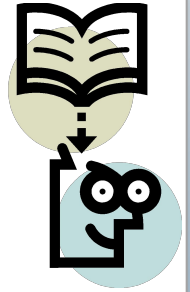
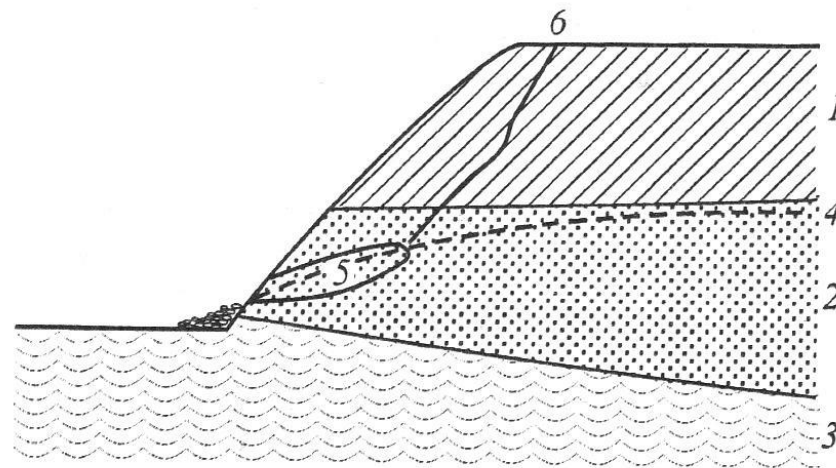


СУФФОЗИЯ

процесс механического выноса мелких частиц из породы (как правило, обломочных пород: песков, гравия, галечника и др.), заполнителя трещин и полостей фильтрационным потоком подземных вод



Суффозия наблюдается на склонах и откосах, когда они дренируют пески, содержащие подземные воды. В результате длительного развития суффозионного процесса происходит разрыхление песчаного слоя у самого выхода фильтрационного потока на склон, там, где гидравлический градиент характеризуется высокими значениями. В результате этого может произойти обрушение вышележащих пород.

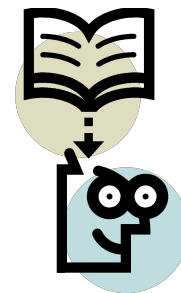


Склон, в котором развивается механическая суффозия.

1 — лёссовидный суглинок; 2 — водоносный разнородный песок; 3 — глина;
4 — уровень грунтовых вод; 5 — участок развития суффозионного выноса; 6 — трещина закола будущего обрушения (оползня).

Суффозия часто развивается в трещиноватых скальных или полускальных породах при выносе заполнителя из трещин и карстовых полостей.

В глинистых породах, не имеющих крупных сообщающихся друг с другом пор, размыв породы может происходить по трещинам выветривания или по ходам землеройных животных



Условия и факторы развития механической суффозии

1) наличие водоносного песка определенной неоднородности

Суффозия развивается преимущественно в породах, у которых коэффициент неоднородности

гранулометрического состава $C_u = K_H = d_{60} / d_{10} > 20$

2) наличие фильтрационного потока в песке

Гидравлический градиент $J > 5$

3) наличие среды, в которой может аккумулироваться выносимая водой мелкозернистая песчаная масса

Определяющий фактор – энергия водного фильтрационного потока

Для определения начальной скорости потока, при которой начинается суффозия, используют формулу Зихарда:

$$V_{\text{раз}} = \sqrt{K_{\phi}}$$

где K_{ϕ} - коэффициент фильтрации породы, м/с

Для определения критических градиентов фильтрационного потока используют формулы К. Терцаги и Е.А. Замарина:

$$I_{\text{кр}} = (\rho_m - 1)(1 - n);$$
$$I'_{\text{кр}} = (\rho_m - 1)(1 - n) + 0,5n;$$

где ρ_m – плотность минеральных зерен песка, г/см³;
 n – пористость грунта, д.ед.

Чем больше неоднородность породы, тем при меньших градиентах начинается суффозия

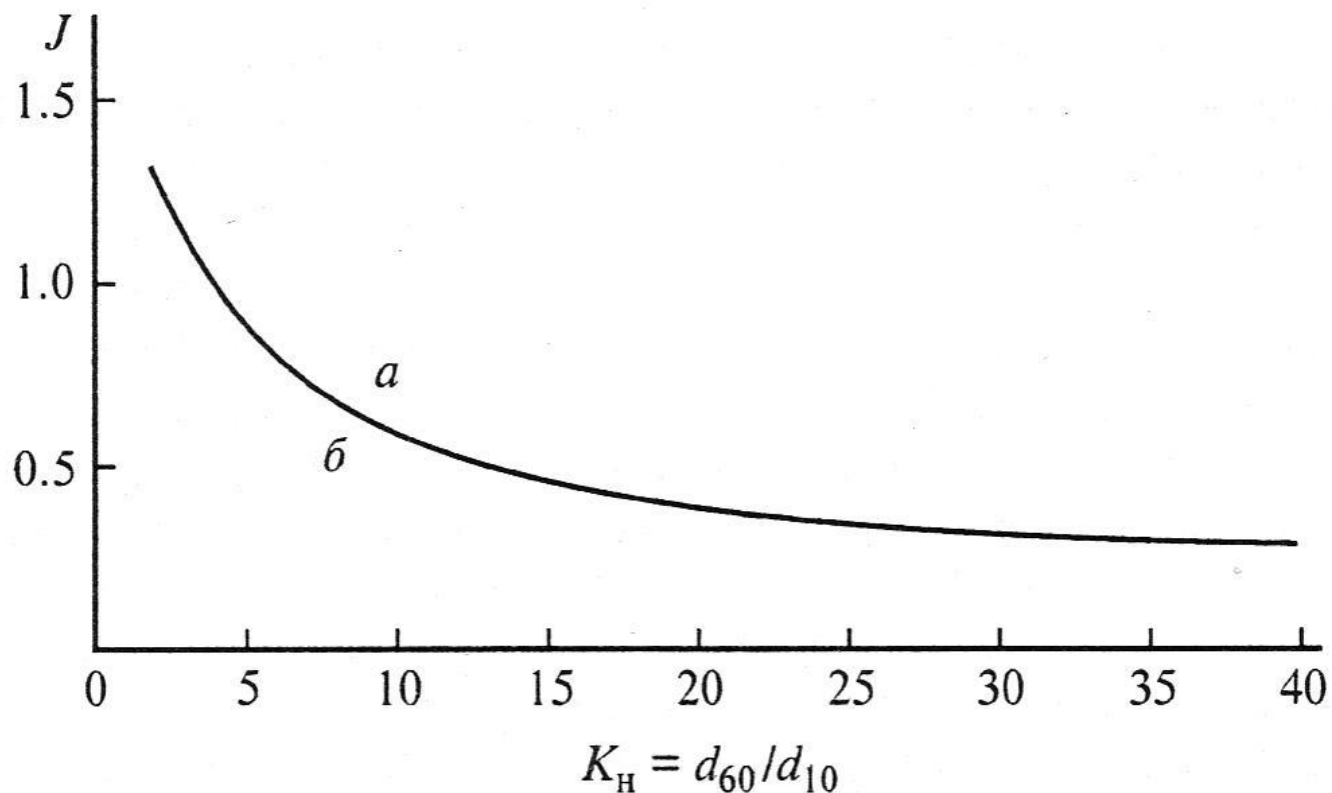


График зависимости $J = f(K_H)$, по В. С. Истоминой.

а — опасная зона; *б* — безопасная зона.

Анализ зависимости В.С. Истоминой дает возможность сделать следующие выводы:

А) суффозия может возникнуть при градиенте $J \leq 0,5$ только в песках со степенью неоднородности $K_n > 10$;

Б) наиболее опасными являются значения гидравлического градиента $J > 1,0$, при которых суффозия может возникнуть и в однородных песках при $K_n < 3$;

В) суффозия практически не возникает при градиенте $J < 0,2-0,3$.

Критические скорости и критические градиенты фильтрации для песков разной зернистости (по И.Ф. Володько)

<i>Диаметр зерен, мм</i>	<i>Критическая скорость фильтрации, м/сутки</i>	<i>Критический градиент</i>
0,57	800	6,67
0,90	530	1,63
1,35	300	0,54

Возможность развития суффозионного выноса из одного слоя песка с диаметром частиц d_{60} в соседний слой песка с диаметром частиц D_{60} оценивается через критическую скорость воды $V_{кр}$ по эмпирической формуле Л.И. Козловой:

$$V_{кр} = 0,26 d_{60}^2 (1 + 1000 \times (d_{60}^2 / D_{60}^2))$$

Влияние хозяйственной деятельности на развитие суффозионных процессов

1) Эксплуатация подземных вод

вокруг скважин, из которых долго и при больших понижениях ведется откачка подземных вод, создаются высокие гидравлические градиенты, способствующие развитию процессов суффозии

2) Длительные и с большими понижениями откачки воды из различных открытых и подземных выемок

3) Быстрая сработка уровня воды водохранилищ

4) Утечки из водонесущих коммуникаций

могут привести к появлению потока подземных вод в неводонасыщенных суффозионно неустойчивых породах; увеличению скорости потока подземных вод

Суффозионные проявления



Суффозионные ниши

Конусы суффозионного выноса



Последствия суффозионного выноса

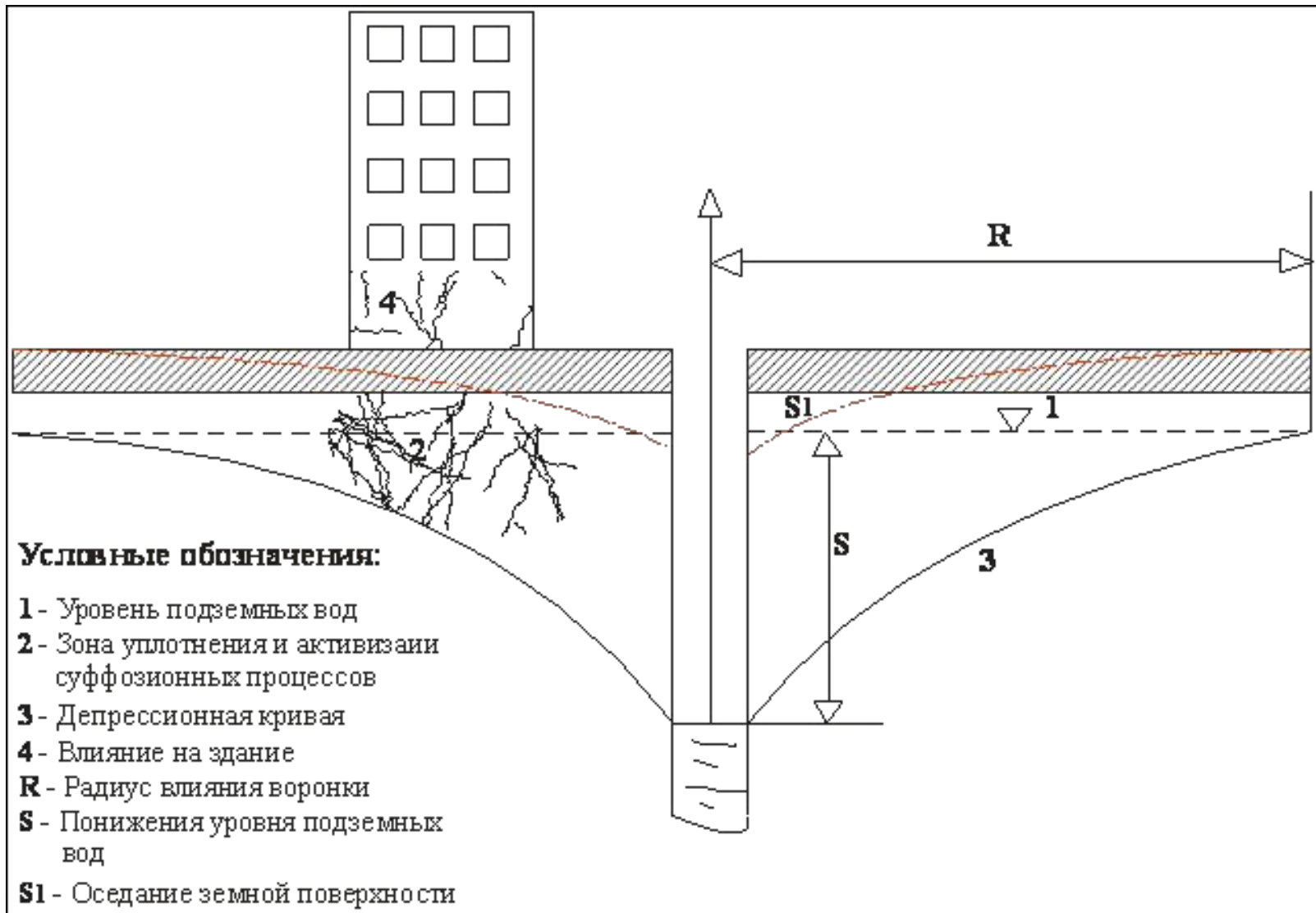
***Суффозионные оседания
и провалы***



Последствия развития суффозионных процессов

- 1) Увеличение водопроницаемости горных пород → увеличение водопритоков в строительные котлованы и подземные горные выработки**
- 2) Нарушение работы дренажей и фильтров за счет кольматации**
- 3) Разуплотнение горных пород, образование ослабленных зон, нарушение устойчивости склонов, возникновение оползней**
- 4) Оседания и провалы земной поверхности. Суффозионные проявления в основании инженерных сооружений приводят к их значительным и неравномерным осадкам, потере устойчивости, вплоть до разрушения**

Последствия суффозионного выноса



Последствия суффозионного выноса



**Обрушение жилого здания
в результате развития
суффозионного процесса,
вызванного закрытым
фильтрационным
выносом
песчаного материала
в строящийся подземный
коллектор**



Последствия суффозионного выноса



Последствия суффозионного выноса



Инженерно-геологические исследования

А) оценить неоднородность гранулометрического состава пород, вызывающих сомнение в их фильтрационной устойчивости;

Б) оценить возможные гидравлические условия фильтрационного потока, его скорости и градиенты;

В) выявить наличие условий для выноса мелких частиц

Методы защиты от механической суффозии

Для предупреждения суффозии наиболее часто применяют такие меры, которые оказывают влияние на уменьшение градиентов и скоростей фильтрационного потока: дренажные сооружения, способствующие уменьшению величин гидравлических градиентов, в сочетании с пригрузочными крупнообломочными призмами, которые дренируют водоносные пески и ограничивают вынос мелких песчаных частиц

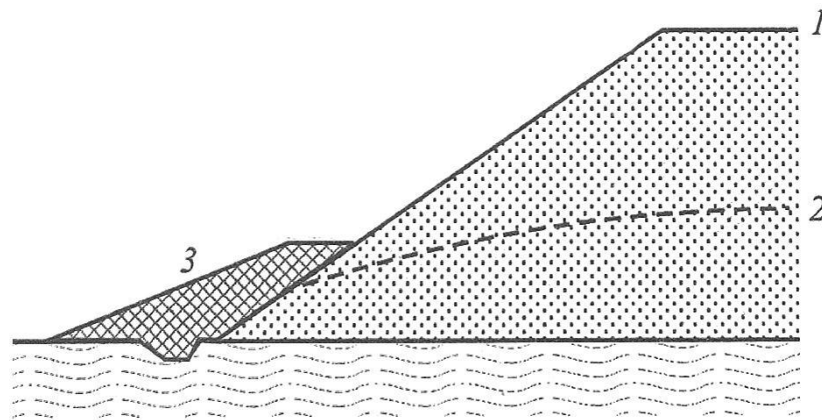


Схема дренажно-пригрузочного устройства на откосе, подверженном суффозионному процессу.

1 — искусственный откос; 2 — уровень грунтовых вод; 3 — дренажно-пригрузочная призма.