определя по данни от геоложко картиране, дешифриране на аерофотоснимки и сателитни снимки, правени през различни години, определяне на възрастта на съществуващите карстови фунии чрез различни методи, геодезични измервания и др. Важно е да се подчертае, че средното количество на карстовите пропадания, тяхната повторимост и средното увреждане от тях на дадена територия за съответен период от време е целесъобразно да се определят само за райони със сулфатен и солени тип карст, където този процес се развива със скорост съизмерима по време със сроковете на експлоатацията на построените съоръжения. При карбонатния тип карст, развитието на процеса се осъществява за геоложки периоди от време и при него е целесъобразно да се установи съвременното състояние на оценявания район, т.е. да се определи увреждането от карстови пропадания без да се отчита времето, за което са станали. За районите с развитие на сулфатен и солени тип карст е предложена класификация на териториите по степен на устойчивост (Табл. 16). Оценката на дадена територия не трябва да се прави само въз основа на посочените показатели в Табл. 16. Недостатък на тази класификация е, че в нея не се отчита възможната активизация на карстовия процес по време на строителството и експлоатацията на сградите и съоръженията. В случай, че съществуват предпоставки за изтичане на вода, особено на промишлени агресивни течности, при класифицирането на териториите е необходимо да се отчита и прогнозира

активизацията на карстобразуването. При районирането на площи с разпространение на карст за целите на масовото строителство е необходимо териториите да се отделят по следните признаци:

Таблица 16. Класификация на териториите с развитие на сулфатен и соли карст по степен на устойчивост (по Саваренский И. А.)

КЛАС НА УСТОЙЧИВОСТ	СТЕПЕН НА УСТОЙЧИВОСТ НА ТЕРИТОРИЯТА	СРЕДНОГОДИШЕН БРОЙ ПРОПАДАНИЯ ЗА 1 ГОДИНА НА ПЛОЩ 1km ²	БРОЙ ГОДИНИ, В КОИТО ВЪЗНИКВА 1 ПРОПАДАНЕ НА 1km ²
I	Устойчива	<0,01	>100
II	Слабо устойчива	0,01-0,1	100-10
III	Неустойчива	0,1-1	10-1
IV	Твърде неустойчива	1-10	1-0,1
V	Катастрофална	>10	<0,1

- *Устойчиви и относително устойчиви територии*, в обсега на които разтворимите скали са слабо окарстени и средногодишния брой пропадания на 1 km² не надвишава 0,01. В тази група попадат и слабо окарстени скали, залягащи на дълбочина по-голяма от 10 m и покрити с плътни и устойчиви разновидности. Върху такива терени се извършва строителство на разнообразни сгради и съоръжения, без да се взема под внимание окарстеността, а плътността на застрояване се определя съгласно възприетите строителни норми и правила.
- *Територии с понижена устойчивост*, в границите на които разтворимите скали се характеризират с повишена окарстеност и средногодишния брой пропадания на 1 km² достига 0,05-0,1. Дебелината на покриващите отложения е малка или недостатъчна по отношение на активната зона на влияние на съоръжението. На такива територии се препоръчва да се ограничи височината на сградите (предимно до 5 етажа) и плътността на застрояване (до 20%).
- *Недостатъчно устойчиви територии*, които се отличават с повишена окарстеност и за които средногодишният брой

пропадания на 1 km² надхвърля 0,1. Дебелината на покривните отложения е малка или недостатъчна, за да намали опасността за устойчивостта на територията и построените върху нея съоръжения. Само в изключителни случаи се допуска строителство на сгради и съоръжения с височина до 5 етажа, а плътността на застрояване не трябва да надхвърля 10%.

- *Неустойчиви територии*, в които разтворимите скали са с повишена окарстеност и се наблюдават чести прояви на пропадане и слягане на земната повърхност. В тях не се допуска строителство на капитални сгради и съоръжения.

Изборът на противокарстови защитни мероприятия се извършва в зависимост от конкретните инженерногеоложки условия на строителната площадка, като: тип карст (карбонатен, сулфатен, соли); дълбочина на залягане на разтворимите скали; степен на окарстеност и оводненост и тип на проектираното съоръжение. Необходимо е да се изясни дали окарстените скали са сигурна основа и среда за строителство, има ли опасност от големи водопритоци и наводняване, ще възникнат ли големи филтрационни загуби при изграждане и експлоатация на съоръженията. Най-често прилаганите противокарстови мероприятия са:

1. *Планировка на територията, съпроводена с регулиране на повърхностните води и изграждане на канализационни системи за отвеждане на производствените води.* Планировката обикновено се съпровожда с тампониране на пукнатините с глина и запълване на карстовите фунии и други неравности в релефа. Регулацията на повърхностните води се осъществява с помощта на системи от канавки, като тя трябва да обхваща не само териториите, които ще се застрояват, но и намиращите се в непосредствена близост с тях. За отвеждане на битовите и производствените води се изграждат канализационни системи.
2. *Каптиране на подземните води и дренране на оводнените разновидности.* Тези мероприятия се налага да се изпълняват често при проектиране на подземни и надземни съоръжения, когато водопритока и високото ниво на карстовите води

затрудняват провеждането на строителни и минни работи, и нормалната експлоатация на съоръженията. Прилагат се различни комбинации от вертикални и хоризонтални дренажи.

3. *Изграждане на дълбоко залягащи фундаменти.* В случаите, когато дебелината на окарстените скали не е много голяма, те може да се преминат с пилоти, най-често железобетонни. Такива дълбоко заложи в здравия масив опори осигуряват необходимата устойчивост на фундираното върху тях съоръжение.
4. *Изкуствено уплътняване и заздравяване на скалите.* За запълване на съществуващите карстови празнини и повишаване на носещата способност на окарстения масив се използват следните методи: глинизация, циментация и битумизация. Размерът на пукнатините и празнините в масива, както и изискванията към носещата способност определят избора на един от тези методи. Разтворите се нагнетяват чрез система от инжекционни сондажи. За ликвидиране на по-големи каверни се използва глинизация. Тя дава най-добър резултат при тампониране на каверни и безводни скали, характеризиращи се със стойност на относителното водопоглъщане q от 0,1 до 100 l/min. Циментация се прилага, когато има изискване да се получи висока якост на окарстения масив. За дребнонапукани скали се използва портландцимент и някои пластифицирани цименти. При инжектиране на каверни или големи пукнатини, към циментовия разтвор се прибавят глини. При много големи каверни и пукнатини, с относително водопоглъщане $q > 3$ l/min, в цименто-глинестите разтвори се добавя и пясък. Установено е, че вследствие на циментацията значително се увеличава модулът на обща деформация на окарстените скали – до 1,5-2,0 пъти. Битумизация може да се прилага при напукани и окарстени скали с водоприток на неагресивни и агресивни води, и при ширина на пукнатините над 0,2 mm. Относителното водопоглъщане q може да е от 0,5 до 100 l/min и повече. Там където условията позволяват е възможно за намаляване на

разхода на битум да се използват пълнители от типа на шлаки, пепели, парафин и др.

5. *Изграждане на противофилтрационни завеси.* При строителството на хидротехнически съоръжения, за да не се допуска загуба на вода под язовирната стена и встрани от нея, както и за повишаване устойчивостта и за предотвратяване на развитието на филтрационни деформации се изграждат противофилтрационни завеси. Завесите се изпълняват чрез нагнетяване най-често на циментов разтвор в специални сондажи, прокарани по оста на язовирната стена. В практиката се прилагат едноредни, двуредни и триредни завеси с различна дълбочина, понякога надхвърляща 100 m. У нас най-дълбоките противофилтрационни завеси са изградени на язовир „Кърджали“ – 90 m и на язовир „Въча“ (бивш „Антонивановци“) – 85 m. Завеси се изграждат и за защита на дълбоки строителни изкопи и подземни части на съоръжения, като в зависимост от конкретните условия се нагнетява битум, циментов или глинест разтвор.
6. *Разнообразни конструктивни мерки.* Използва се допълнително армиране чрез изграждане на железобетонни пояси, които придават по-голяма коравина и монолитност на конструкцията. Спазват се съответните ограничения за етажност на сградите и плътност на застрояване в опасните райони. Прилагат се ивични фундаменти, фундиране върху бетонова или чакълена възглавница, и други решения за намаляване дълбочината на зоната на влияние на съоръжението.

3.10. Суфозионни процеси – основни причини за развитие на суфозия, техногенни фактори активизиращи суфозията и превантивни мерки

„Суфозия“ произлиза от латинската дума „подкопаване“ и с нея се означава процеса на размиване и изнасяне на дребно- и финозърнести частици от почвите и скалите, главно по механичен начин, посредством

филтриращата се през тях вода. Този процес често се съпровожда със слягане на отгорележащите разновидности и пропадане на земната повърхност, с образуване на суфозионни ями, фунии и други негативни релефни форми. Суфозионни явления се наблюдават в несвързаните отломъчни разновидности (чакъли, пясъци), в запълващия пукнатини и празнини дисперсен материал и в свързаните лъсови и глинести почви. Понякога суфозията е от смесен химико-механичен тип. Например, в разнозърнест пясъчник първоначално може да се разтвори спойващото вещество и след това по механичен начин да се изнесат дребните пясъчни частици. Суфозията може да бъде подземна и контактна. При *подземната суфозия* става пренос на дребни частици чрез движещата се вода, вътре в самия пласт. Вследствие на това се появяват вторични изменения и преразпределение в зърнометричния състав на литоложката разновидност, формират се т.нар. „промита“ пътища на движение на подземните води, в границите на които коефициентът на филтрация K_f е значително по-голям в сравнение с незасегнатата от суфозия разновидност. *Контактна суфозия* възниква на контакта между две литоложки разновидности, като дребните частици от едната чрез водния поток се изнасят в порите и празнините на другата. По контактната зона понякога се оформя слой с изменен зърнометричен състав и променени свойства.

Основните действащи сили, предизвикващи развитие на суфозията са: голямата скорост на движение на филтрационния поток, който размива частиците и възникващото хидродинамично налягане. При много голямо хидродинамично налягане е възможно някои песъчливи и прахови разновидности да бъдат доведени до плаващо състояние. Развитието на суфозионно изнасяне е възможно при следните условия:

- Определена нееднородност на почвата, при която е възможно придвижване на по-дребни частици в пространството между поедрите и тяхното изнасяне с водния поток.
- Определени градиенти на потока, предизвикващи увеличени скорости на филтрация и увеличено хидродинамично налягане в почвата.
- Наличие на област на изнасяне, т.е. при разкриване на почвата на повърхността, в строителни изкопи, кариери, подземни

изработки, дренажи или при контакта ѝ с разновидност с по-голяма водопропускливост, порестост и способност да поглъща по-дребните частици, размити и пренасяни от водния поток.

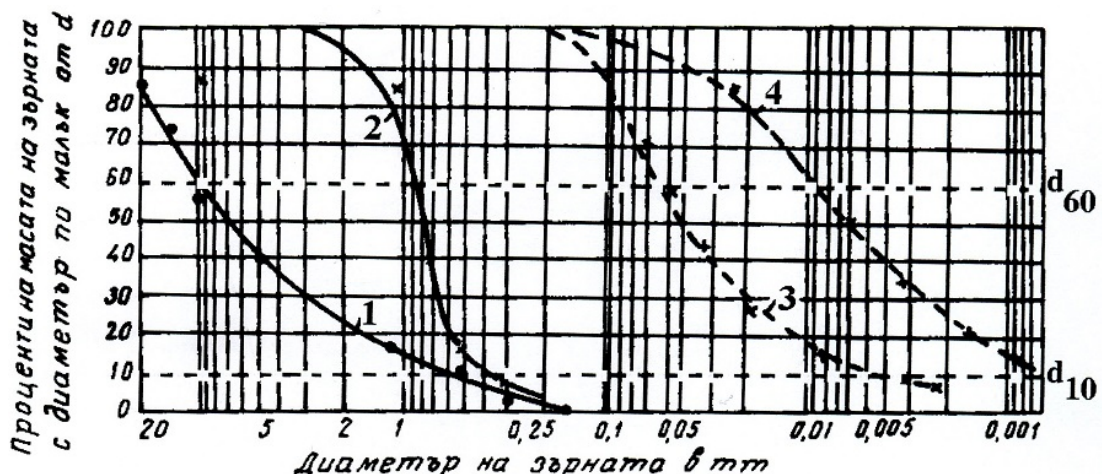
При съчетаване на тези условия неизбежно се развиват суфозионни явления. Понякога суфозията е причина за образуване на суфозионен тип свлачища.

Според редица изследвания, суфозия възниква предимно в почви, които се характеризират с коефициент на разнорънност $U > 20$ и хидравличен градиент $I > 5$. Коефициентът на разнорънност се определя от сумарната зърнометрична крива по формулата:

$$U = d_{60}/d_{10}$$

където d_{60} – диаметър, при който 60% от зърната в почвата са с диаметър по-малък от него;

d_{10} – диаметър, при който 10% от зърната в почвата са с диаметър по-малък от него (Фиг. 45).



Фигура 45. Сумарни зърнометрични криви на чакъл (1); пясък (2); лъос (3) и глина (4)

При стойности на този коефициент $U \leq 5$ почвите са равнорънни, а при $U > 5$ – почвите са разнорънни. При оценката и прогнозирането на суфозията, едни изследователи отдават предпочитание на определяне на скоростта на филтрационния поток или т.нар. „размиваща” скорост, а други – на определяне на стойността на градиента на потока, от която зависи и хидродинамичното налягане. За определяне на началната скорост на потока V_{PA3} , при която започва суфозия често се използва формулата на Зихард:

$$V_{PA3} = \sqrt{K_f/15} \quad (\text{m/s})$$

където K_f – коефициент на филтрация за дадената почва.

При движение на водата от пласт с по-дребнозърнест зърнометричен състав към пласт с по-едрозърнест състав, суфозия възниква, когато скоростта на филтрация стане по-голяма от критичната скорост V_{KP} , която може да се изчисли по формулата на Избаш и Козлова:

$$V_{KP} = 0,26 \cdot d_{60}^2 \cdot [1 + 1000(d_{60}/D_{60})^2] \quad (\text{cm/s})$$

където d_{60} и D_{60} са диаметра, при който 60% от зърната в почвата са с диаметър по-малък от него, като d се отнася за дребнозърнестия пласт, а D – за едрозърнестия.

Формулата е експериментално проверена за стойности на d_{60} от 0,088 mm до 0,5 mm и за D_{60} – от 2 до 15 mm.

Определянето на критичния напорен градиент I_{KP} , при който започва суфозионния процес е сложна задача. В практиката се използват няколко емпирични формули, с които се получават задоволителни резултати. Една от тях е формулата на Терцаги и Замарин:

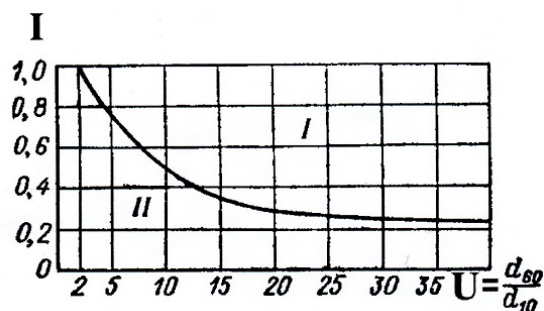
$$I_{KP} = [(\gamma_s - \gamma_w)/\gamma_w] \cdot (1 - n) + 0,5 \cdot n$$

където γ_s – специфично тегло на почвата;

γ_w – специфично тегло на водата;

n – обем на порите в почвата.

За прогнозиране на развитието на суфозия се използва и предложената от Истомина зависимост между градиента на разрушаване I и коефициента на разноразмерност U (Фиг. 46).



Фигура 46. Зависимост между градиента на разрушаване I и коефициента на разноразмерност U , по която се оценява вероятността за възникване на суфозия (по Истомина В. С.)

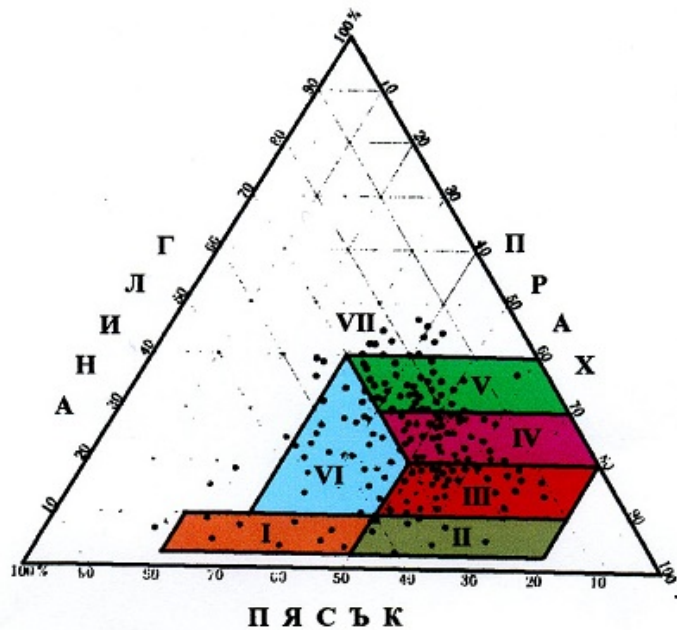
I – област на разрушаващите градиенти на филтрационния поток; II – област на безопасните градиенти

Според тази зависимост колкото по-разнозърнеста е една почва, толкова при по-малки градиенти е възможно възникване на суфозия.

За борба със суфозията най-често се прилагат мерки, които оказват влияние за намаляване на градиентите и скоростите на филтрационния поток. В опасните участъци за снижаване на нивото на подземните води се изграждат дренажни системи. С цел да се намалят градиентите на потока се извършва строителство на шпунтови стени и противофилтрационни завеси. Инжекционните разтвори за завесите и екраните са циментови, глинести, цименто-глинести и химически. В зоните на разтоварване, за намаляване на градиентите се прилага насипване на материал и изграждане на обратни филтри, които представляват послойна засипка от несвързани почви, чийто размер постепенно нараства от по-дребен към по-едър в посока на движение на филтрационния поток.

3.11. Пропадане на лъсови почви – фактори за пропадъчността, оценка на пропадъчността, техногенно активизиране на процеса на пропадане. Методи за подобряване устойчивостта на съоръжения, изградени в пропадъчни лъсови почви

Лъсовите почви се отнасят към т.нар. “особени почви”. Те са структурно неустойчиви, свързани почви, отличаващи се с някои специфични свойства. В зърнометричния състав на лъоса преобладава праховата фракция (0,05-0,005 mm), която обикновено е от 50% до 75% и само в някои разновидности е над 85% или е под 35% (Фиг. 47). Значителното прахово съдържание определя равнозърнестостта на типичните лъсови почви. За лъоса е характерно и значително съдържание на соли в състава му, като преобладаващи са карбонатите и гипса. Максималното съдържание на карбонати в лъоса от Северна България е 25-30%. В пясъчната и праховата фракции на лъоса преобладават минералите: кварц, фелдшпати, слюди и карбонати, а в глинестата – хидрослюди и монтморилонит. Количеството на кварца и фелдшпатите е средно около 40-50%.



Фигура 47. Зърнометричен състав на основните лъсови разновидности (по Минков М.)

I – лъсовиден пясък; II – пясъчлив лъос; III – типичен лъос; IV – глинест лъос; V – лъсовидна глина; VI – алувиални лъсовидни отложения; VII – кватернерни глини

Лъосът се характеризира и с голямата си порестост (до 60%), като част от порите са т. нар. “макропори” с $d=0,1-5$ mm. Освен макропори в лъоса се установяват и микропори между отделните зърна и в самите микроагрегати. Лъосовите почви имат и специфична структура, т.е. размера и формата на твърдите минерални структурни елементи, строежа на поровото пространство и характера на структурните връзки. За структурата на лъосовите почви е характерна високата агрегираност, при което праховите и глинестите частици формират изометрични агрегати с размери около 0,01-0,25 mm. С наблюдения на сканиращ електронен микроскоп е установено, че в микроструктурата на лъоса важен елемент са микроагрегатите, представляващи отделни кварцови зърна, чиято повърхност е покрита от разпокъсана обвивка от калцит, след което следва непрекъснато покритие от глинести минерали, аморфен силициев диоксид и железни оксиди. Основната част от поровото пространство са микропорите с изометрична форма и размер 0,008-0,05 mm. Свързаността на лъоса се дължи главно на наличието на т.нар. “преходни” контакти между отделните минерални зърна и глинесто-праховите агрегати. Здравината на тези контакти се обуславя от йонно-електростатични сили.

Характерна особеност на този вид контакти е тяхната обратимост под въздействие на вода. При навлажняване те бързо губят здравината си и преминават в по-слаби коагулационни контакти. Освен преходни, в лъоса се наблюдават и фазови контакти, дължащи се главно на наличието на карбонати и други лесно разтворими соли.

Порестостта и водонеустойчивите контакти в лъоса са предпоставка за проявата на опасния геоложки процес – пропадане. При попадане на определено количество вода в лъоса, свойствата му съществено се изменят и под действие на собственото си тегло или от допълнителния товар на дадено съоръжение, се осъществява значително и бързо слягане, което в специалната литература се нарича “пропадане”. Пропадането на лъоса е един от важните елементи на геоложката опасност в България. При геоложки товар лъосовидните глини не са пропадъчни, а с най-силно изразена пропадъчност е типичният лъос, за който относителното пропадане при геоложки товар е 3,5%. Типичният лъос от II лъосов хоризонт е с най-ниска плътност на скелета ρ_d и с най-голяма деформация на пропадане.

Пропадъчността може да бъде определена пряко и косвено. Общото в косвените методи е, че те се основават върху показатели, характеризиращи плътността и водното съдържание на лъоса. Тези показатели са най-тясно свързани с пропадането и се определят сравнително бързо и лесно, дори и на терена. Те обаче имат редица недостатъци, например, това че разделят лъосовете само на пропадъчни и непропадъчни, без да може да се определят стойностите на относителното пропадане, на сумарното пропадане, на началния товар на пропадане и началното водно съдържание на пропадане. От преките методи за определяне на пропадъчността, които могат да бъдат лабораторни или провеждани на място (in situ) се получават стойностите именно на тези показатели. Големината на пропадане в лабораторни условия се установява от компресионни изследвания, които се извършват по метода на едната крива и по метода на двете криви. Определят се обемът на макропорите n_{mp} и относителното пропадане $S_{пр}$. Обемът на макропорите се изчислява от отношението:

$$n_{mp} = [(h_p - h_{p'}) / h_p] \cdot 100, \quad (\%)$$

където $h_{p'}$ - височина на изследвания образец, след допълнително намокряне при товар P;

h_p - височината на образца преди намокрянето му при същия товар P.

Льосът се счита за пропадъчен, когато обемът на макропорите е над 1%. Пропадъчността се изразява и чрез относителното пропадане $S_{пр}$, което се определя по формулата:

$$S_{пр} = e_{mp} / (1 + e_p)$$

където e_{mp} - коефициент на макропорите;

e_p - коефициент на порите при товар P.

Сумарната величина на пропадане при геоложки товар се определя по формулата:

$$S_{прг} = \sum (s_{прг})_i \cdot (h_{пр})_i \cdot m$$

където $(s_{прг})_i$ - относително пропадане на i -тия слой от пропадъчния пласт при геоложки товар;

$(h_{пр})_i$ - дебелина на i -тия слой от пропадъчния пласт;

m - коефициент на несъответствие между лабораторно получените и действителните деформации, който се приема, че е 1,5.

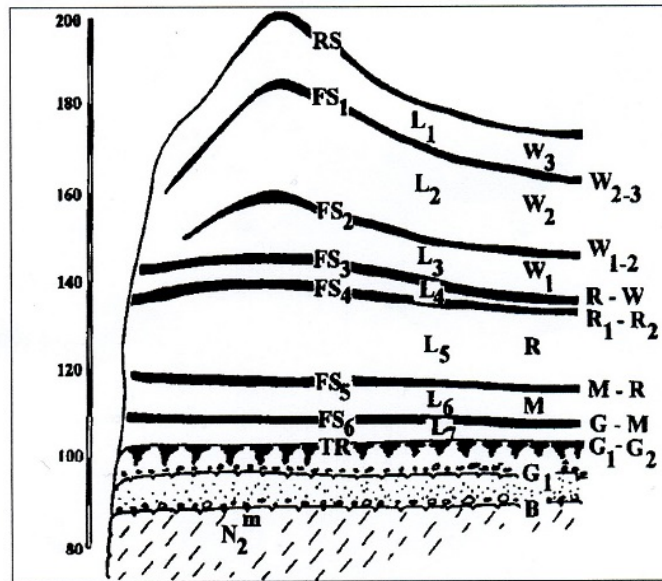
Сумарното пропадане при геоложки товар зависи както от относителното пропадане, така и от дебелината на пропадъчния пласт. Въз основа на този показател льосовата област в Северна България е поделена на пет района. Районът с непропадъчен льос заема обширни територии в южната част на областта и ниските льосови тераси. Най-опасният район със силно пропадъчен льос, за който стойността на сумарното пропадане при геоложки товар е над 75 cm, обхваща около 5% от площта на льосовата област и е разположен в близост до р. Дунав, в участъка между Оряхово и Свищов. Стойностите на $S_{прг}$, по които са разграничени отделните райони имат значение на максимално възможно пропадане на льоса от геоложки товар. Пропадъчността във всеки отделен район зависи в много голяма степен от характера на микрорелефа, който

обуславя хидроложкия режим на повърхността. Пропадъчността зависи и от изходното водно съдържание и респективно от степента на водонасищане. Установено е, че когато лъсовите почви са със степен на водонасищане S_f по-голяма от 0,6 те практически са непропадъчни, дори и обемът на порите им да е голям ($n > 43-44\%$). Това се дължи на предварително отслабване на структурните връзки, при което общата деформация от слягане и пропадане протича предимно като слягане. Освен силно пропадъчни, съществуват и слабо пропадъчни, но силно слегваеми лъсови почви. Те се срещат обикновено в урбанизирани и обилно напоявани лъсови терени. Лъсът се отличава и с висока водопропускливост. От всички свързани почви лъсовите са с най-голям коефициент на филтрация K_f . Лъсовидният пясък е с най-висока водопропускливост - $K_f = 3-4 \text{ m/24 h}$, а с най-ниска е лъсовидната глина - $K_f = 0,1-0,2 \text{ m/24 h}$. Водопропускливостта на лъсовия комплекс намалява в дълбочина, като за първи и втори лъсов хоризонт тя е най-голяма в сравнение с отдолулежащите хоризонти. За най-горните 7-8 m на лъсовия комплекс е характерна по-голяма водопропускливост във вертикална посока, отколкото в хоризонтална. Същото се отнася и за лъоса непосредствено под погребаните почви, където макропорестостта е най-силно развита (Фиг. 48).

В зависимост от склонността към пропадане лъсовата основа се поделва на два типа:

- *Основа от I тип*, за която сумарното пропадане при геоложки товар е по-малко от 5 cm и тя е пропадъчна само при допълнителен товар;
- *Основа от II тип*, за която сумарното пропадане при геоложки товар е над 5 cm и тя е пропадъчна както при геоложки товар, така и при геоложки плюс допълнителен товар.

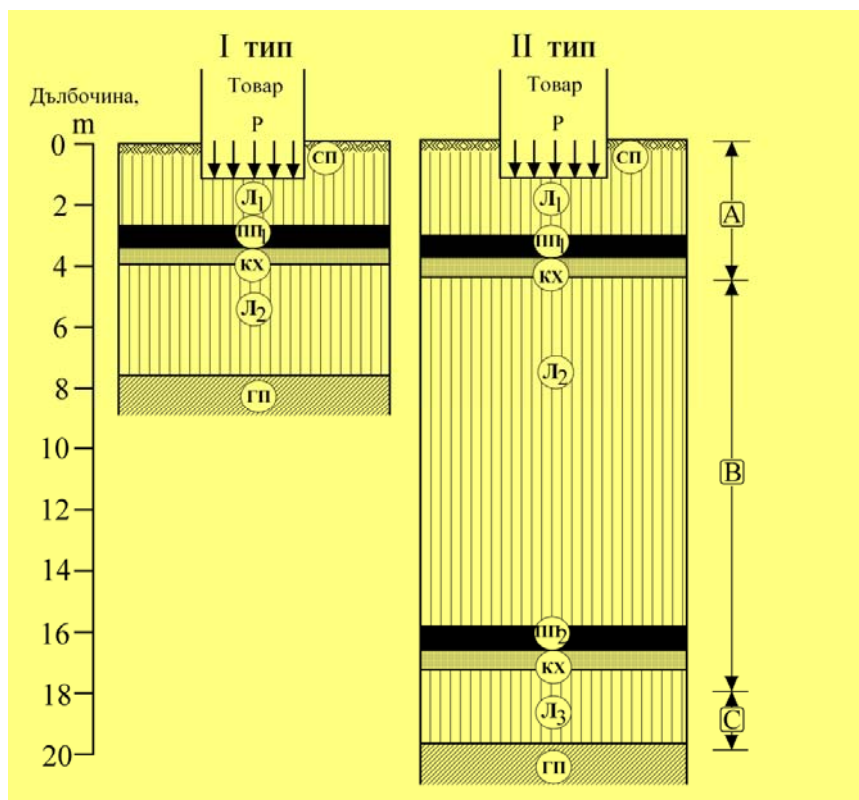
Обикновено I тип лъсова основа е с малка дебелина и в разреза ѝ присъстват една или две погребани почви (Фиг. 49).



Фигура 48. Геоложки разрез на лъсовия комплекс при с. Остров

L₁₋₇ – лъсови хоризонти; FS₁₋₆ – погребани почви; RS – съвременна почва; TR – террасосподобна глина; W₁₋₃ – Вюрм; R₁₋₂ – Рис; М – Миндел; G₁₋₂ – Гюнц (чакъли и глини); В – Бибер (чакъли и пясъци); N₂^m – Меот (алевролити)

Такава основа започва да пропада след достигане до някаква стойност на товара от фундаментите, която е по-голяма от началния товар на пропадане. Лъсовата основа от II тип е с по-голяма дебелина – до 50 m и повече. На Фиг. 49 е показан един типичен разрез на Дунавска лъсова тераса, с обща дебелина на лъсовия комплекс около 20 m и наличие на 3 лъсови хоризонта, разделени с 2 погребани почви. При лъсовата основа от II тип могат да се разграничат три зони: А – горна, която не пропада при геоложки товар, но може да пропадне при допълнителен товар от съоръжението; В – средна, която пропада при геоложки товар и С – долна, непропадъчна зона. Долната зона С е уплътнена от отгорележащите лъсови наслаги. Горната зона А е непропадъчна при геоложки товар, т.к. в нея той е малък, но от допълнителния товар на съоръжението може да пропадне. Средната зона В съдържа по-дебели лъсови хоризонти, които са с по-ниска плътност, по-висока порестост ($n > 50\%$) и по-голямо количество прахова фракция. За подобряване свойствата на пропадъчната лъсова основа е важно да се знае не само от какъв тип е (I или II), но и каква е дебелината на пропадъчната зона и точното ѝ оконтуряване. За българския лъс е установено, че най-голямата дебелина на тази зона е около 16 m.



Фигура 49. Основни типове пропадъчна лъсозна основа

СП – съвременна почва; Л₁, Л₂, Л₃ – лъсови хоризонти; ПП₁, ПП₂ – погребани почви; КХ – карбонатна зона; ГП – глинест пласт; А – горна зона, пропадъчна при допълнителен товар от съоръжението; В – средна зона, пропадъчна при геоложки товар; С – долна, непропадъчна зона

В терените заети от лъсови почви строителните аварии възникват главно вследствие на пропадане. Аварийният характер на деформациите се обуславя от обстоятелството, че те настъпват при непредвидено или неизбежно проникване на големи водни количества под сгради и съоръжения. При промишленото и гражданското строителство водата прониква от неизправни водопроводи, канализации, септични ями, напояване на околни терени и др. Пропадъчни деформации възникват най-често при съоръжения с “мокър” или “полусух” експлоатационен режим. В повечето случаи деформациите се проявяват като напуквания на съоръжения, които не застрашават конструкциите като цяло, но отнемат значителни средства за ремонт. В случаите на проникване на големи количества вода в земната основа се налагат сериозни ремонти и заздравяване на основата чрез специални методи. У нас само за 30-40 години в гр. Русе са установени повече от 150 случая на тежки аварии от

пропадане. При хидромелиоративното строителство всички съоръжения работят при “мокър” режим. Поради това пропадането при тях е много често явление. Установено е, че през първите 3 г. от експлоатацията на напоителни системи изградени в лъсови почви, около 9% от съоръженията са били напълно разрушени, 17% са се нуждаели от основен ремонт, 27% са изисквали текущ ремонт и само 47% са били в нормално състояние. Според тези данни хидромелиоративното строителство върху пропадъчни почви е 3-5 пъти по-скъпо. У нас около 25% от водоизравнителите в лъсови почви са пропаднали. Най-голямото пропадане (170 cm) също е регистрирано на канал от напоителна система “Шишманов вал”. Установени са и суфозионни ями с дълбочина 4-5 m и дължина 10-20 m. Поради голямата водопропускливост на лъсовите почви, водните загуби от необлицовани съоръжения в напоителните системи са огромни. Например, при необлицован канал с дължина 1 km, дебелина на водния слой 2 m и намокрена площ 9 m² на 1 m, загубите възлизат на 18 000 m³/24h при песъчлив лъос и 6000 m³/24h – при типичен лъос. От анализа на многогодишни данни е установено, че при средна по количество валежи година, от подадените водни количества около 20-25% излизат извън системите и остават неоползотворени.

Загубите от пропадане на лъос са преки и косвени. Преките се формират от средствата за ремонт на сградите и съоръженията, а косвените – от произведена промишлена и селскостопанска продукция. Промисленото и гражданското строителство върху пропадъчен лъос се оскъпява с около 8-15%. У нас щетите от пропадане за период от 30 години (1956-1986 г.) са възлезли на около 300 млн. лева по тогавашни цени.

Най-общо методите за подобряване устойчивостта на съоръжения, изградени в пропадъчни лъсови почви, могат да се обединят в следните групи:

- Конструктивни мерки.
- Водозащитни мерки.
- Подобряване на свойствата на лъоса.

Конструктивните мерки включват: усилване на конструкцията на съоръженията, увеличаване на коравината на фундамента посредством изграждане на обща стоманобетонна плоча и дълбоко фундиране чрез преминаване на пропадъчния пласт с пилоти. Досегашният опит обаче, показва че само с конструктивни мерки не може да се реши проблема с пропадането.

Водозащитните мерки, които се прилагат най-масово са: изграждане на специални открити системи тръбопроводи и от типа “тръба в тръба”, а също изолация на съоръжението от льосовата основа посредством различни видове екрани. Твърде разпространени са екраните от полимерни платна.

Методите за *подобряване на свойствата на льосовата основа* от своя страна се разделят на: методи за предстроително елиминирание на пропадъчността и методи за заздравяване льосовата основа на претърпели пропадане сгради и съоръжения. Някои от методите са приложими и в двата случая. Към методите за предстроително елиминирание на пропадъчността се отнасят: уплътняване с тежка трамбовка; уплътняване с почвени пилоти; забиване на къси пирамидални пилоти; изграждане на подфундаментни възглавници от почви, пясък, чакъл или циментопочва; уплътняване чрез допълнително намокряне и хидровзривно уплътняване. За тези методи е характерно сравнително по-опростена технология на изпълнение и по-ниска цена. Те гарантират в голяма степен съоръженията срещу недопустимо пропадане и слягане, а в някои случаи и срещу разрушителното действие на сеизмичните сили. За заздравяване на льосова основа, в случай на претърпели вече пропадане сгради и съоръжения се използват методите: инжектиране с маншетни тръби; коренови пилоти; инжектиране на глинести суспензии и инжектиране на високомолекулни съединения. Характерно при тези методи е, че те са подходящи, когато някое съоръжение вече е започнало да пропада поради аварии във ВиК инсталациите или при покачване нивото на подземните води. Най-често това се случва при стари сгради, построени преди средата на миналия век, когато повечето методи за подобряване не са били разработени. Съществуват обаче, и по-нови

сгради и съоръжения, при които са били икономисани средства за сметка на сигурността, и на един по-късен етап те се деформират и напукват. Методите от тази група са доста по-скъпи, изискват по-дълго време за изпълнение и се осъществяват при трудни строителни условия, в ограничени подземни пространства (мазета, изби и др.). Прилагат се и следните универсални методи, които са подходящи както за подготовка на основата преди строителство, така и при настъпили пропадъчни деформации по сградите и съоръженията: дрениране; осушаване; дълбочинно смесване с неорганични свързващи вещества; инжектиране на силикатни разтвори; хидроструйно инжектиране и термично заздравяване. При лъсозна основа I тип най-разпространено е уплътняване с тежка трамбовка. Добър резултат при този тип основа и при малка дебелина на лъсоа (до 5-8 m) дават късите пирамидални пилоти и прилагането на следната комбинация: удълбочаване на строителния изкоп; уплътняване на дъното с тежка трамбовка и изграждане на почвена или циментопочвена възглавница до проектната кота на фундамента. Циментопочвената възглавница има и доказан антисеизмичен ефект, което означава че в райони с повишена сеизмичност нейното прилагане е за предпочитане. Подобряването на лъсозата основа II тип е по-трудно осъществимо и за него се изразходват повече средства. Много важно за този тип основа е да се знае точно дебелината и строежа ѝ. Съществуват два основни подхода при подобряването ѝ:

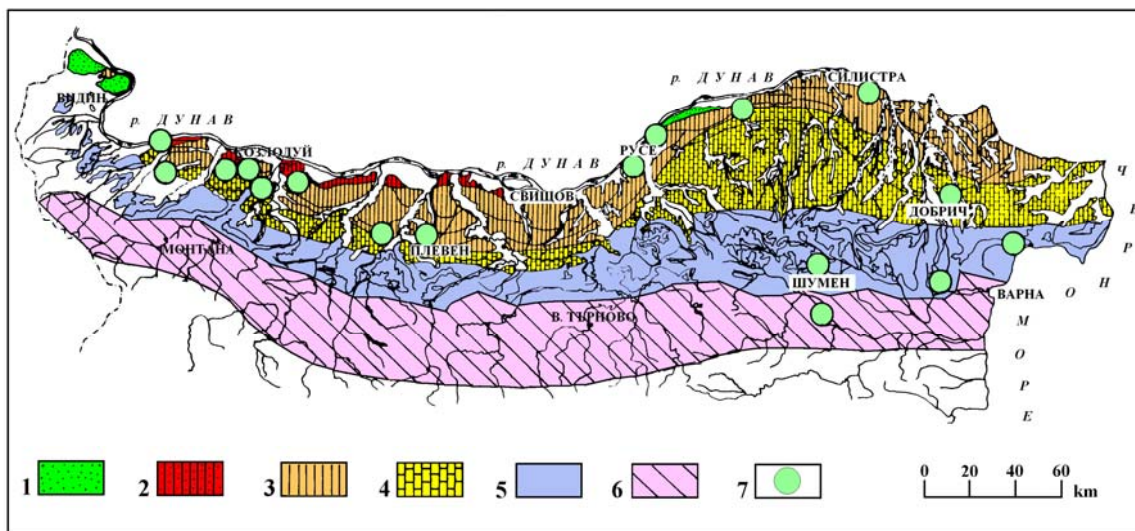
- Първият се състои в превръщане на основа II тип в основа I тип и след това прилагане на методи, подходящи за елиминиране пропадането при I тип лъсозна основа.
- При втория подход се прилагат методи, които унищожават пропадането наведнъж.

По първия подход превръщането на лъсозата основа от II в I тип става посредством използване на следните методи: уплътняване чрез предварително намокряне на основата; хидровзривно уплътняване или изграждане на почвени пилоти, когато сградата е плитко фундирана. При втория подход се постигат добри резултати чрез прилагане на: инжектиране на силикатни разтвори; термично заздравяване; хидроструйно инжектиране; дълбочинно смесване (DMM) с неорганични

свързващи вещества и различни комбинации от уплътняване на дъното на изкопа и изграждане на подфундаментни възглавници с по-голяма от обикновено дебелина.

Първоначално за преодоляване на проблемите с пропадането и голямата водопропускливост на лъоса в България са прилагани главно конструктивни мерки. В редица случаи обаче, те не са довели до положителен резултат и в началото на 60^{-те} години на ХХ в. започва използване на някои методи за подобряване свойствата на лъоса. Един от най-често прилаганите методи при I тип лъосова основа е уплътняване с тежка трамбовка в няколко варианта – с различно тегло (от 2,5 до 15 t) и форма на трамбовката (кръгла, конусовидна) и променлива височина на спускане на трамбовката. Най-голямата дебелина на уплътняване, която е постигната по този начин е 3-4 m. Недостатък на този метод е, че е неприложим при лъос с висока степен на водонасищане S_r и при наличие на близко разположени сгради, чувствителни към вибрации. В някои градове на Северна България за уплътняване на основата са използвани къси, забивни, пирамидални пилоти, чието предимство е индустриалното им производство. Те обаче, са неприложими при лъосова основа с ниска степен на водонасищане $S_r < 0,3$ и плътност на скелета $\rho_d > 1,5 \text{ g/cm}^3$. На някои хидротехнически обекти е осъществено уплътняване чрез подводни взривове. При неголям брой сгради е извършено фундиране върху почвена подфундаментна възглавница. Най-голямо приложение за основи от I тип е намерил методът за фундиране върху циментопочвена възглавница. По този начин е подобрена основата на повече от 100 сгради и съоръжения (Фиг. 50), в т.ч. АЕЦ “Козлодуй”, телевизионни кули с височина до 190 m, жилищни блокове до 18 етажа, водни кули и др.

Лъосовите основи II тип се подобряват значително по-трудно, като са необходими повече средства и по-модерно и сложно технологично оборудване. У нас са провеждани единични опити за инжектиране на силикатни разтвори при укрепване основата на няколко сгради.



Фигура 50. Разпространение и площна фащиална изменчивост на лъоса в Северна България с местоположение на изградени циментопочвени възглавници и екрани

1 – лъосовиден пясък; 2 – пясъчлив лъос; 3 - типичен лъос; 4 – глинест лъос; 5 – лъосовидна глина; 6 – лъосовидни отложения от изветрянето на мергели в Предбалкана; 7 – прилагане на циментопочвена възглавница или екран

Уплътняването чрез предварително намокряне на лъосови основи II тип главно при строителство на хидромелиоративни съоръжения, също не е намерило широко приложение поради дългия период на изпълнение и големия разход на вода, което може да доведе до повишаване нивото на подземните води и до възникване на опасност от склонови деформации. Дълбочинното хидровзривно уплътняване е реализирано на повече обекти– няколко 16-етажни блока в гр. Русе и напоителни съоръжения в участъка Тутракан-Силистра. Този метод дава добри резултати по отношение уплътняване на основата, но съществен негов недостатък е, че лъосът остава продължително време доста влажен. При високата сеизмична интензивност в Северна България съществува реална опасност от възникване на вторични деформации. Положителен опит при II тип основа е постигнат у нас чрез прилагане на комбинация от методи: уплътняване с тежка трамбовка (10-15 t) и изграждане на дебела циментолъосова възглавница. Проведени са единични предварителни опити в гр. Русе за установяване ефекта от заздравяване на лъоса посредством хидроструйно инжектиране и инжектиране с маншетни тръби, а също чрез изграждане на изливни пилоти от пластична циментолъосова

смес. Тези методи са дали положителен резултат, но засега не са намерили широко приложение в строителната практика у нас. В България е достигнат значителен успех в борбата с пропадането и филтрацията при лъсови основи I тип. Независимо от постигнатите положителни резултати, засега главно поради липсата на подходяща техника, почти не се прилагат едни от най-подходящите методи за подобряване на II тип лъсова основа– хидроструйно инжектиране, дълбочинно смесване с неорганични свързващи вещества, инжектиране на силикатни разтвори и термично заздравяване. С навлизането на чуждестранни фирми и с повишените изисквания към строителството в силно пропадъчни лъсови терени вероятно тези методи ще бъдат успешно използвани и у нас.