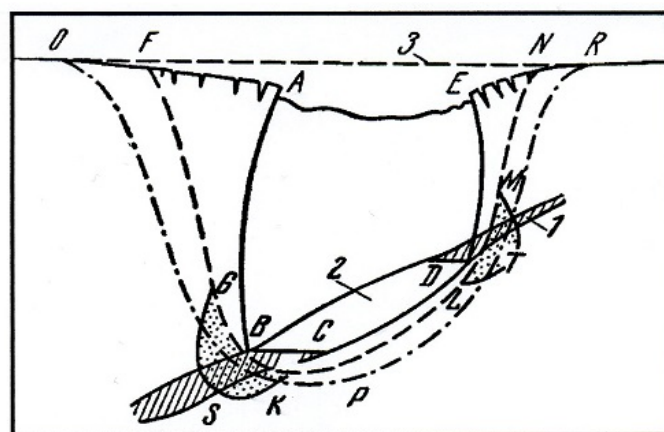


## ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНОГЕННИ ПРОЦЕСИ ВЪРХУ ГЕОЛОЖКАТА ЖИЗНЕНА СРЕДА

### 4.1. Обрушване и пропадане над минни изработки, скални удари, подуване, разуплътняване и обрушване в подземни минни изработки

Обрушването и пропадането е дълъг и многостадийен процес на деформиране на масивите над минни изработки, като участъците попадащи в зоната на влияние на отработеното пространство, последователно или едновременно изпитват всички видове деформиране: на огъване, на опън и на натиск. Процесът на обрушване започва да се развива от самата изработка и постепенно обхваща отгорележащите пластове. По принцип, ако изработките се оставят без пълнеж или се запълнят само частично, над тях се развиват процеси на обрушване, напукване на масива и пропадане на земната повърхност. В резултат на това е възможно деформиране и разрушаване на надземни сгради и съоръжения. При различни условия тези процеси се отличават по динамиката си, обхвата и времето, в което протичат. В най-общия случай в областта на деформиране на скалния масив над минна изработка се различават няколко зони (Фиг. 51):



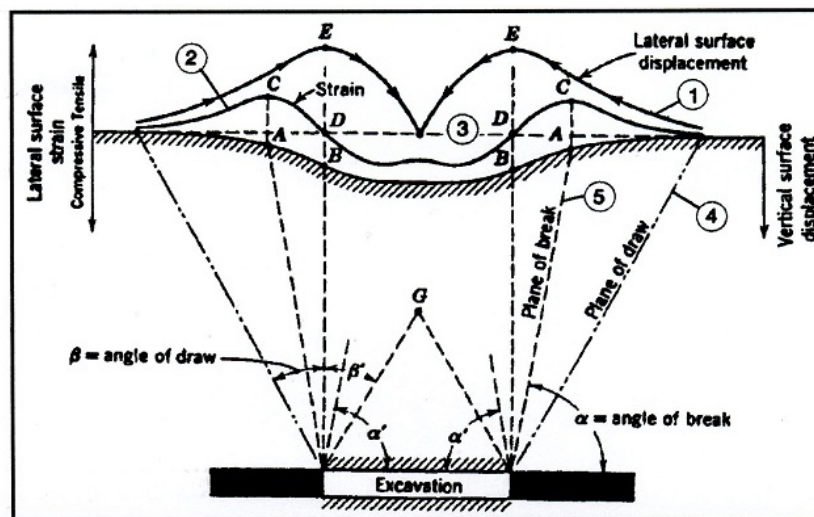
Фигура 51. Зони в областта на деформиране на скалния масив над минна изработка

ABCDE – зона на обрушване; FGKLMN – граница на зоната на напукване; OPR – граница на зоната на плавните премествания; GSK, LTM – области на повишен скален натиск; 1 – залеж на полезно изкопаемо; 2 – отработена част на залежа; 3 – земната повърхност преди започване на разработване на залежа

- *Зоната на обрушване* се характеризира с пълна загуба на връзките между отделните частици и безпорядъчното им придвижване по посока на отработеното пространство. Тази зона не във всички случаи може да се разпространи до земната повърхност. Това зависи от отношението между дълбочината на разработване и дебелината на извличания залеж, а също от минно-геоложките условия на месторождението и по-точно от размерите и ъгъла на наклона на залежа и физико-механичните свойства на скалите. Характерът на деформиране на разработвания пласт съществено зависи от прилаганата схема на разработване.
- Непосредствено до зоната на обрушване се намира *зоната на напукване*, в която масивът се деформира с нарушаване на монолитността и образуване на пукнатини с различна ширина и дължина (от няколко mm до няколко m). Между зоната на обрушване и зоната на напукване няма ясно изразена граница (Фиг. 51). Зоната на напукване се образува в резултат на деформации от огъване и срязване на отделните слоеве и участъци в периферната част на масива, граничеща с обрушените скали. В процеса на развитие на зоната на обрушване, на повърхността се оформят терасовидни отстъпи, разделени от пукнатини успоредни на границите на зоната на обрушване.
- Крайната зона е *зоната на плавните премествания*. В нея деформирането на скалите протича без нарушаване на монолитността (компактността) им. Размерите на тази зона и големината на деформации в голяма степен зависят от якостните и деформационните характеристики на скалите, изграждащи масива. Например, в слаби разновидности, с пластичен характер на деформиране, като глинести разновидности, шисти и др., размерите на зоната на плавните премествания са най-големи, а също и абсолютните стойности на преместването. При тези условия зоната на напукване е

сравнително малка или въобще отсъства. В много случаи при този тип разновидности не се формира зона на обрушване. В скалите с висока якост и крехко разрушаване зоната на плавните премествания е малка по размери и деформациите са незначителни. При тези условия външно проявените граници на зоната на напуканост и зоната на плавните премествания съвпадат.

Негативната форма на релефа, която се образува след обрушване и пропадане над минните изработки се нарича „мулда“. Тя представлява площта от земната повърхност над отработеното пространство, точките от която са претърпели вертикални и хоризонтални премествания. По правило размерите на мулдата са по-големи от проекцията на площта на отработеното пространство (Фиг. 52).



Фигура 52. Идеализирана схема на преразпределяне на напреженията и преместванията на терена над отработено минно пространство

1 – големина на страничните премествания на точките от земната повърхност; 2 – диаграма на напреженията; 3 – земна повърхност преди разработване на залежа; 4 – граница на слягане; 5 – граница на нарушение;  $\alpha$  – ъгъл на нарушение;  $\beta$  – ъгъл на слягане

Размерите на мулдата на слягане се определят от ъгъла на слягане  $\beta$ , а зоната на нарушение се определя от ъгъла  $\alpha$  (Фиг. 52). Съгласно използваната у нас маркшайдерска терминология ъглите  $\alpha$  и  $\beta$  са „ъгли на движение“ в масива. Според някои изследвания ъгълът на нарушение  $\alpha$

зависи изключително от ъгъла на вътрешно триене  $\phi$  на литоложките разновидности. Стойности на тези ъгли за някои разновидности са посочени в Табл. 17.

Таблица 17. Стойности на ъгъла на нарушение  $\alpha$  и ъгъла на вътрешно триене  $\phi$  за някои литоложки разновидности

ЛИТОЛОЖКИ РАЗНОВИДНОСТИ	ЪГЪЛ НА ВЪТРЕШНО ТРИЕНЕ $\phi$ , °	ЪГЪЛ НА НАРУШЕНИЕ $\alpha$ , °
Глини	15-20	52-55
Пясъци	35-45	62-68
Аргилити	37	64
Глинести шисти	45	68
Пясъчници	50-70	70-80
Въглища	45	68

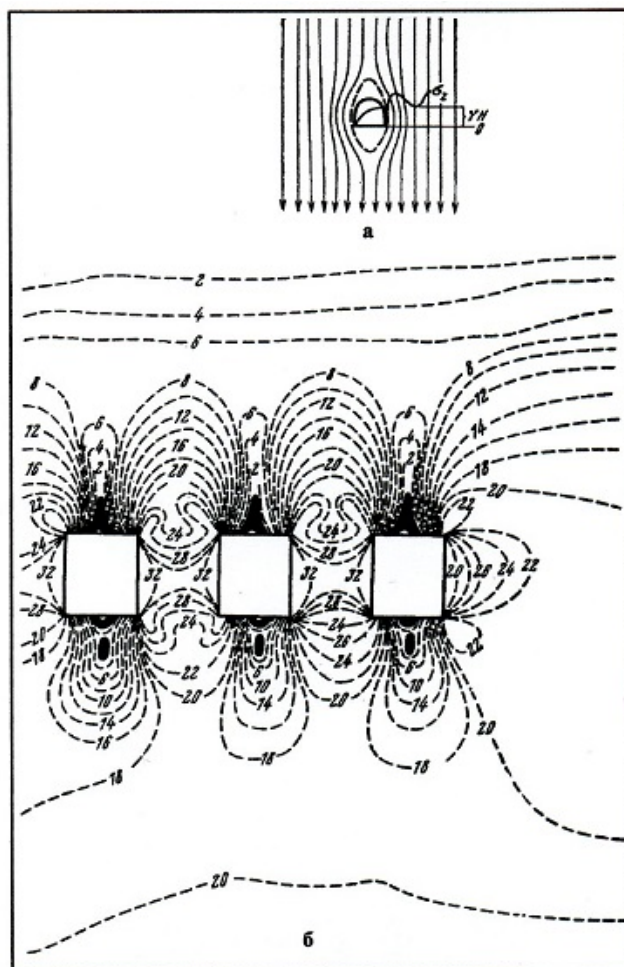
Развитието на процеса на слягане на земната повърхност е в пряка зависимост от етапите на експлоатация на полезното изкопаемо. Обикновено големината на слягане в първоначалните етапи е по-малка, след което на по-късните етапи достига постоянна величина, а самата мулда на слягане заема все по-големи площи. За определяне на големината на слягане съществуват редица емпирични формули, които са получени за различни геоложки условия. Най-общо големината на слягане  $S$  е пропорционална на дебелината  $m$  на изземвания пласт ( $S=0,5-0,7 \cdot m$ ). Тази формула може да се използва само за ориентировъчна оценка в началните етапи на проучване. Времето за слягане на мулдите е различно и е в зависимост от конкретните условия. В седиментни масиви обикновено е от 6 месеца до 2 години след приключване на минните работи. Регистрирани са обаче многобройни изключения от този период. Счита се, че най-надежден метод за определяне параметрите на деформиране на скалния масив е непосредственото наблюдение на повърхността и в отработеното пространство на изземвания пласт. Наблюденията съдържат комплекс от измервания, включващи:

- Поставяне на мрежа от репери на земната повърхност и в разработваните подземни хоризонти, и периодично определяне на пространствените им координати чрез маркшайдерски методи.

- Поставяне на дълбочинни репери в сондажи, с цел да се определят вертикалните премествания на отделните точки от масива и да се наблюдава развитието на зоната на обрушване.
- Съставяне на детайлна структурна снимка на масива с цел да се характеризира качествено и количествено неговата структурна разчлененост.
- Заснемане на пропаданията и наблюдение за поява и развитие на пукнатини на земната повърхност, в междинните хоризонти и в дълбочина на масива посредством специални прибори.

В случая, когато параметрите на деформиране на скалния масив не могат да се определят пряко, те се приемат по аналогия с други.

При взаимодействие на подземните минни изработки с геоложката среда се наблюдават редица опасни явления, по-важните от които са: скални удари и обрушвания, подуване и разуплътняване на вместиците скали и почви, внезапно изхвърляне на въглища и газ, опасни газопроявления, самозапалване на въглища, прориви на подземни води и водонаситени почви. Тези прояви в голяма степен определят условията за безопасност на минните работи, оказват влияние върху производителността и себестойността на продукцията, а също и върху качеството и пълнотата на изземване на полезното изкопаемо. Деформациите вследствие на нарушаване на естественото напрегнато състояние на масива при прокарване на подземни изработки могат да се появят веднага след прокарване на изработката (в масиви изградени от слаби разновидности) или след изтичане на някакъв период от време вследствие на пълзене и релаксация, на промяна в хидрогеоложката обстановка, степента на изветряне и др. Деформациите на скалите в подземните изработки се предизвикват от теглото на отгорележащите скали, а в оводнените масиви се прибавя и силата на филтрационното налягане на насочения към изработката воден поток. Причина за проява на скален натиск е изграждането на самата подземна изработка, което води до преразпределение на напреженията и до възникване на зони с концентрация и зони с разсейване на напреженията (Фиг. 53).



Фигура 53. Разпределение на напреженията около хоризонтална минна изработка (а) и около многокамерна система изработки (б)

Размерите на зоната на разтоварване зависят не само от напреженията, но и от якостните и деформационните свойства на скалите и степента им на структурна раздробеност. Напрегнатото състояние на масива се усложнява от взаимодействието между прокараните близко една до друга изработки, а също от допълнителни фактори като: тектонски сили, литоложка нееднородност, анизотропни свойства на скалите и др. Засега няма общоприет метод за изчисляване на стойността на скалния натиск върху крепежа на минните изработки. Предлагат се различни формули, базираци се на основните положения от скалната механика. В самите изработки скалният натиск се измерва със специални прибори. Най-сериозната опасност при минните изработки представляват скалните удари и внезапното изхвърляне на въглища и газ. Разрушаването на скалите и въглищата има характери на внезапен взрив, съпроводен със силен шум, разклащане и въздушен удар. В резултат на това крепежът се

поврежда или напълно разрушава, изработката се запълва с изхвърлените скали и въглища, като често се обрушва свода. Скалният удар се предшества от други явления, като увеличаване на скалния натиск върху целиците и крепежа, подуване на почвите, изтласкване на целици и др. Скалните удари са едни от най-слабо изучените явления. Те възникват на голяма дълбочина (обикновено над 500 m) и в скали с висока якост и коравина. Скални удари се наблюдават в участъци с максимална концентрация на напрежения и в момент на мигновеното им преразпределение при нарушаване на целостта на скалите. Интензивната тектонска нарушеност винаги благоприятства проявата на това явление. Внезапни удари с голяма сила са наблюдавани в калийните рудници и при извличане на изоставени целици във въглищни мини. При добива на въглища се наблюдават и внезапни изхвърляния на въглища и газ. Подобно на скалните удари това явление е характерно за въглища залягащи сред достатъчно здрави скали, на дълбочина над 200-300 m. На по-малки дълбочини такива изхвърляния са установени в силно дислоцирани скали. Нарушения, като флексурообразни огъвания, разломи и др. помагат за проявата на внезапни изхвърляния. Оводнеността на скалите възпрепятства проявата на това явление.

Подуването представлява изтласкване на почвите от стените на минните изработки. Това явление е свързано главно със скалния натиск и само понякога с увеличаване обема на почвите при набъбване или промяна в свойствата им в резултат на изветряне. Подуването в някои случаи е толкова голямо, че дървен крепеж, а понякога и метален и железобетонен крепеж се разрушават и изработката се запълва с почва. Подуването е най-характерно при изземване на въглища, каменна сол и рудни месторождения. При подземното хидротехническо, транспортно и промишлено строителство също са известни случаи на подуване. В резултат на това явление се намаляват размерите на напречното сечение на изработките, разрушава се крепежа, вентилационните и транспортните съоръжения. Известни са случаи на запълване на изработката изцяло от изтласканите почви само за 4-5 дни. Най-интензивно подуване се наблюдава в глинести разновидности, притежаващи незначително сцепление и вътрешно триене. С увеличаване на дълбочината на

прокарване на минната изработка, към подуване са склонни и разновидности със значителна якост, като глинести и пясъчливи шисти, плътни и здрави аргилити и алевролити, и дори пясъчници. На дълбочина по-голяма от 700 m повечето глинести и пясъчливо-глинести шисти се изтласкват в изработката. При наличие на благоприятни условия глините набъбват. Набъбването нараства с увеличаване на: съдържанието на фракции с глинести и колоидни размери; глинестите минерали с подвижна кристална решетка; заместване в дифузията на дву- и тривалентните катиони с едновалентни, а също с нарушаване на естествената структура.

При градиенти на филтрация по-големи от критичния често се наблюдават прориви на подземни води или водонаситени почви. Предварителното осушаване на оводнените месторождения е най-ефективния начин за борба с подуването на глинестите разновидности. Чрез него се достига снижаване на скалния и филтрационния натиск, които в повечето случаи итраят основна роля за деформациите от подуване.

#### 4.2. Слягане на глинести почви под сгради и съоръжения.

##### Слягане на терена при интензивно водочерпене

Всяко съоръжение със своя товар предизвиква изменения в напрегнатото състояние на земната основа, непосредствено под фундаментите. В зависимост от вида на съоръжението, начина на фундиране и типа на земната основа може да възникнат различни деформации: равномерно и неравномерно слягане, пълзене, изтласкване на пластични маси и други недопустими деформации на основата, които често водят до повреждане на фундаментите и самите конструкции на съоръженията, а понякога имат и фатални последствия. Един от най-известните и уникални примери за неравномерно слягане и пълзене е земната основа на наклонената кула в Пиза, Италия (Фиг. 54). Нейното слягане е продължило от построяването ѝ през 1186 г. до средата на XX век, или повече от 750 години. Височината на кулата е 90 m, а диаметърът ѝ е 30 m. В основата ѝ залягат млади водонаситени пясъчливо-глинести разновидности. Северният край на кулата е слегнал с около 1,2 m, а южният – с около 3 m. Това



неравномерно слягане е причинило наклоняването, което е около  $9^{\circ}$  от вертикалата.



Фигура 54. Наклонената кула в Пиза, Италия

В строителната практика има случаи, когато неравномерното слягане на основата е довело до преобръщане на съоръженията. Примери за това са голям елеватор за зърно и кула в нефтопреработвателен завод в САЩ, които още при първото им запълване са се преобрънали.

Деформациите на земната основа под съоръженията зависят в голяма степен от якостните и деформационните свойства на литоложките разновидности. Здравите магмени, метаморфни и седиментни скали, с кристализационни структурни връзки, се характеризират с якостни показатели, които надвишават предаваните от съоръженията товари. Например, гранит с якост на едноосен натиск 180 МПа, гнайс с якост 160 МПа или варовик с якост 90 МПа практически не се влияят от допълнителния товар на един осем етажен жилищен блок, фундиран върху ивичен фундамент, който предава на основата около 0,2 МПа или един комин, който предава съсредоточен и значителен товар от порядъка

на 2 МРа. По тази причина сляганията на съоръжения, фундирани върху здрави скали са от порядъка на милиметри и не са опасни за устойчивостта на конструкциите.

За еластична, изотропна среда може да се приемат пясъците и чакълите, в които товара от съоръженията се поема от директните контакти между отделните частици. За разлика от скалните разновидности, при несвързаните почви може да се очакват по-големи слягания, дължащи се на закриване на част от обема на порите в тях. Тези слягания от порядъка на няколко сантиметра обикновено се реализират още по време на самото строителство и не застрашават съоръженията.

Големите и най-често неравномерни слягания са най-характерни при фундиране в слаби водонаситени глинести почви, с модул на обща деформация  $M < 5 \text{ МРа}$  и степен на водонасищане  $S_r > 0,8$ . Преобладаващите слаби коагулационни контакти и наличието на микропори, които са запълнени със свободна вода и въздух, определят преразпределението на поровото пространство, изтласкването на водата от порите и големите деформации на земната основа в условията на натоварване. Освен слягане, при увеличаване на товара от съоръженията може да възникнат пластични зони под фундаментите или зони с нарушена структура. В случай, че товарът върху фундаментите нараства постепенно, както това става по време на строителството на едно съоръжение, се наблюдават следните фази на деформиране на земната основа:

- I. Фаза – *слягане на основата в резултат на процеса консолидация*. Под консолидация в земната механика и инженерната геология се разбира уплътняване на свързаните строителни почви с течение на времето, под действие на постоянен товар. В геологията съдържанието на това понятие е по-различно, като под консолидация се разбира постепенно зазравяване на глинестите утайки и литифицирането им до степен на здрави споени скали. Процесът на консолидация протича в два етапа. В етапа на първична филтрационна консолидация товарът се поема главно от водата в поровото

пространство и слягането се дължи на нейното постепенно изтласкване от порите. В етапа на вторична консолидация товарът се поема предимно от структурните връзки между глинестите частици, които се деформират без да се разрушават.

- II. Фаза – в която се *формират пластични зони под ръбовете на фундаментите*. Началото на този процес се определя от нарушаване на структурните връзки между частиците при определен товар, наречен допустим. С увеличаване на товара над допустимия, пластичните зони под ръбовете на фундаментите нарастват и когато те се слоят настъпва следващата трета фаза на деформиране на земната основа.
- III. Фаза – в нея става *изтласкване на пластични маси под фундаментите*. Обикновено този процес е катастрофален за съоръжението, при което то се преобръща или разрушава.

Натоварването от съоръжението  $P_{\text{СЪОР}}$  не трябва да надвишава т.нар. критично натоварване  $P_{\text{КР}}$ , за да не се допуска формирането на опасни пластични зони под фундаментите. Критичното натоварване се определя чрез изследвания на място или по формули, в които се използват лабораторно получени данни за физичните и якостните свойства на земната основа (обемно тегло, ъгъл на вътрешно триене, кохезия и др.). Прогнозирането на слягането на земната основа, което зависи както от деформационните свойства на изграждащите я почви, така и от типа и начина на фундиране на съоръжението, се извършва от специалисти по фундиране. Най-общо разчетите за уплътняване и слягане на земната основа се извършват по две схеми: 1 – по деформации и 2 – по носеща способност. Изчисленията по първата схема се правят обикновено за съвместното влияние на съоръжението и основата, но за предварителни оценки се допуска и прогнозиране на деформациите, без да се отчита влиянието на съоръжението. При условията на многослойна земна основа, представена от глинести разновидности с различни деформационни модули и фундамент със ширина или диаметър по-малък от 10 m, сумарното слягане  $S$  може да се определи по формулата:

$$S = \beta \cdot \sum h_i \cdot P_i / M_i$$

където  $i$  – брой на слоевете в зоната на разпределение на  
напреженията от товара на съоръжението;

$\beta$  - коефициент, равен на 0,8;

$h_i$  – дебелина на всеки слой;

$P_i$  – допълнително напрежение върху всеки слой;

$M_i$  – деформационен модул при компресия за всеки слой.

Получените стойности за слягането по тази ориентировъчна формула се използват при избор на конструкция на фундаментите, след което се прави оценка по носеща способност.

Най-сигурните начини за предотвратяване на големи слягания е предварителното уплътняване и консолидация на земната основа. Консолидацията на почвите се постига чрез допълнително натоварване и водопонижение, вакуумиране и електроосмоза. Начинът за принудителна консолидация на почвите посредством натоварването им от изградени върху тях земни насипи (т.нар. претоварващи насипи) е един от най-древните и най-разпространени методи за подобряване на земната основа. Той е особено ефективен при водонаситени слаби глини, а също и при силно слягащи прахови, органични и заторфени почви. В случаите, когато почвите се характеризират с ниска обемна деформируемост, за сметка на вторичната консолидация, е ефективно прилагането на вертикални дренажи. Това са пясъчни дренажи, разположени вертикално през определено разстояние един от друг, а върху уплътнявания пласт се изгражда претоварващ насип. Под действие на товара от насипа, в почвата възниква допълнителен порен натиск, благодарение на който става изтласкване на водата от порите в дренажите, съпроводено с уплътняване на почвата и повишаване на якостните и деформационните ѝ свойства. Уплътняването на почвите чрез водопонижение става вследствие на това, че понижаването на напора при постоянно общо налягане от отгорележащите почви довежда до нарастване на ефективните напрежения в почвения скелет. Ефектът на принудително напрежение в почви с водопронируемост по-малка от 2 m/24h може да се постигне чрез вакуумиране. Уплътняващото действие на вакуума се обуславя от извличането на свободната и капиллярната вода, което осигурява формиране на допълнително напрежение върху почвения

скелет до 80 kPa, което спомага за уплътняване и заздравяване на почвата. В случаите, когато съпротивлението на водата в порите поради слабото водотдаване и водопропускливост ( $< 0,01 \text{ m}/24\text{h}$ ) е значително и възпрепятства успешното осъществяване на уплътняването, се прилага електроосмотично осушаване. В резултат на придвижване на поровия разтвор към катода, в почвата възниква значително отрицателно налягане, което спомага за нейното уплътняване. Освен тези методи, за уплътняване на силно слегваеми почви се прилагат: уплътняване с много тежка трамбовка; изграждане на колони от грубозърнест материал и дълбочинно заздравяване с вар на прах. За прекратяване на големи слягания на съществуващи сгради са използвани различни видове пилоти.

Интензивното водочерпене може да предизвика слягане на почвите, останали над депресионната повърхност, а също и изнасяне на фини частици по време на самото водочерпене. Слягането протича както епизодично, така и прогресиращо във времето. Най-големи разрушения причинява бавното, наслагдащо се и прогресиращо във времето слягане. Максимални слягания се наблюдават в райони, където в геоложкия разрез преобладават глинести и тинести наслаги. Значителното снижаване на порния натиск при отделяне на свободната вода довежда до увеличаване на ефективните напрежения в твърдия почвен скелет и до т.нар. депресионно уплътняване. Почвите, изграждащи водоносните хоризонти се уплътняват по цялата си дебелина. Преразпределението на напреженията и деформациите в глинестите разновидности, които са практически водоупори, може да става както по цялата дебелина на пласта, така и само в отделна част, наричана зона на уплътняване. При понижаване нивото на подземните води с 10 m, се увеличава натоварването от отгорележащите разновидности от порядъка на  $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ . Установено е, че отношението на слягането на повърхността към понижението на нивото на подземните води е от 1:500 до 1:10, в зависимост от състава и степента на водонасищане на почвата, от дълбочината на залягане и от дебелината на водоносния хоризонт.

Диаметърът на депресионната повърхност при интензивно водочерпене достига десетки и стотици километри. Дългогодишната и интензивна експлоатация на вододобивните съоръжения в много градове

по света – Мексико, Токио, Осака, Венеция, Талин и др. – е една от основните причини за регистрираните значителни слягания на техните територии. За 50-годишен период на черпене на подземни води в района на Токио е установено слягане над 3 m, а в района на Осака – над 2 m. В мексиканската столица, която е построена върху мощен пласт миоценски и кватернерни наслаги (90-300 m), представени от редуващи се чакъли, пясъци, глини, тини и варовици, също са регистрирани едни от най-големите слягания на земната повърхност. Средното понижение за около 80-годишен период е 5,6 m, като в отделни участъци са отбелязани слягания надхвърлящи 7-10 m. Неравномерното слягане е довело до разрушаване на някои сгради и до аварии на ВиК мрежата в града. При намаляване на черпеното количество вода е установено значително снижаване и дори задържане на скоростта на потъване на тези градове. Например, в средата на XX в. много от водоснабдителните сондажи в Токио и Осака не са работели и слягането на земната повърхност се е преустановило за период от 5-7 години. Пример за слягане на земеделска площ вследствие на експлоатация на подземни води е долината Санта Клара в Калифорния, САЩ, където теренът се е понижил средно с 1 m на площ около 260 km<sup>2</sup>. Щетите от това слягане и разходите за възстановяване на вододобивните и хидромелиоративните съоръжения са възлезли на 14 млн. долара.

Рационалната експлоатация на подземните води и точните изчислителни схеми на водопонизителните системи могат в голяма степен да намалят опасността от проява на големи и нежелателни слягания на повърхността. В някои случаи за прекратяване на сляганията е прилагано нагнетяване на състен въздух в дълбочина. До тези мерки, които са изключително скъпи и възстановяват само частично първоначалната природна обстановка, е прибегнано само след изпомпване на нефтени залежи.

#### 4.3. Набъбване и свиване на глинени в основата на сгради и съоръжения – класификация, показатели за набъбване, фактори влияещи върху набъбването и свиването, мерки за борба

Набъбването е способността на дисперсните почви да увеличават обема си при взаимодействие с вода или разтвори. Това явление е свързано с хидрофилните свойства и голямата относителна повърхност на финодисперсните глинести частици. Факторите, които определят параметрите на набъбване са:

- Състав и строеж на глинестата почва.
- Химически състав и концентрация на водния разтвор.
- Големината на прилагания върху почвата външен товар.

Наличието на минерали с подвижна кристална решетка, като монтморилонит; съдържанието на едновалентни катиони в обменния комплекс, като литий и натрий и на финодисперсно органично вещество засилват набъбването. При циклично навлажняване-изсъхване се увеличава степента и напрежението на набъбване. Към набъбващите разновидности се отнасят всички почви, които се характеризират с относително набъбване  $\epsilon_{sw} \geq 0,04$ . Относителното набъбване се определя по формулата:

$$\epsilon_{sw} = (h_{sw} - h)/h$$

където  $h_{sw}$  – височина на образеца, след неговото свободно набъбване при невъзможност за странично разширение;

$h$  – начална височина на образеца при естествено водно съдържание.

Според стойностите на относителното набъбване  $\epsilon_{sw}$  почвите се разделят на:

- Ненабъбващи –  $\epsilon_{sw} < 0,04$
- Слабо набъбващи –  $0,04 \leq \epsilon_{sw} \leq 0,08$
- Средно набъбващи –  $0,08 \leq \epsilon_{sw} \leq 0,12$

- Силно набъбващи –  $\epsilon_{sw} > 0,12$ .

В лабораторни условия освен относителното набъбване се определят водното съдържание на набъбване и напрежението на набъбване. Водното съдържание на набъбване е това, което съответства на състояние на почвата, при което се прекратява поглъщането на вода от нея. Напрежението на набъбване е натискът, който се развива при отсъствие на възможност за обемна деформация вследствие набъбване на почвата. Набъбващите почви се характеризират и със свиване при изсъхването им. Периодичното навлажняване-изсъхване води до значителни обемни деформации на набъбващите почви, при което плитко фундирани и леки сгради и съоръжения се напукват и деформират (Фиг. 55).



Фигура 55. Напукване на сгради в гр. Вършец в резултат на набъбване и свиване на почвите в основата им

Набъбването на глинестите почви нанася редица щети и икономически загуби, ако то не бъде отчетено преди провеждане на строителните работи. Колкото и парадоксално да изглежда, направените в САЩ оценки на щетите нанесени от различни геоложки опасности показват, че стойността на повредите на пътища, фундаменти, канали и др., нанесени



от набъбване, ежегодно възлизат на 2,2 млрд. долара, което е почти колкото и щетите, нанесени от всички останали опасности (земетресения, свлачища, наводнения, абразия и др.). Тези цифри показват, че набъбването макар и да не взема човешки жертви, не трябва да се подценява при оценката на геоложките опасности за дадена територия.

За борба с набъбването се прилагат конструктивни мерки и подобряване на свойствата на земната основа. Основните конструктивни мерки са: изграждане на стоманобетонни колони и пояси; увеличаване на етажността на сградите за компенсиране на напрежението на набъбване и по-дълбоко фундиране с преминаване на набъбващия пласт. Някои от конструктивните мерки се прилагат и при вече деформирани сгради. За подобряване свойствата на земната основа се използват: изграждане на подложки и възглавници от несвързани почви (чакъл и пясък), а също фундиране върху местната почва, заздравена с вар. Тези методи дават много добър ефект при масовото строителство.

#### 4.4. Втечняване на пясъци – истински и псевдоплаващи пясъци, основни свойства и мероприятия за защита

Втечняване се нарича способността на водонаситени дисперсни почви да преминават в течащо състояние. С такива свойства се отличават обикновено прахови и дребнозърнести, глинести пясъци, но в редица случаи втечняване проявяват и несвързани почви с по-едър зърнометричен състав. Някои изследователи различават истински (активни) плаващи пясъци и псевдоплаващи (пасивни) пясъци. *Истинските плаващи пясъци* имат в състава си колоидна фракция (частици с размер по-малък от 0,1  $\mu\text{m}$ ) и притежават ярко изразени тиксотропни свойства. Тиксотропия е самопроизволно възстановяване на структурата на дисперсните системи, след като тя е била нарушена, при постоянно водно съдържание. Времето за възстановяване на тиксотропните структури може да е от 10-15 min до цяло денонощие. Втечняването на *псевдоплаващите пясъци* се обуславя от наличието на хидродинамичен натиск. При тях втечняването се обяснява със загуба на вътрешно триене между частиците. Протичане настъпва при изравняване

на хидродинамичния натиск с геоложкия товар или когато хидравличния градиент надвиши определена критична стойност. За псевдоплаващите пясъци критичният градиент  $I_k$  може да се определи по формулата:

$$I_k = (\rho_s - 1) / (1 + e)$$

където  $\rho_s$  – специфична плътност на почвата ( $\text{g/cm}^3$ );

$e$  – коефициент на порите, в части от единицата.

При запълване на поровото пространство на пясъците с фино дисперсно неорганично или органично вещество, рязко намалява водопропускливостта на почвата и се улеснява преминаването ѝ в плаващо състояние. Колоидната фракция в плаващите пясъци може да съдържа: жива органика (някои видове бактерии), мъртва органика (продукти от разлагането на органичните вещества) и неорганични вещества.

Най-често във втечнено състояние преминават пясъци с критична порестост. Последната се определя по различни методики с помощта на срязващи апарати. Втечняването може да протича както бавно, така и бързо във вид на прорив. Катастрофално бързото движение на плаващите пясъци представлява голяма опасност при строителните и минните работи. Например, при прокарване на метрото в Санкт Петербург е станал прорив на втечнени пясъци на дълбочина около 80 m, като хиляди кубически метри за много кратко време са запълнили частично готовата изработка, а на земната повърхност се е появила мулда на слягане. Наличието на водонаситени плиоценски пясъци, склонни към втечняване беше една от главните причини да се избере сегашния вариант на Софийското метро, чиито съоръжения са почти на повърхността.

Плаващите пясъци имат недостатъчно плътен строеж и затова при натоварване те се уплътняват, изтласкват и се образуват прориви. Това означава, че са неустойчиви не само при разкриването им в строителни изкопи и подземни изработки, но че са и слаба основа за строителство на различни сгради и съоръжения. Втечняващите се пясъци поради своя специфичен състав, състояние и свойства попадат в групата на т.нар. структурно-неустойчиви или особени строителни почви.

В зърнометричния състав на истинските плаващи пясъци преобладават дребнозърнеста (0,25-0,1 mm) и финозърнеста (0,1-0,05 mm) пясъчни фракции. Освен това за тях е характерно значително съдържание на прахова фракция (0,05-0,002 mm) и наличие на глинеста фракция (<0,002 mm), която обикновено не надвишава 10%. Плаващите пясъци се характеризират със специфичен зърнометричен състав, но не трябва дадена почва да се причислява към тази група само по състава си. Важно е да се знае как особеностите в състава се отразяват на способността на почвите към втечняване. Минералният състав на истинските плаващи пясъци е сравнително еднообразен. Основната част на глинестата фракция е органично вещество, глинести минерали от типа на хидрослюди и каолинит, и по-рядко монтморилонит, а също оксиди на силиция, алуминия и желязото. В праховата и дребнозърнестата пясъчна фракции преобладават кварцовите зърна, като присъстват още фелдшпати, слюди и по-рядко други минерали.

Вземането и изпитването на ненарушени проби и изследването на физичните и механичните свойства на плаващите пясъци в условията на естественото им залягане е твърде сложно и не винаги е възможно. По тези причини съществуват малко достоверни данни за охарактеризиране на физико-механичните свойства на тези почви. Значително повече са данните за свойствата им в нарушено състояние. Плаващите пясъци се отличават с ниска обемна плътност, обикновено под  $1,6 \text{ g/cm}^3$ , висока порестост (най-често коефициента на порестост е по-голям от 0,7), слаба водопронируемост (коефициента на филтрация е по-малък от  $1 \text{ m/24h}$ ) и слабо водоотдаване (коефициента им на водоотдаване е по-малък от 0,2). В естествени условия на залягане плаващите пясъци имат много ниско съпротивление на срязване. Ъгълът им на естествения откос е от  $3^{\circ}$ - $4^{\circ}$  до  $8^{\circ}$ - $9^{\circ}$ . Според изследванията на някои автори втечняване на пясъците може да се предизвика от определени микроорганизми, които вследствие на жизнената си дейност отделят газообразни продукти. Натрупването на тези продукти води до създаване на допълнително налягане в течната фаза, в резултат на което водонаситения пясък се втечнява и протича.

В потенциално опасните към втечняване участъци е необходимо да бъдат изяснени:

- Дълбочина на залягане на плаващите пясъци, условия на тяхното залягане, дебелина на плаващите почви, разпространението им, състав и състояние на отдолу и отгоре залягащите строителни почви.
- Геоморфоложки условия на участъка.
- Състав и физико-механични свойства на плаващите пясъци, особено плътностните характеристики, тиксотропност, водоотдаване, водопропускливост, съпротивление на срязване и деформируемост в естествени условия на залягане.
- Хидрогеоложки условия - дълбочина на залягане на подземните води, стойностите на напора и др.

При строителство върху плаващи пясъци, които не са предварително заздрави или уплътнени, е необходимо да се спазва условието товарът, който се предава да не предизвиква голямо и неравномерно слягане на съоръжението, което да се окаже опасно за устойчивостта и нормалната му експлоатация. За тази цел при плитко фундиране се прибегва до: уголемяване на фундаментите, намаляване на нормативните натоварвания, изграждане на подфундаментна възглавница от трошен камък или чакъл. Осъществяват се и конструктивни мерки за увеличаване на коравината на конструкцията и на нейната гъвкавост по отношение на неравномерни и значителни слягания. В случаите на плитко залягане и малка дебелина на плаващите пясъци обикновено се прилага дълбоко фундиране достигащо до залягащите под тях по-плътни и по-устойчиви почви, или строителният изкоп се прави по-дълбок и се фундира върху чакълена възглавница. При последния вариант за предпазване на изкопа от изтичане на втечен материал се изгражда шпунтова или шлицова стена по контура му. Друга мярка, която се взема за стабилизиране на изкопните работи, е понижаване на нивото на подземните води чрез дренажни съоръжения. При истинските плаващи пясъци, които са с ниска водопропускливост и водоотдаване, осушаването протича бавно и при тях

по-често се прибегва до използване на иглофилтри. Най-често прилаганото дълбоко фундиране е посредством пилоти и спускащи се железобетонни пръстени.

За изкуствено подобряване свойствата на плаващи пясъци успешно се използват двуразтворна силикатизация и електроосмотично осушаване. Напоследък много добри резултати при склонни към втечняване пясъчливи почви са постигнати с виброфлотация и след изграждане на баластрови колони. При строителство на подземни съоръжения, особено метрополитени, се прилага замразяване на плаващите пясъци. То се осъществява, като в предварително прокарани сондажи циркулират охлаждащи разтвори, съдържащи  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ , амоняк, фреон и др., с температура минус  $22^{\circ}\text{C}$ - $25^{\circ}\text{C}$ , които създават зона от замразена водонепропусклива почва, в която могат нормално да се провеждат подземни изкопни и укрепителни работи. Макар и временно мероприятие, замразяването е твърде универсален метод, т.к. може да се прилага в широк диапазон дълбочини, в разновидности с различен литоложки състав и различна степен на водонасищане, а също и при различна минерализация на подземните води. Ефектът от замразяването може да се удължи, като то се комбинира с други методи на заздравяване, например с циментация.