

Суффозия

- Суффозия (от лат. suffossio – подкапывание) – процесс механического выноса мелких частиц из грунтов, заполнителя трещин и полостей фильтрационным потоком подземных вод или размыв пород внутри толщи, обладающих низкой сопротивляемостью эрозийному воздействию движущихся подземных вод.
- Суффозия является результатом силового воздействия движущихся подземных вод на вмещающие их дисперсные грунты. Это либо большие скорости движения фильтрационного потока, который вымывает частицы, либо возникающее в фильтрационном потоке гидродинамическое давление.
- Различают химическую суффозию или выщелачивание – вынос воднорастворимых солей (гипс, карбонаты и др.) из нерастворимых осадочных пород, приводящий к разрушению структурных связей и уменьшению прочности, увеличению деформируемости и размываемости пород.

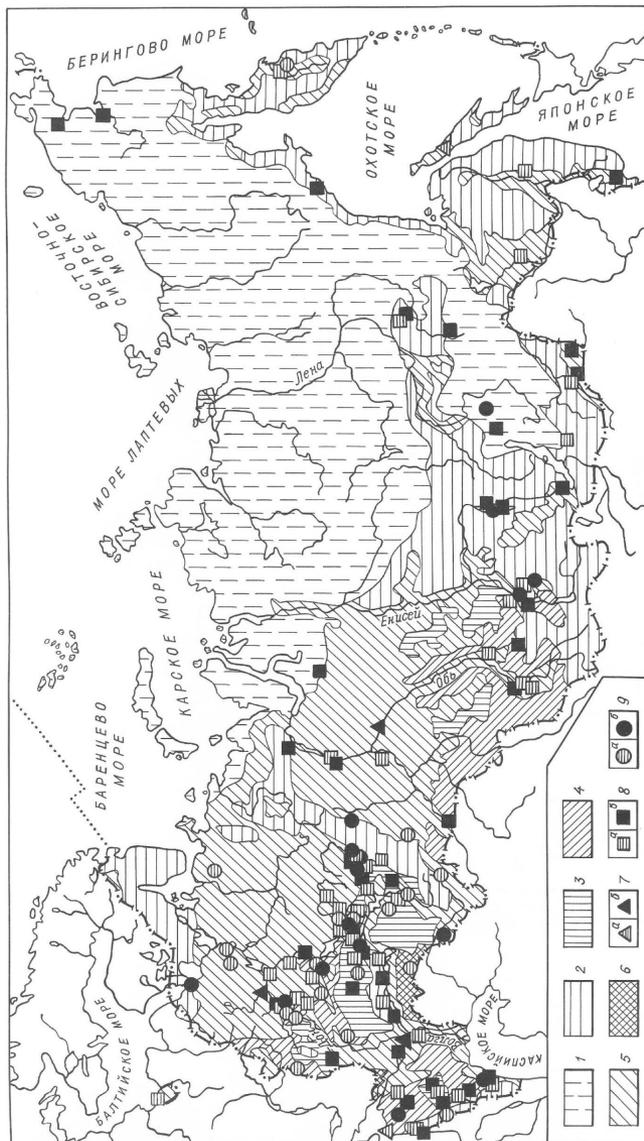
Условия развития суффозии

- Для развития суффозии необходимы следующие условия:
- 1) структурно-текстурная неоднородность (1:20) горных пород, при которой возможно передвижение более мелких частиц среди более крупных и их вынос;
- 2) определенные градиенты потока (>5), вызывающие повышенные скорости фильтрации воды или определенной величины гидродинамическое давление в массиве грунтов;
- 3) наличие области выноса, разгрузки толщи от мелких частиц.
- Суффозия происходит внутри пласта или путем переноса мелких частиц из одного пласта в другой.

- Процессам суффозии подвержены
- - преимущественно пылеватые и мелкозернистые пески,
- - лессовые и реже пылеватые и глинистые грунты,
- - дисперсная составляющая образований из зон тектонических разрывов и накопления в карстовых полостях.
- Область выноса образуется при выходе грунтов на поверхность, вскрытии их котлованами, выемками, карьерами, подземными выработками, дренажами или при контактировании с более водопроницаемыми породами, способными поглощать мелкие частицы, выносимые потоком из грунтов, подверженных суффозии

Схематическая карта развития суффозии на территории РФ (В.

П.Хоменко, 2003)



Условные обозначения к карте развития суффозии на территории РФ

- Области 1 – ограниченного развития суффозии; 2 – выноса заполнителя трещин и полостей в скальных грунтах и подземной эрозии; 3 – подземной эрозии в виде «глинистого карста»; 4 – подземной эрозии в виде «лёссового псевдокарста»; 5 – подземной эрозии и фильтрационного разрушения; 6 – интенсивного развития суффозии; 7 – псевдовулканической, 8 – присклоновой, 9 – закрытой (внутренней) суффозии: (а) - природного, (б) - техногенного происхождения

Факторы развития суффозии

- Суффозионному процессу благоприятствуют восходящие современные тектонические движения.
- Развитию суффозии способствует наличие в геологическом разрезе песчаных и лессовых грунтов.
- Развитие суффозии тем больше, чем более контрастен рельеф данной местности, особенно если такая контрастность обусловлена речной и овражной эрозией.
- Деревья и кустарники укрепляют своими корневыми системами толщу дисперсных грунтов, делая их более устойчивыми по отношению к суффозионным процессам.

Виды суффозии

- Суффозионный вынос материала на земную поверхность называется внешней суффозией, а вынос в трещины и полости или перемещение внутри них – внутренней суффозией.
- Если материал выносится нисходящим потоком к подножию склона - *присклоновая суффозия*.
- Восходящая суффозия при восходящем потоке подземных вод - *псевдовулканическая*.
-

Примеры суффозии

- 1. Суффозия в лессах вдоль оросительных каналов.
- 2. В бортах Лебединского карьера КМА, в глинистых альб-сеноманских песках, на расстоянии 20-70 м от бровки борта провальные воронки.
- 3. Вынос заполнителя из трещин в основании плотины Иркутской ГЭС.
- 4. Размыв стенок буровых скважин и вынос материала на поверхность при вскрытии напорного водоносного горизонта с образованием провалных воронок.

Техногенные факторы развития суффозии

- В настоящее время во всех индустриально развитых странах мира техногенная суффозия доминирует над природной [Хоменко, 2003].
- Суффозия широко распространена в районах добычи полезных ископаемых: присклоновая суффозия при открытой разработке твердых полезных ископаемых, а закрытая (внутренняя) – при подземной.
- В районах добычи нефти и газа способом заводнения нередки проявления псевдовулканической суффозии.
- На закарстованных территориях, в пределах крупных депрессионных воронок, сформировавшихся при эксплуатации месторождений подземных вод, часто отмечается интенсивное развитие закрытой суффозии, проявляющейся на земной поверхности в форме провалообразования.
- Широкое распространение суффозионных процессов наблюдается на подтопленных территориях и в районах орошаемого земледелия - подъем уровня грунтовых вод.
- Суффозия активно присклонового типа развивается на берегах равнинных водохранилищ.
- На территориях городов техногенная суффозия связана с подземной урбанизацией, со строительными работами, с утечками из водонесущих коммуникаций и с эксплуатацией подземных вод для целей водоснабжения
- Техногенно обусловленная суффозия нередко становилась причиной деформаций памятников истории и архитектуры.

Причины суффозии

- Появление потока подземных вод в неводонасыщенных суффозионно неустойчивых грунтах в результате.
- 1). Природных явлений:
 - - сильные ливни, бурное таяние снега, паводки и наводнения.
- 2) Техногенных факторов:
 - - утечки из водонесущих коммуникаций и резервуаров;
 - - поступление в грунты сточных и бытовых вод, жидких промышленных отходов;
 - - гидромеханизации земляных и горных работ;
 - - скважинная добыча нефти и газа с применением законтурного и внутриконтурного обводнения;
 - - орошение земель;
 - - функционирование гидротехнических сооружений.
- Увеличение скорости потока подземных вод в результате: засухи и обмеления водотоков и водоёмов или строительного водопонижения, осушение грунтов и земель, эксплуатации подземных вод.
- Выход области суффозионного выноса на контакт с водонасыщенными суффозионно неустойчивыми грунтами: *природные* – абразия, речная и овражная эрозия, оползневые процессы, провалообразование, карст, разрушение глинистых водоупоров над полостями; и *техногенные* - разрушение берегов искусственных водотоков и водоёмов, экскавация грунтов, производство буровых работ и проходка подземных горных выработок.

Параметры суффозионного процесса

- *Начальную скорость* фильтрационного потока v , при которой может начаться суффозионный вынос, можно рассчитать по формуле Зихарда:
- $V = \sqrt{K_{\phi}/15}$, где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации породы, м/с.
- *Критический градиент* восходящего фильтрационного потока, при котором может начаться разрушение грунтов:

- где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³; n – пористость грунта, доли единицы.

$$J_p = (\rho_s - 1)(1 - n)$$

- Для развития суффозионного процесса необходимы суффозионно-неустойчивые горные породы, имеющие коэффициент неоднородности гранулометрического состава:

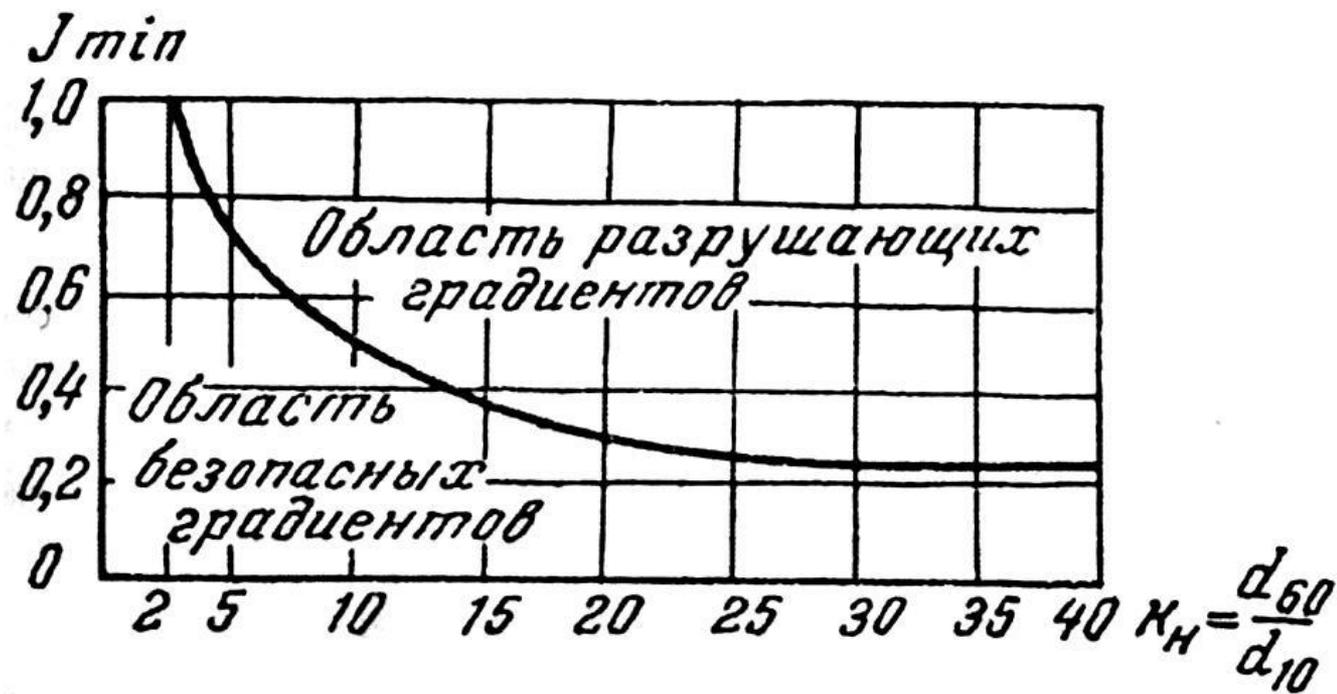
$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \geq 20$$

- где d_{60} – контролирующий диаметр частиц; d_{10} – действующий или эффективный диаметр частиц.

- Суффозия развивается в трещиноватых скальных и полускальных грунтах при выносе заполнителя из трещин и карстовых полостей; то же в глинистых породах.
- Анализ кривой, аппроксимирующей зависимость минимальных (безопасных) градиентов фильтрационного потока (при фильтрации, направленной снизу вверх) от степени гранулометрической неоднородности породы, показывает, что чем больше степень неоднородности гранулометрического состава грунта, тем при меньших градиентах фильтрационного потока начинается суффозия (рис).

График зависимости минимальных (безопасных) градиентов фильтрационного потока от степени неоднородности породы при фильтрации снизу вверх (В.И.

Истомина)



Проявление суффозии в рельефе

- Суффозионные проявления поверхностные, как правило, это отрицательные формы рельефа, и подземные – структурные элементы массива горных пород.
- Поверхностные суффозионные формы могут быть как аккумулятивными (*конусы суффозионного выноса*), так и деструктивными (*поноры, провалы, оседания*).
- Наиболее типичные поверхностные проявления суффозионного процесса – *оседания* и *провалы*, представляющие собой замкнутые понижения земной поверхности округлой формы. Отличаются они тем, что оседания не сопровождаются нарушением сплошности земной поверхности, а провалы всегда ограничены резким уступом и имеют форму обращённого вершиной вниз усечённого конуса.
- Склоновые поверхностные проявления суффозии подразделяются на два типа.
- К первому относятся различные *ниши*, которые часто сопровождаются аккумулятивными формами в виде *шлейфов* и *языков*. Суффозионные ниши крупных размеров *пещерами*.
- Ко второму типу склоновых суффозионных проявлений относятся *оползни*, которые развиваются унаследованно на месте ниш.
- Подземные проявления – это структурные элементы массива горных пород. Они подразделяются на: *полости*, *псевдоплывунные зоны*, *зоны разуплотнения* и *зоны дезинтеграции*.

Изучение суффозии

- Изучаются: геологическое строение; свойства пород: гранулометрический состав, растворимые соли, трещиноватость и т.д.; условия движения поверхностных и подземных вод; рельеф.
- Методы: инженерно-геологическая съёмка; опытное изучение критических скоростей и градиентов в поле и в лаборатории.

Прогноз суффозионного процесса

- Изучается суффозионная устойчивость с помощью опытно-фильтрационных работ на кустах путем создания сосредоточенной фильтрации с разными скоростями через блок пород между скважинами одновременными нагнетаниями и откачками, для определения критического градиента, при котором возникает размыв пород.
- Прогнозируется возможное начало суффозионного процесса и возникновение провала.
- Для прогноза суффозии успешно применяется лабораторное моделирование.

Противосуффозионные мероприятия

- Все меры по локализации суффозионного процесса разделены на пассивные и активные.
- Пассивные мероприятия связаны с рациональным размещением инженерных сооружений, их конструктивными особенностями и проведением мониторинга природно-технических систем, расположенных в зонах возможного развития суффозии.
- Активные меры направлены на устранение причин развития процесса суффозии:
 - - осушение или уменьшение скоростей фильтрации;
 - - перекрытие мест выноса частиц породы фильтрующим грунтом – обратный фильтр;
 - - искусственная цементация.
- Противосуффозионные мероприятия делятся также на профилактические и оперативные. Профилактические меры используются еще до начала эксплуатации сооружения, а оперативные – в условиях взаимодействия сооружения с окружающей средой.

Плывуны

- Под *пывунностью* понимается полная или частичная потеря несущей способности водонасыщенного дисперсного грунта и переход его в текучее состояние при вскрытии горными или строительными выработками либо при воздействии на грунт динамических нагрузок. Пывунные грунты ведут себя подобно вязким текучим жидкостям.
- «Истинные пывуны» - тонко-, мелкозернистые пески, глинистые, с примесью органики и коллоидной фракции, слабофильтрующие, обладающие высокой потенциальной подвижностью за счет тиксотропных свойств (А.Ф. Лебедев, 1935).

Распространение пльвунов

- В песках пойм и первых террас речных долин.
- Встречены пльвуны в озерных, ледниково-озерных, озерно-болотных, флювиогляциальных отложениях.
- В Прибалтике пльвуны встречены на приморских равнинах в голоценовых и верхнеплейстоценовых морских отложениях.
- В южных районах Русской плиты пльвуны встречаются среди неогеновых и палеогеновых отложений.
- В области распространения железорудных месторождений Курской магнитной аномалии большие трудности приходится преодолевать при проходке пльвунов, встречающихся в аптских и неокомских отложениях нижнего мела, а под Москвой и в Поволжье – среди верхне- и нижневолжских отложений верхней юры.

Природа плавунности

- Истинные плавунны имеют характерный состав, определяющий их повышенную гидрофильность и склонность к текучести под воздействием даже ничтожно малых сил таких как силы тяжести, гидростатического взвешивания и гидродинамического давления.
- Скорость развития плавунных процессов зависит от величины гидродинамического давления (напорного градиента). Если этот градиент велик, плавун плавает с большой или даже катастрофической скоростью, образуя прорыв.
- В песках-плавунках обычно преобладают (до 60-90%) фракции 0,25-0,1 и 0,1-0,05 мм, содержание частиц менее 0,002 мм доходит до 8-11%. Пористость 40-56%, коэффициент фильтрации колеблется от нескольких сантиметров до 1 м/сут, практически отсутствует водоотдача, высокая влажность.
- На переход в плавунное состояние водонасыщенных песков существенное влияние оказывают микроорганизмы, которые способны выделять газопродукты, которые создают избыточное поровое давление и являются энергетическим фактором плавунности породы.

Борьба с пьвунами

- При строительстве зданий - закрепление пьвунных песчаных толщ инъекцией силикатных и других растворов.
- При проходке строительных котлованов и других открытых выемок применяется этажная система водопонижения с помощью иглофильтровых установок, снижающих гидродинамическое давление.
- Замораживание.
- Проходку котлованов и других временных выемок, прорезающих пласт пьвунных песков ограниченной мощности, можно осуществить под защитой забивной шпунтовой стены (металлической или бетонной) в сочетании с водопонижением.