

Лекція 3. ЗСУВИ БОРТІВ КАР'ЄРІВ

Зсуви – повільний рух мас гірських порід, що складають відкос, який відбувається по нерухомому масиву. Частина порід переміщується по нерухомому масиву по поверхні ковзання (*СМЛ*, рис. 3.1). Характерною рисою зсувів є повільний (від декількох хвилин до декількох років) розвиток деформацій з наступним швидким обваленням масиву. Даний вид деформацій є найбільш великим за розмірами захоплюваних ділянок.

Виходячи з місця розвитку зсувів і будови порід масиву, що деформується, виділяються три групи зсувів: зсуви бортів і уступів, зсуви відвалів, зсуви природніх схилів.

За видом поверхні ковзання, її просторовому положенню, причинам і умовам виникнення, особливостям протікання розрізняють наступні підгрупи зсувів: контактні, ізотропних масивів, глибинні та насувні зсуви випирання, фільтраційні зсуви.

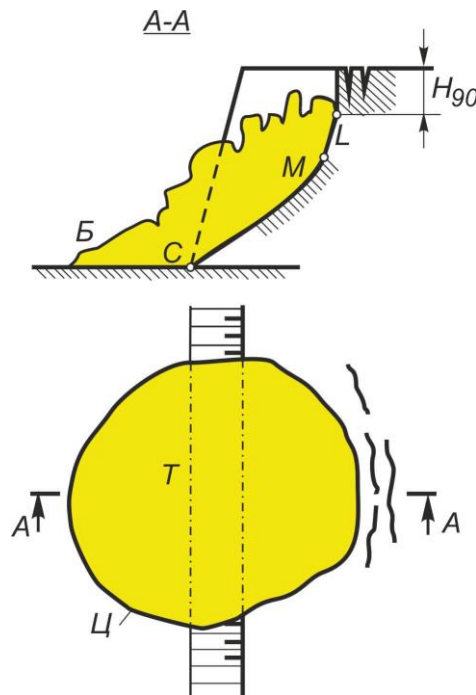


Рис. 3.1. Морфологія зсуву:

*T – масив порід, що оповзають; Б – вал випирання
; Ц – зсувний цирк*

Характерним для усіх видів зсувів є зсув мас по поверхні ковзання, положення якої визначається: міцністю порід у масиві, наявністю тріщин і ослаблених контактів, щільністю порід, наявністю води, кутом укосу і його висотою.

Поверхня ковзання може бути плоскою, якщо вона збігається з контактом шарів, що падають убік кар'єру (рис. 3.2).

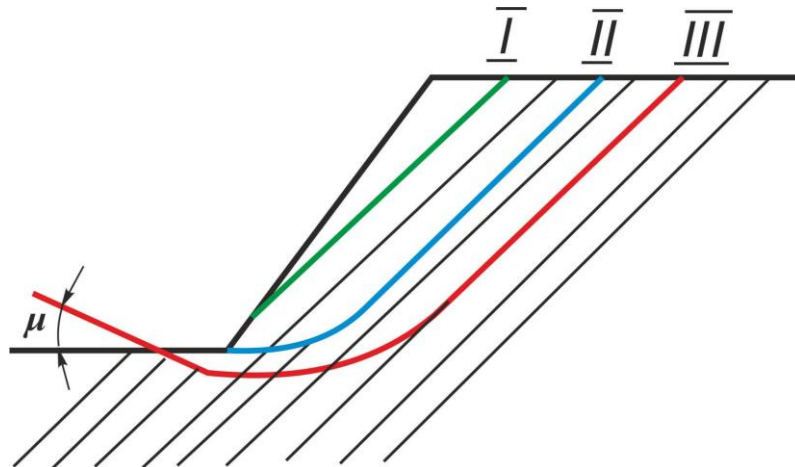


Рис. 3.2. Можливі положення поверхні ковзання (I, II, III) при наявності шарів, що падають убік кар'єру

При наявності шаруватості, тріщин великої довжини й інших структурних ослаблень масиву поверхня ковзання може мати складну форму (рис. 3.2, II, III), що частково збігається зі структурним ослабленням масиву, а в іншій частині перетинати його. В однорідних породах поверхня ковзання близька до круглоциліндричної. У найбільш загальному виді поверхня ковзання являє собою комбінацію круглоциліндричної і плоских поверхонь, що збігаються зі структурними ослабленнями.

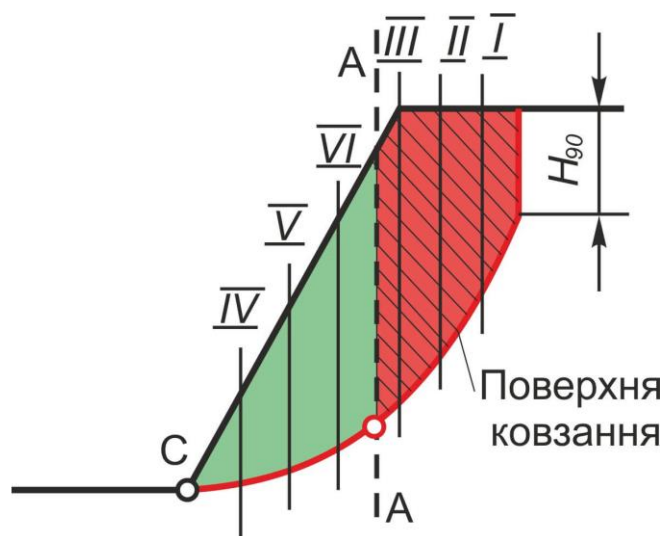


Рис. 3.3. Розподіл призми обвалення:

a – на призму упору; *б* – призма активного тиску

Характерним для поверхні ковзання в однорідному масиві звичайно є наявність у верхній її частині вертикальної ділянки (рис. 3.1) – майданчика відриву висотою

$$H_{90} = \frac{2k}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^\circ - \frac{\rho}{2}), \quad (3.1)$$

де k – коефіцієнт зчеплення породи;

C – кут внутрішнього тертя порід;

γ – питома вага, т/м³.

Ця ділянка утворюється під дією механічних напружень розтягу при зсуві масиву, що сповзає повернутися навколо нижньої бровки (точка C на рис. 3.1). В результаті на верхньому майданчику відкос, що деформується, з'являються заколи (тріщини), одна з яких, з розвитком зсуву перетворюється в тріщину відриву. Нижче вертикальної ділянки H_{90} є прямолінійна ділянка LM (див. рис. 3.1), нахилена під кутом $(45^\circ - \frac{\rho}{2})$ до вертикалі. Далі поверхня ковзання переходить у криволінійну, перетинаючи відкос під кутом $\mu = 45^\circ - \frac{\rho}{2}$ або виходячи в підшову укосу (при $\rho < 13^\circ$) під таким же кутом. Заколи характеризують глибину розвитку деформацій.

Масив порід, що сповзає (T на рис. 3.1) називається тілом зсуву або призмою обвалення. По поверхні ковзання (і взагалі в масиві) діють утримуючі сили ΣF_{ym} (за рахунок тертя й зчеплення) та сили зсуву ΣF_{zc} (маса порід і гірниче устаткування). У тому випадку, якщо сума сил утримуючих більше суми сил зсуву, відкос перебуває в стійкому стані. При їхній рівності настає стан граничної рівноваги. І нарешті, коли сили зсуву більше утримуючих, відбувається порушення стійкості та відкос починає сповзати (деформуватися).

Очевидно, якщо розділити відкос на вертикальні, блоки (I, II, III і т.д.) (див. рис. 3.6) і порівняти утримуючі та сили зсуву у кожному блоці уздовж потенційної поверхні ковзання, то у верхній частині укосу буде спостерігатися перевага сил зсуву, а в нижній утримуючих сил. У деякому перетині $A-A$ утримуючі сили будуть рівні силам зсуву. Цей переріз ділить призму зсуву на призму активного тиску (b на рис. 3.3), де $\Sigma F_{zc} > \Sigma F_{ym}$, і призму упору (a на рис. 3.3), де $\Sigma F_{zc} < \Sigma F_{ym}$.

У плані масив, що сповзає, утворює зсувний цирк ($\mathcal{C}$ на рис. 3.1). На поверхні тіла зсуву утворюється характерний зсувний рельєф, а в нижній частині зсуву нерідко виникає вал випирання B .

У першій фазі розвитку зсуву напруги по поверхні ковзання виходять за межі пружних і починається пластичне деформування масиву. При цьому міцність порід знижується спочатку в середній частині поверхні ковзання, у результаті чого більше навантаження лягає на сусідні зони. У зв'язку з тим, що сили зсуву переважають у верхній частині, тобто в призмі активного тиску, зона пластичних деформацій поширюється переважно нагору. На поверхні утворюються тріщини відриву та відбувається осідання породи. У нижній частині укосу видимих деформацій ще не спостерігається, а в середній частині можуть спостерігатися зсуви (випирання відкосу).

У міру розвитку зсуву деформація по поверхні ковзання збільшується та досягає нарешті, такої величини, коли по всій (або майже усій) поверхні ковзання долаються сили зчеплення. Ця величина абсолютного зсуву одержала назву критичної величини деформації $\Delta l_{кр}$ (рис. 3.4). Абсолютні значення величини зсуву, віднесені до одиниці часу, тобто швидкість деформації в першій фазі розвитку зсуву (I на рис. 3.4), є незначними та поступово збільшуються. У момент подолання сил зчеплення по поверхні ковзання швидкість деформації досягає критичного значення v_k . Починається друга активна стадія розвитку зсуву й відбувається обвалення частини масиву порід.

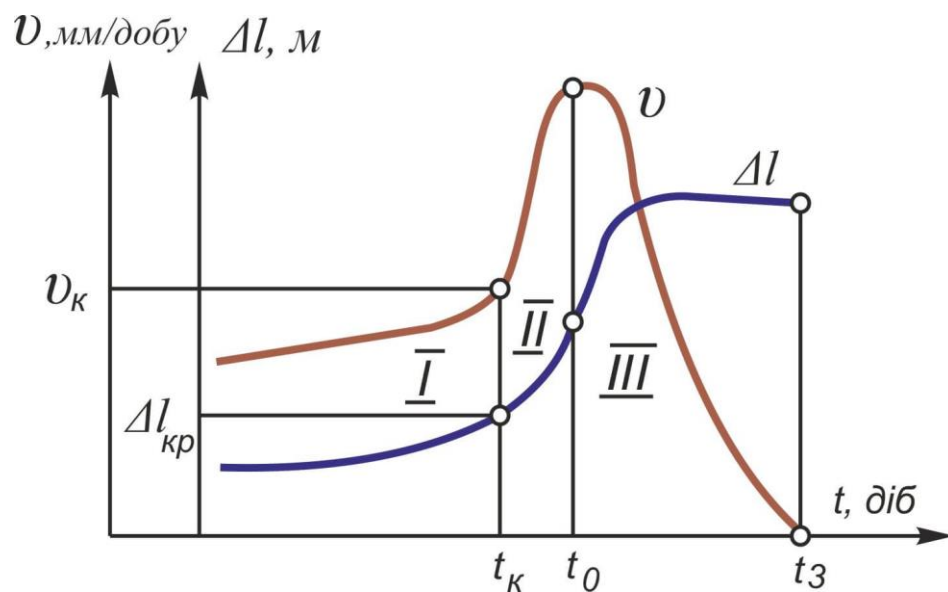


Рис. 3.4. Зміна швидкості (v) і величини зсуву (Δl) у процесі розвитку зсувів

До початку другої, активної фази розвитку зсуву, якщо поверхня ковзання (див. рис. 3.4, *II*) захоплює основу відкосу, на ньому буде зафіксоване обдимання порід, яке потім може перейти у вал випирання. У цей період рух сповзаючих мас, визначається тертям по поверхні ковзання. Через те, що зсув та швидкість його окремих частин товщі неоднакові, відбувається дезінтеграція, утворюються тріщини (найчастіше орієнтовані паралельно основній тріщині відриву), горби та западини. При розвитку зсуву в пластичних породах яскраво проявляється хвилеподібний характер руху зсувних мас - поверхневі ділянки поринають у глиб тіла, а потім при наступному русі вниз знову з'являються на поверхні. Потенційна енергія масиву переходить у кінетичну та за рахунок накопиченої енергії руху рухома маса далеко просувається вперед, розташовуючись під кутом, що зазвичай не перевищує 15–20°. При зволоженні сповзаючих мас вони можуть розтікатися під кутом 12–14°, а в деяких випадках переходити в опливини.

При досягненні певної величини язика зсуву (Δl на рис. 3.4) збільшується значення утримуючих сил і створюється рівновага – швидкості зсувів зменшуються, зсув стабілізується, починається третя фаза його розвитку, фаза загасання (*III* на рис. 3.4).

При **контактних** зсувах (рис. 3.5) поверхня ковзання на більшій частині проходить по ослаблених контактах, представлених тріщинами великої протяжності, поверхнями прадавніх зсувів, контактами шарів або шарами, що мають менші значення зчеплення та кута внутрішнього тертя, ніж породи, що складають відкос. Якщо падіння цих ослаблених контактів спостерігається убік вилучення під кутом, меншим кута внутрішнього тертя, природна міцність порід достатня для втримання їх у рівновазі протягом тривалого часу. У більшості випадків при заляганні ослаблених сухих шарів під кутом, меншим 25-30°, і висоті уступів до 15-20 м розвиток зсувів по підтятих контактах не спостерігається. Якщо ж породи обводнені, набрякають або контакти послабляються якими-небудь іншими факторами, то по ним можуть відбуватися зсуви. У цьому випадку розвиток контактних зсувів спостерігався при кутах падіння шарів 10-12°. Найбільш частою причиною розвитку контактних зсувів є обводнення ослабленого контакту, представленого породами, схильними до набрякання.

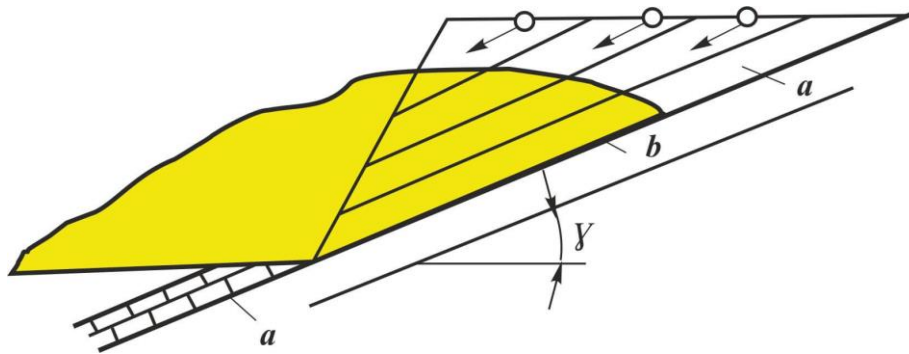


Рис. 3.5. Контактний зсув:

а – водопроникний вапняк; б – глинистий проширок (поверхня ковзання)

Характерною рисою розвитку зсувів контактного типу є паралельність векторів зсуву по всій поверхні тіла зсуву й поверхні ковзання.

Зсуви контактного типу спостерігалися на цілому ряді, вугільних кар'єрів.

Покривні зсуви – це окремий випадок контактних зсувів. Їхньою характерною рисою є зсув пухких, як правило, сильно зволжених порід по покрівлі, що підстиляють корінні породи, та мають нахил убік кар'єру (рис. 3.6).

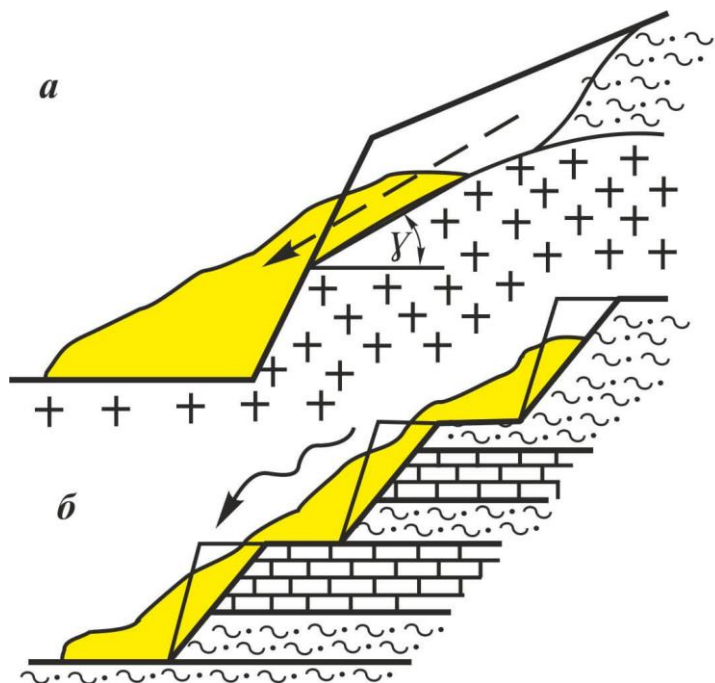


Рис. 3.6. Покривні зсуви

Розрізняють покривні зсуви двох типів:

1. При розробці родовищ на схилі височин, кар'єром може бути підсічений контакт корінних порід і слабких пухких порід (рис. 3.6, *а*). Зсуви цього типу можуть відбуватися при кутах нахилу навіть менше $10-15^\circ$ і захоплювати значні по потужності товщі порід).

2. На неробочих бортах кар'єрів, де тривалий час накопичуються продукти вивітрювання відкосів піщано-глинистих порід, утворюється вторинний покрив (рис. 3.6, *б*). При зволоженні цієї маси, вона може стати нестійкою та почати рух униз по укосу борта, згладженому вивітрюванням.

При зволоженні сповзаючих мас зсув може перейти в опливіну.

Зсуви ізотропних масивів відрізняються від розглянутих раніше покривних і контактних зсувів відсутністю фіксованих поверхонь ослаблення (рис. 3.7). Положення поверхні ковзання визначається фізичними властивостями порід, формою й розміром укосу й іншими факторами. Найбільше часто подібні, зсуви виникають при завищенні кута укосу й висоти борту, а також при наявності слабофільтруючих глинистих порід (суглинки, глини, слабкі алевроліти) і їх обводнюванні. Через обводнювання порід та їх низькі фільтраційні властивості збільшується водонасиченість масиву, відбувається набрякання та розміцнення глин, що в остаточному підсумку призводить до розвитку зсуву. У затоплених відкосах на розвиток зсуву значно впливає гідростатичне зважування, що знижує ефективну величину ваги порід, що зменшує сили тертя по поверхні ковзання.

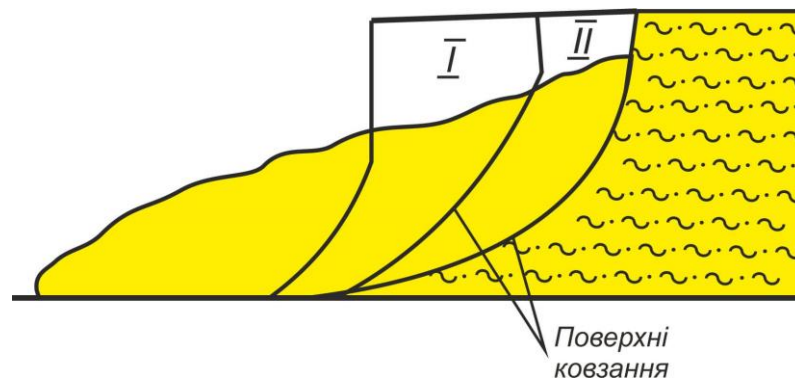


Рис. 3.7. Зсув ізотропного масиву:
I, II – стадії розвитку зсуву

Для розвитку зсувів ізотропних масивів характерним є їх циклічний розвиток (див. рис. 3.7). Ширина розвитку деформації при кожному циклі

становить 6-8 м і залежить від пластичних властивостей, а також висоти відкосу. Зсуви маси порід в межах зсувного цирку розташовуються під кутом $12-14^\circ$ і при подальшому зволоженні можуть переходити в текучий стан, тобто опливіну.

Глибинні зсуви відбуваються в шаруватих породах висячого й лежачого боків і захоплюють, як правило, найбільші обсяги порід у порівнянні з іншими видами зсувів. Вони поділяються на: глибинні зсуви шаруватих порід лежачого боку, зсуви-насування, зсуви випирання. Два останні типи зсувів характерні для шаруватих порід висячого боку.

Глибинні зсуви шаруватих порід лежачого боку (рис. 3.8) бувають на кар'єрах, що розробляють шари з пологим падінням убік виробленого простору за умови підстилання їх слабкими глинистими породами.

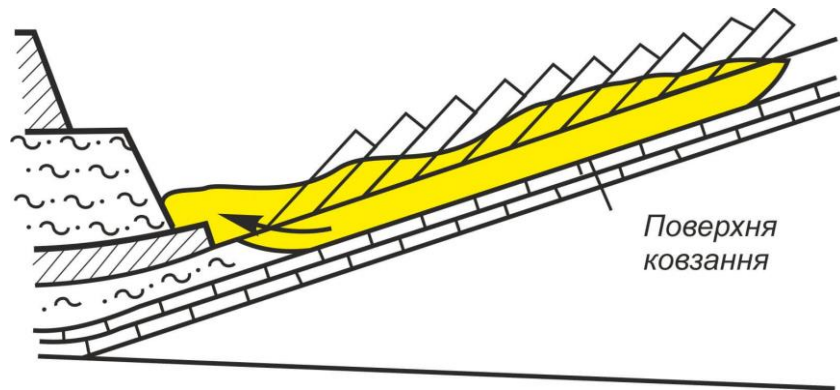


Рис. 3.8. Глибинний зсув шаруватих порід лежачого блоку

Основною причиною виникнення й розвитку зсуву є наявність напірних вод у шаруватих породах лежачого боку. Розвиток зсуву з цієї причини відбувається через значний час після вилучення. Якщо причиною розвитку є круті кути відкосу неробочого (лежачого боку) борту, зсуви починаються безпосередньо за вилученням.

Поверхня ковзання (рис. 3.8) в основному проходить по нашаруванню порід з кутом падіння від 6 до $15-30^\circ$. У верхній частині вона має криволінійну форму з кутами нахилу, що досягають $65-70^\circ$. У нижній частині поверхня ковзання проходить також по криволінійній поверхні, перетинаючи шари.

Поверхня ковзання може залягати на значній глибині від дна кар'єру (до 25–30 м). По падінню й простяганню розміри зсувних ділянок досягають сотень метрів, а за обсягом порід, що рухаються, є найбільшими із усіх видів зсувів.

В усіх випадках розвитку глибинних зсувів лежачого боку в зоні поверхні ковзання спостерігається підвищена (до 45–50%) вологість порід.

Зсуви випирання є глибинними зсувами порід висячого боку (рис. 3.9).

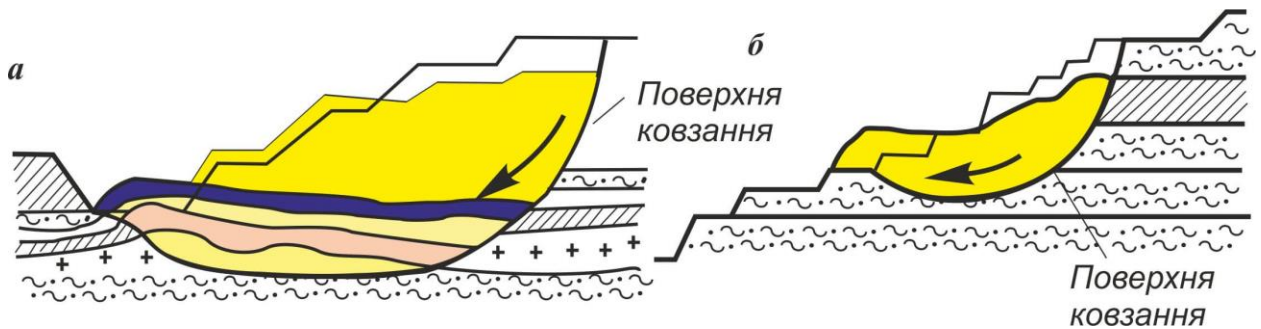


Рис. 3.9. Глибинний зсув випирання:

а – на дні; б – на борті кар'єру

Умовою виникнення зсуву є наявність на розкритих кар'єром породах висячого боку слабких пластичних глин або слабких контактів між шарами, властивості міцності яких значно менші характеристик вищележачих порід. Причиною виникнення зсуву є обводнення порід за рахунок водойм поблизу кар'єру або атмосферних опадів, а також завищені кути нахилу борту кар'єру. Розвитку зсувів випирання можуть сприяти напірні водоносні горизонти, розташовані нижче підосви кар'єру. Поверхня ковзання (ПК) зсувів випирання на більшій своїй частині звичайно проходить нижче підосви кар'єру (рис. 3.9) у межах слабого шару або контакту. У нижній частині ПК виходить на деякій відстані від нижньої бровки відкосу борта, де утворюється вал випирання. У верхній частині ПК проходить по криволінійній поверхні, перетинаючи шари. Характерним для зсувів випирання є вертикальний рух порід у верхній частині зсуву. У середній частині, поряд з вертикальним зсувом, спостерігається переміщення убік кар'єру, а в нижній частині – підняття порід.