УДК 624.131

Г.П.ПОСТОЕВ
ВСЕГИНГЕО

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ СКЛОНА

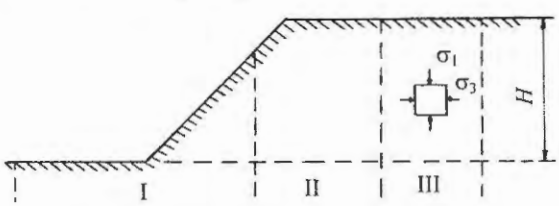
Удаление части горных пород при формировании природных склонов и искусственных откосов приводит к снижению коэффициента бокового давления в приоткосной зоне и к уменьшению горизонтальных напряжений в соседних двух зонах грунтового массива. Это приводит к росту деформаций, а в результате к осадке за счет пластического деформирования и микросдвигов структурных связей. На ряде объектов в результате изменения напряженно-деформируемого состояния пород в приоткосной зоне отмечены аварийные ситуации.

Disposal of a part of rocks while forming natural and artificial slopes results in the reduction of side pressure coefficient in the near slope zone and the decrease of horizontal pressure in the two adjacent zones of the earth's massif (see figure). It results in deformations growth in these two zones, and, consequently, in subsidence on account of plastic deformations and microslips of structural links. At a number of objects as a result of change of the strained-deformed condition of rocks in the near slope zone emergencies have been observed.

Одной из основных причин возникновения оползневых деформаций по В.Д.Ломтадзе* является изменение напряженного состояния горных пород в зоне формирования склона или создания откоса. В частности, им выделено три подзоны, приведенные на рисунке, различающиеся как характером изменения напряжений в массиве горных пород, так и развитием деформаций.

До образования склона (откоса) массив горных пород находился в равновесном состоянии (состоянии «покоя»), при котором коэффициент бокового давления близок к единице, а напряженное состояние в массиве соответствует условиям гидростатического сжатия ($\sigma_1 \approx \sigma_2 \approx \sigma_3$). Удаление части массива горных пород в подзоне I, как отмечал В.Д.Ломтадзе, вызывает разгрузку напряжений, разуплотнение и раскрытие трещин в породах. Другим важным следствием процессов, происходящих в подзоне I, является снижение коэффициента бокового давления и соответственно горизонтальных напряжений в подзонах II и III, повышающее деформативность горных пород в этих зонах на горизонтах массива, где вертикальные сжимающие напряжения превышают структурную прочность $\sigma_{стр}$ пород, вызывают уплотнение и осадку массива за счет пластического деформирования и микросдвигов структурных связей.

Действительно, согласно теории прочности Кулона – Мора $\sigma_{стр}$ может быть определена из диаграммы сдвига по диаметру предельного круга Мора, проходящего через начало координат (т.е. при $\sigma_3 = 0$), а также вычислена по формуле



Подзоны изменения напряженного состояния пород в зоне формирования склона или образования откоса по В.Д.Ломтадзе: I – разгрузки напряжений, разуплотнения; II – концентрации напряжений, раздавливания; III – естественных напряжений

* *Ломтадзе В.Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.

$$\sigma_{стр} = 2c\,\mathrm{ctg}(45 + \varphi/2),$$

где c и φ – соответственно сцепление и угол внутреннего трения.

В соответствии с теорией и экспериментальными данными $\sigma_{стр}$ численно равна прочности пород при одноосном сжатии.

Если $\sigma_1 > \sigma_{стр}$, прочность структурных связей, составляющих несущий каркас любого элементарного объема горных пород в массиве, полностью отмобилизована и в условиях невозможности бокового расширения приращение $\Delta\sigma_1$ вызывает соответственное увеличение бокового противодавления окружающих горных пород $\Delta\sigma_3$, сохраняя исходное состояние элемента. Однако возникновение условий снижения σ_3 при $\sigma_1 = \text{const}$ неизбежно приводит к появлению поперечных деформаций, уплотнению за счет этого элементарного объема и к осадке соответствующей части массива горных пород. При этом, по мере увеличения разности $\sigma_1 - \sigma_3$ на диаграмме сдвига наблюдается рост кругов Мора и соответственно касательных напряжений, приближение к предельному состоянию, которое, как известно, также характеризуется пропорциональной зависимостью между горизонтальными напряжениями и частью вертикальных, превышающей $\sigma_{стр}$:

$$\sigma_3 = (\sigma_1 - \sigma_{стр})\mathrm{tg}^2(45 - \varphi/2).$$

Эта зависимость и ее влияние на формирование подзон I-III подтверждается многочисленными экспериментальными исследованиями и натурными наблюдениями за состоянием массива горных пород при образовании склона (откоса, котлована).

Снижение σ_3 до значения активного бокового давления (в 4-5 раз по сравнению с состоянием «покоя») приводит к возникновению предельного состояния в прибровочной части склона (подзона II) и возможному образованию по схеме сжатия оползневого блока*.

Однако и на допредельном этапе изменение напряжений в подзонах II и III, а также возникающая в связи с этим неравномерная дополнительная осадка могут вызвать аварийное повреждение существующих сооружений. На подрабатываемой территории здания, находящиеся в пределах мульды оседания, испытывают подобные деформации («врезание») по той же причине – повышению деформативности горных пород.

Экспериментальные исследования показывают, что чем выше давление на штамп (фундамент), тем интенсивнее рост осадки массива при развитии процесса снижения горизонтальных напряжений (бокового давления).

Возникновение деформаций в массиве горных пород вследствие разгрузки напряжений при образовании полости известно давно. Это свойство использовано в методе частичной разгрузки для определения напряжений по измеряемым деформациям пород в фиксированных точках массива. Однако здесь рассматривается фаза развития упругих деформаций горных пород. Тот факт, что образование склона (откоса, котлована) может вызвать глубокую разгрузку напряжений, захватив горизонты, где $\sigma_1 > \sigma_{стр}$ и соответственно породы находятся в фазе пластического деформирования, нередко не рассматривается как возможная причина повышения деформативности массива, осадки прилегающей территории и выхода из строя сооружений, даже значительно удаленных от бровки.

На обводненных участках склона развитию указанных процессов благоприятствует возникновение оползней разжижения, оплывин в подзоне I, а также проявление гидродинамического давления, способствующего снижению σ_3 и прогрессирующему развитию осадки массива в подзонах II и III. Общая протяженность последних может достигать 10 Н и более.

В Екатеринбурге сооружение метротоннеля на глубине около 30 м вызвало деформации зданий, удаленных до 5 км. Известны многочисленные случаи прекращения эксплуатации аварийных зданий, расположенных вблизи склонов (откосов, котло-

* *Постоев Г.П.* Классификация оползней по механизму нарушения равновесия массива пород // Изучение режима экзогенных геологических процессов в районах хозяйственного освоения / ВСЕГИНГЕО. М., 1988. С.52-64.

ванов): в Томске (демонтаж корпуса института ТУСУР у берега р. Томи), в Железноводске (выселение общежития по ул. Строителей, 32), в Железнодорожном Московской обл. (расселение 16-этажного здания вблизи оползневого склона р. Пехорки). Сюда же можно отнести недавнее обрушение части 9-этажного общежития в Санкт-Петербурге на Двинской ул. вследствие образования траншеи и деформирования сильно обводненного грунтового основания.

Таким образом, в подзоне II действительно происходит концентрация касательных напряжений в соответствии с увеличением разности ($\sigma_1 - \sigma_3$), а в подзоне III имеет место изменение естественного напряженного состояния (уменьшение σ_3), что проявляется в повышении деформативности массива горных пород, учет которого необходим для обеспечения нормальной эксплуатации существующих сооружений.