

## СУФФОЗИЯ: ТЕРМИНОЛОГИЯ И ФЕНОМЕНОЛОГИЯ

Хоменко В.П.

(НИУ МГСУ г. Москва)

**Аннотация:** Рассмотрена противоречивая ситуация, связанная с современным пониманием термина «суффозия» в русском языке. С позиций наиболее широкой трактовки этого понятия проанализирована роль суффозии как опасного для строительства геологического процесса, рассмотрены ее основные генетические разновидности. Предпринята попытка сопоставления русской и английской терминологии, используемой при описании феноменов, подпадающих под широкую трактовку понятия «суффозия».

**Ключевые слова:** суффозия, горные породы, подземные воды, опасность, строительство.

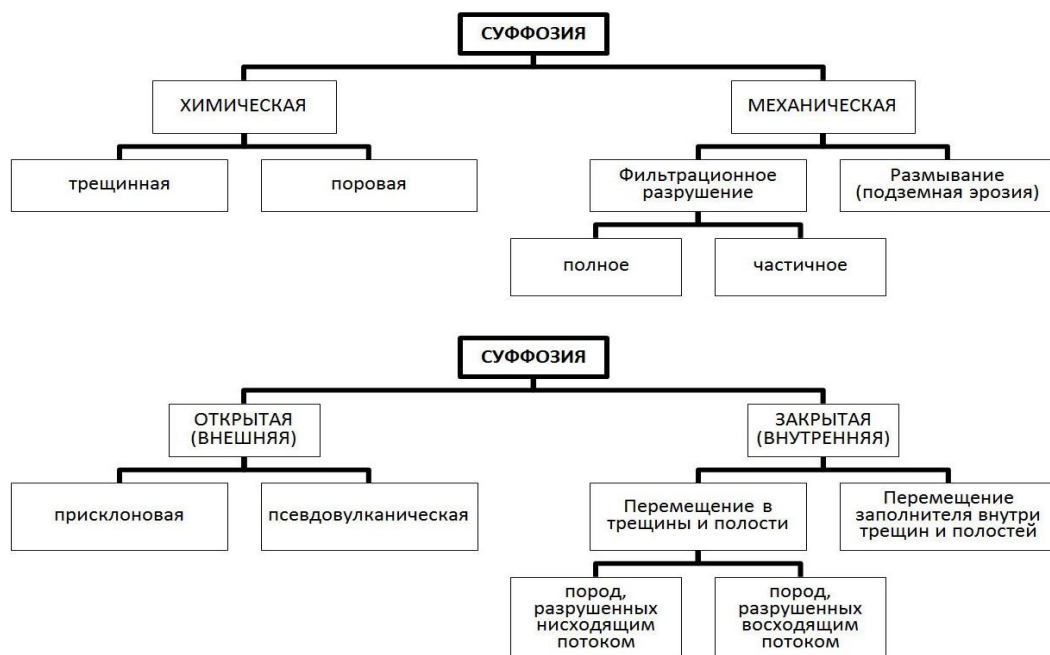
В настоящее время в России существуют три основных трактовки понятия «суффозия». Сторонники первой трактовки именуют суффозией только свободное перемещение частиц в поровом пространстве дисперсных несвязных пород под действием фильтрации воды [3], и именно такое понимание этого термина в наши дни укоренилось в англо-, франко- и германоязычной научно-технической литературе. Согласно второй трактовке, суффозия представляет собой механическое разрушение и вынос дисперсных пород потоком подземных вод [6]. Третья (наиболее широкая, но отнюдь не наиболее распространенная) трактовка подразумевает под словом «суффозия» разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и сцементированных обломочных пород, в том числе слагающих структурные элементы скальных массивов [13]. Именно это определение понятия «суффозия» было включено в строительные нормы [10].

Широкая трактовка термина «суффозия» возвращает нас к его истокам. Русский по происхождению термин «суффозия» был, тем не менее, образован от латинского слова «suffossio», что по-русски означает «подкапывание». Этот термин понимался достаточно широко самим его автором – А.П. Павловым, который, впрочем, введя его в обиход в 1898 году в своей широко известной научной статье [8], не дал его определения, что не помешало автору представить развернутое теоретическое описание самого процесса. В том же 1898 году произошло еще одно знаковое событие, связанное с изучением суффозии, но уже не в Российской, а в Британской империи. Благодаря теоретическим разработкам Дж. Клибборна (J. Clibborn) и экспериментальным исследованиям Дж. Бересфорда (J.S. Beresford), удалось предсказать вызванное суффозией (piping) разрушение плотины Нарора (Narora) на реке Ганг в Индии за несколько дней до этого события [21]. По-видимому, это был первый случай такого рода в практике гидротехнического строительства. Никто не пострадал, а через два года плотина была восстановлена с применением противосуффозионной защиты.

С гидротехническим строительством связана и самая тяжелая катастрофа, вызванная суффозией [14]. Мелиоративная плотина Титон (Teton) высотой около 90 м, расположенная в штате Айдахо (США), была разрушена 5 июня 1976 года во время первого заполнения водохранилища. Погибли 11 человек, а ущерб превысил 400 миллионов долларов. Суффозия проявила себя здесь в виде размывания (internal erosion) лессовых пород ядра плотины на контакте с трещиноватыми риолитами, залегающими в ее основании. Приблизительно за 5 часов до разрушения плотины в ее нижнем бьефе наблюдалось просачивание мутной воды.

Из широкого понимания термина «суффозия» вытекает необходимость ее классифицирования, причем как минимум по двум признакам (рис. 1). Каждый из видов суф-

фозии, выделенных по характеру разрушения горных пород, протекает в специфичной для него среде – горных породах определенного типа (табл. 1). Их можно назвать суффозионно неустойчивыми



**Рис. 1.** Классификации суффозии, предложенные В.П. Хоменко [13]: по характеру разрушения горных пород (вверху) и по условиям выноса и перемещения разрушенных пород (внизу)

**Таблица 1**

**Суффозионно неустойчивые горные породы**

Горные породы, подверженные суффозионному разрушению			Вид суффозии
Скальные: обломочные, цементированные растворимым цементом, трещиноватые			Химическая трещинная суффозия
Дисперсные	связные и несвязные	засоленные водонепроницаемые	Химическая поровая суффозия
		любые	Подземная эрозия
	несвязные	любые	Полное фильтрационное разрушение
		с бутовой текстурой	Частичное фильтрационное разрушение

Содержание табл. 2 свидетельствует о том, что возможность реализации каждого из видов суффозии, выделенных по условиям выноса и перемещения разрушенных горных пород, обусловлена определенными особенностями геологической среды.

Суффозия во всех ее разновидностях вызывает изменение структуры горных пород или их массивов, и способна проявиться на земной поверхности или под фундаментами зданий и сооружений. Суффозионные проявления бывают поверхностными и подземными. К первым относятся псевдовулканы, ниши и пещеры, оползни, поноры, провалы, оседания, а ко вторым – полости, псевдоплыунные зоны, зоны разуплотнения в дисперсных породах и зоны дезинтеграции в скальных породах. Любопытно отметить, что первые опубликованные упоминания о проявлениях суффозии (seepage erosion) на крутых склонах в графстве Кент (Великобритания) относятся к концу XVIII века [18].

Таблица 2

## Условия, необходимые для выноса и перемещения пород, разрушенных суффозией

Геолого-геоморфологическая обстановка, обеспечивающая суффозионный вынос			Вид суффозии
Характер рельефа земной поверхности	Структура массива горных пород	Гидрогеологические условия	
Наличие склона	Любая	Разгрузка подземных вод в виде нисходящего источника	Присклоновая
Любой		Разгрузка подземных вод в виде восходящего источника	Псевдовулканическая
	Наличие незакольматированных трещин и полостей	Наличие вертикального восходящего потока подземных вод	Перемещение в трещины и полости пород, разрушенных восходящим потоком
		Наличие вертикального нисходящего потока подземных вод	Перемещение в трещины и полости пород, разрушенных нисходящим потоком
	Наличие закольматированных трещин и полостей	Наличие нисходящего или горизонтального потока подземных вод	Перемещение заполнителя трещин и полостей

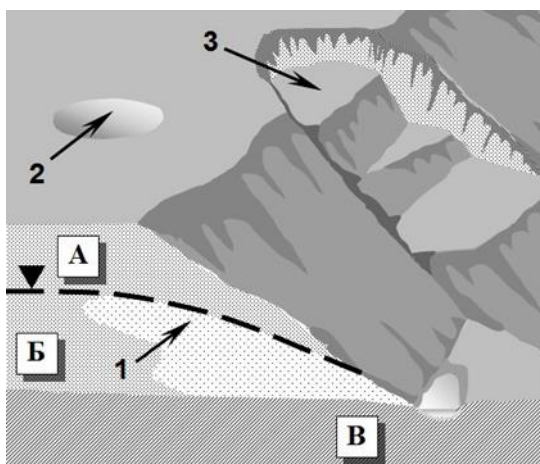
**Химическая суффозия и частичное фильтрационное разрушение.** Оба процесса представляют собой массоперенос в подземных водах, приводящий к разуплотнению и разупрочнению пород (рис. 2). В некоторых случаях суффозионное разупрочнение пород, слагающих склон, приводит к образованию оползней. Последующее уплотнение суффозионно разуплотненных пород может происходить самопроизвольно под действием их собственного веса и сопровождается образованием на земной поверхности оседаний (западин). Оно резко ускоряется при внешних статических нагрузках, что нередко приводит к деформациям передающего их здания или сооружения. Уплотнение однородных по гранулометрическому составу несвязных дисперсных пород, испытавших частичное фильтрационное разрушение, инициируется только динамическими воздействиями.

Английскими эквивалентами понятия «частичное фильтрационное разрушение» являются слова «suffusion» или «suffosion» [16]. Точный эквивалент понятия «химическая суффозия» в англоязычной литературе отыскать очень трудно, хотя в переведенных на английский язык и опубликованных за рубежом работах отечественных специалистов в этой роли выступает термин «leaching» [20].

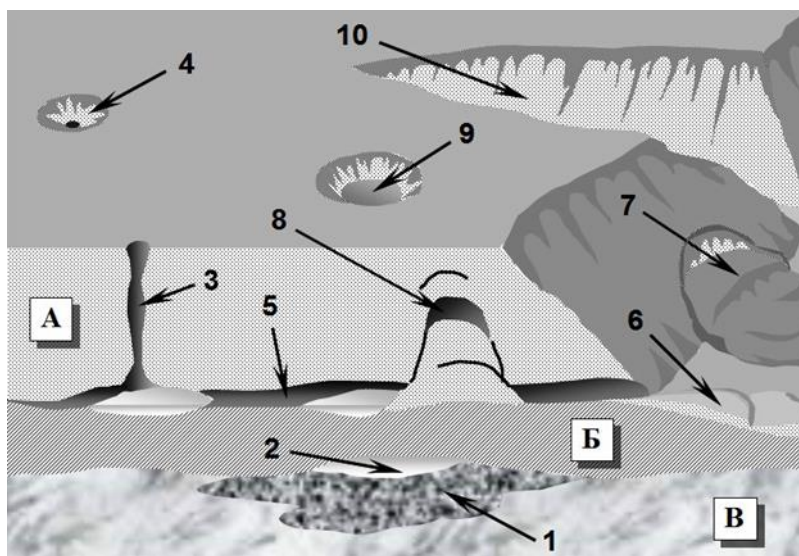
**Подземная эрозия.** Процесс приводит к формированию подземных каналов (рисунк 3), которые могут принимать размеры пещер [2]. Иногда подземную эрозию, протекающую в цементированных обломочных, глинистых и лессовых породах называют, соответственно, кластокарстом, глинистым карстом и лессовым псевдокарстом.

В ходе присклоновой подземной эрозии субгоризонтальный суффозионный канал растет в длину и вширь, что приводит к обрушению его кровли, вплоть до провалообразования. Иногда там, где подземный канал раскрывается на склоне, образуется оползень. Обрушившиеся или оползшие массы горных пород, если они обладают низкой проницаемостью, способны полностью перекрыть канал. Если фактор, инициировавший присклоновую подземную эрозию, продолжает действовать, то рано или поздно произойдет одно из двух: либо процесс продолжится за счет размывания щелей при

неплотной «закупорке» канала, либо на подземную эрозию наложится поверхностная. Во втором случае начинается формирование оврага, ось которого совпадает с осью суффозионного канала.



**Рис. 2.** Геологические явления, обусловленные химической суффозией и частичным фильтрационным разрушением: 1 – зона разуплотнения; 2 – оседание (западина); 3 – оползень просадочного типа по В.В. Лисовину [5]. Горные породы: А – проницаемые дисперсные засоленные или несвязные с бутовой текстурой, находящиеся в зоне аэрации; Б – то же, в зоне насыщения; В – слабопроницаемые



**Рис. 3.** Геологические явления, обусловленные подземной эрозией:

1 – зона дезинтеграции; 2 – кластокарстовая полость, заполненная водой; 3 – вертикальный суффозионный канал (понор); 4 – расширенный понор (воронка просасывания); 5 – горизонтальный суффозионный канал (пещера); 6 – аккумулятивные накопления в виде «языка»; 7 – оползень над входом в суффозионную пещеру по К. Терцаги [11]; 8 – полость обрушения; 9 – провал; 10 – овраг. Горные породы: А – размываемые дисперсные; Б – слаборазмываемые слабопроницаемые; В – проницаемые скальные обломочные, цементированные растворимым цементом

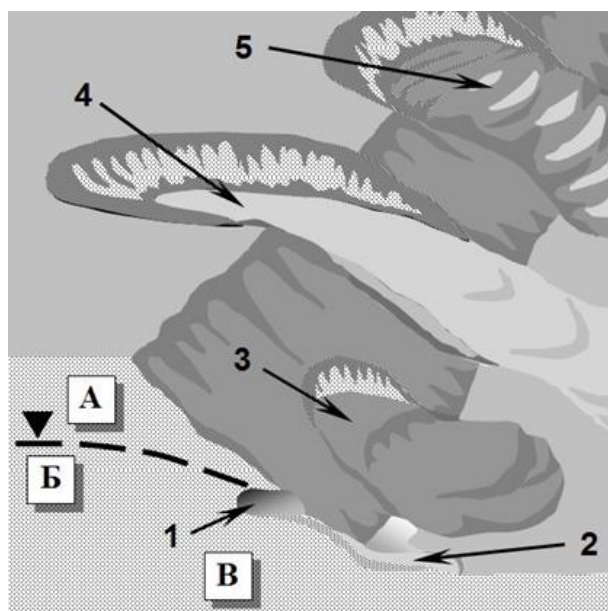
В отличие от присклоновой, закрытая (внутренняя) подземная эрозия связана с появлением и ростом в суффозионно неустойчивых (размываемых) породах не субгоризонтальных, а субвертикальных каналов (водопоглощающих поноров), которые в своей верхней части могут принимать вид так называемых воронок просасывания. Вход в субвертикальный канал расположен на поверхности земли или на дне водоема, а выход – в кровле какой-нибудь полости. Вблизи склона эта полость-приемник может

представлять собой субгоризонтальный суффозионный канал, и тогда обе разновидности подземной эрозии развиваются совместно.

При низкой проницаемости размываемых пород условием, необходимым для развития подземной эрозии, становится наличие в них первоначального сквозного подземного канала любого происхождения. Он должен соединять источник поступления воды с областью суффозионного выноса, а вода в нем должна свободно течь в турбулентном режиме.

В английском языке рассматриваемый процесс именуется разными терминами, основными из которых являются «internal erosion», «subsurface erosion», «piping» и «tunnel erosion» [17]. Следует, однако отметить, что понятие «piping» имеет более общий характер и скорее является эквивалентом русского понятия «механическая суффозия».

**Присклоновое фильтрационное разрушение.** Как открытое, так и закрытое фильтрационное разрушение горных пород может протекать в двух формах: плавной и резкой. На склонах различие между ними проявляется особенно четко (рис. 4).



**Рис. 4.** Геологические явления, обусловленные присклоновым фильтрационным разрушением: 1 – суффозионная ниша; 2 – аккумулятивные накопления в виде «языка»; 3 – оползень над суффозионной нишей (уступом); 4 – оползень суффозионного механизма по И.О. Тихвинскому [12]; 5 – оползень выплывания по В.В. Кюнтцелю [1]. Горные породы: А – дисперсные с высокой поровой проницаемостью, находящиеся в зоне аэрации; Б – то же, в зоне насыщения; В – слабопроницаемые.

Морфологическим признаком плавного протекания процесса является устойчивая, нередко армированная корневой системой растений, ниша, сформировавшаяся в водопроницаемых породах, которая все глубже проникает внутрь склона, постепенно превращаясь в «глухой» подземный канал. При обрушении его кровли последствия такого локализованного фильтрационного разрушения внешне неотличимы от последствий подземной эрозии. Ниша, врезающаяся в склон подобно штольне, может вызвать образование провалов вдоль ее оси, а если она растет как поперек, так и вдоль склона, образуя уступ, то следует ожидать обваливания или оползания нависающего над ней «карниза».

Результатом резкого протекания присклонового фильтрационного разрушения является особый тип оползней, которые подробно изучавший их И.О. Тихвинский [12] называет оползнями суффозионного механизма. Это – циклическое обваливание пород

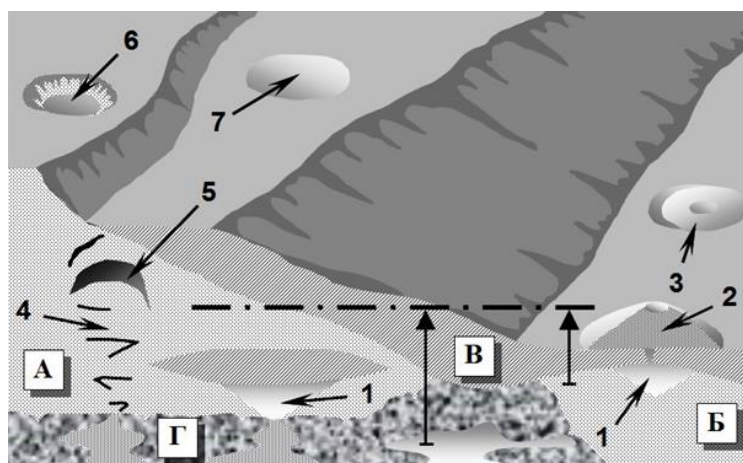
над вновь возникающими суффозионными нишами, которое распространяется вверх по склону, а деформируемая обводненная масса, состоящая из пород, претерпевших разрушение, стекает к его подножью. Другая разновидность резкого присклонового фильтрационного разрушения представляет собой практически мгновенное превращение определенного объема водопроницаемых пород в псевдоплывун, сопровождающееся его смещением вниз по склону и оплыванием сместившейся массы (оползень выплывания).

В тех случаях, когда присклоновое фильтрационное разрушение протекает в резкой форме, в роли фактора, инициирующего этот процесс, часто выступает «внезапный» выход водонасыщенных пород на поверхность склона. Это часто происходит в результате разрушения перекрывающего склон слабопроницаемого экрана. Если склон перекрыт глинистыми делювиальными или оползневыми накоплениями, они могут быть «срезаны» оползнями сдвига, которые на береговых склонах, как правило, являются следствием абразии или эрозии. Перекрывающий склон практически непроницаемый экран образуется также вследствие сезонного промораживания водонасыщенных пород. Прорыв такого временного и непрочного водоупора часто происходит под давлением воды (нередко горячей), поступившей из поврежденных коммуникаций.

Наложение поверхностной эрозии на присклоновое фильтрационное разрушение приводит к образованию своеобразных оврагов, которые называют эндолинными [7]. В то же время, овражная эрозия подготавливает и даже инициирует рассматриваемый процесс.

В англоязычной научно-технической литературе присклоновое фильтрационное разрушение обычно именуется термином «seepage erosion» [18], особенно если процесс развивается на естественных склонах. Если же речь идет об откосах земляных плотин и дамб, англоязычные специалисты намного чаще используют термин «backward erosion piping» [15] или просто «backward erosion».

**Фильтрационное разрушение восходящим потоком.** Разрушение горных пород восходящим фильтрационным потоком встречается в трех разновидностях: присклоновой, псевдовулканической и закрытой. Последние две показаны на общей блок-схеме (рис. 5).



**Рис. 5.** Геологические явления, обусловленные фильтрационным разрушением пород восходящим потоком: 1 – суффозионная полость, заполненная водой; 2 – псевдовулкан; 3 – псевдокальдера (провал); 4 – зона фильтрационного разрушения пород восходящим потоком, принимающего вид единого суффозионно-обвального процесса; 5 – полость обрушения; 6 – провал; 7 – оседание, образовавшееся в результате прогиба. Горные породы: А – дисперсные с высокой поровой проницаемостью, находящиеся в зоне аэрации; Б – то же, в зоне насыщения; В – глинистые слабопроницаемые; Г – содержащие трещины и полости любого происхождения

Основываясь на взглядах А.М. Демина [9], можно предположить, что последствия присклонового фильтрационного разрушения принципиально не зависят от того, было оно вызвано горизонтальным или восходящим потоком. В обоих случаях образуются оползни выплывания, а суффозионно-оползневое разрушение берега водоема может быть вызвано как спадом, так и подъемом уровня воды [4].

Псевдовулканическая суффозия начнется, если восходящий поток подземных вод имеет возможность концентрированной разгрузки в виде «грифона» на поверхности земли, чему благоприятствует наличие на ней водонепроницаемого экрана естественно-го или искусственного происхождения. Когда такого экрана нет или он имеет сквозные нарушения сплошности, процесс инициируется подъемом уровня грунтовых вод выше отметок земной поверхности. При наличии сплошного водонепроницаемого экрана псевдовулканическая суффозия может быть вызвана его разрушением, если пьезометрический напор воды в породах, перекрытых экраном, превышает его мощность.

С максимальной полнотой псевдовулканическая суффозия проявляется при разгрузке первого от поверхности напорного водоносного горизонта через сквозное нарушение сплошности перекрывающего его глинистого водоупора. В этом случае на кровле водоупора (а, следовательно, и на поверхности земли) формируется специфическое аккумулятивное образование – псевдовулкан. Под подошвой водоупора растет заполненная водой полость, а водоупор над ней испытывает прогиб. В момент обрушения водоупора образуется псевдокальдера, которая затем деформируется, а само обрушение может быть инициировано ростом полости или спадом напора воды в подстилающих водоупор породах.

Закрытая (внутренняя) разновидность фильтрационного разрушения пород восходящим потоком имеет схожие причины. Если существует водоупор, отделяющий проницаемые породы от полости-приемника, и напор воды в ней превышает его мощность, то фильтрационное разрушение этих пород может быть инициировано появлением в водоупоре сквозного нарушения его сплошности. Если же водоупор отсутствует или уже имеет такое нарушение, то процесс начнется в результате появления в водопроницаемых породах восходящего потока. В неводонасыщенных породах он возникнет при поступлении в них воды снизу, из полости-приемника в ходе подъема уровня подземных вод, а в водонасыщенных – при оттоке из них воды, например, вследствие искусственного водоотбора. При этом в испытывающих разрушение породах происходит циклическое формирование сменяющих друг друга заполненных и не заполненных водой полостей. Вторые возникают над первыми в результате обрушения их кровли, а первые образуются на месте вторых после их заполнения вытесненной водой. Процесс распространяется снизу-вверх, и воспрепятствовать ему могут только достаточно мощные слои связных пород, слагающих промежуточные водоупоры. Максимальная высота, на которую распространяется фильтрационное разрушение, ограничена отметкой уровня или пьезометрического напора горизонта, из которого вода поступает вверх. Если процесс способен достичь земной поверхности, на ней образуется провал или оседание.

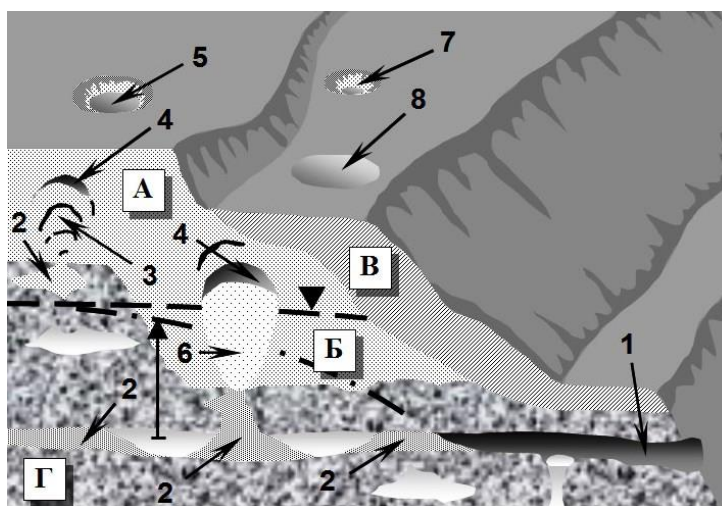
В англоязычных странах специалисты используют много разных терминов для обозначения отдельных разновидностей фильтрационного разрушения пород восходящим потоком. При этом роль обобщающего понятия, судя по всему, играет словосочетание «*ripping by heave*» [19].

**Закрытое фильтрационное разрушение нисходящим потоком.** В ходе закрытого фильтрационного разрушения нисходящим потоком происходит истечение разрушенных пород (псевдоплавунна) в полость-приемник и обрушение пород над псевдоплавунной зоной, которое может принять вид провалообразования. Процесс протекает по-разному в зависимости от того, подвергаются ему водонасыщенные или неводонасыщенные породы, что можно видеть на рисунке 6.

В неводонасыщенных породах, перекрывающих открытую незакольматированную и обезвоженную трещину или полость, направленный в нее нисходящий фильтрацион-

ный поток возникает при любых поступлениях воды извне в зону аэрации. Его разрушительная работа проявляется в циклическом обрушении вновь возникающих не заполненных водой суффозионных полостей, которое может достигнуть земной поверхности в виде провала. Такой провал, учитывая гидрогеологические условия его образования, целесообразно именовать суффозионным провалом вадозного типа.

Для закрытого фильтрационного разрушения нисходящим потоком водонасыщенных пород достаточно выхода не заполненной водой полости-приемника на контакт с ними, а если приемник заполнен водой, процесс инициируется ее оттоком и (или) поступлением воды в вышележащие породы. Направленный вниз фильтрационный поток разрушает водонасыщенные породы внутри четко ограниченной зоны, в результате чего они истекают в приемник. После того, как верхняя точка зоны фильтрационного разрушения достигнет подошвы слабопроницаемого слоя или свободной поверхности грунтовых вод, она растет только вширь, вызывая прогиб или дискретное обрушение вышележащих пород, вплоть до образования оседания или провала. Эти феномены можно назвать суффозионными оседаниями и провалами фреатического типа.



**Рис. 6.** Геологические явления, обусловленные закрытым фильтрационным разрушением пород нисходящим потоком: 1 – полость несуффозионного происхождения (пещера), лишенная заполнителя в результате суффозии; 2 – заполнитель полостей; 3 – зона совместного проявления суффозии и обрушения в виде суффозионно-обвального процесса; 4 – полость обрушения; 5 – провал вадозного типа; 6 – псевдоплавунная зона; 7 – провал фреатического типа; 8 – оседание, образовавшееся в результате прогиба. Горные породы: А – дисперсные с высокой поровой проницаемостью, находящиеся в зоне аэрации; Б – то же в зоне насыщения; Б – глинистые слабопроницаемые; Г – содержащие трещины и полости любого происхождения

Закрытое фильтрационное разрушение пород нисходящим потоком тесно связано с миграцией заполнителя трещин и полостей. Разрушаемый и перемещаемый заполнитель часто сам представляет собой продукт суффозионного выноса вышележащих пород в полость-приемник, а его разрушение иногда является фактором, инициирующим такой вынос. В массиве скальных пород жесткая внутренняя поверхность трещины или полости пространственно ограничивает развитие этого вида закрытой суффозии. В случае выхода такой трещины или полости на склон, фильтрационное разрушение и вынос заполняющих ее пород способны сформировать нишу, и суффозионный процесс будет протекать по схеме присклоновой подземной эрозии, но без образования провалов или оползней.

В английском языке не существует особых терминов для обозначения этих процессов, возможно потому, что они чаще всего бывают связаны с карстом, а в этой обла-



сти существует своя терминология. В целом же, феномены такого рода укладываются в обобщающее понятие «*ripping*».

### Литература

1. Григоренко А.Г., Кюнтцель В.В., Новак В.Е., Тамутис З.П. Инженерная геодинамика. – Киев: Лыбидь, 1992. - 296 с.
2. Дублянский В.Н., Андрейчук В.Н. Спелеология (Терминология, связи с другими науками, классификация полостей). – Кунгур: Горный институт УрО АН СССР, 1989. - 34 с.
3. Истомина В.С. Фильтрационная устойчивость грунтов. – М.: Госстройиздат, 1957, - 295 с.
4. Кусковский В.С., Тржцинский Ю.Б. Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы водохранилищ Сибири // Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии районов интенсивной нагрузки и охрана геологической среды: Тезисы докладов 1-го Всесоюзного съезда инженеров-геологов, гидрогеологов и геокриологов. Киев, 10-14 октября 1988. Ч.3: Закономерности изменения инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий при интенсивном техногенном воздействии. Киев, 1989. с. 135-136.
5. Лисовин В.В. К вопросу о происхождении оползней просадочного типа // Проблемы инженерной геологии Северного Кавказа: Материалы научно-технической конференции 14-16 мая 1968 г. Ставрополь, 1968, с. 105-106.
6. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л.: Недра, 1977, - 479 с.
7. Матвеев Н.П. Роль суффозии в образовании эндоинных оврагов // Землеведение, 1969, т. 8, с. 117-129.
8. Павлов А.П. О рельефе равнин и его изменениях под влиянием работы подземных и поверхностных вод // Землеведение, 1898, т. 5, кн. 3-4, с. 91-147.
9. Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов / Отв. ред. М.В. Чуринов, Е.А. Толстых. – М.: Наука, 1985, - 205 с.
10. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003 / Минрегион России. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2012, - 60 с.
11. Терцаги К. Механизм оползней / Пер. с англ. // Проблемы инженерной геологии. Выпуск 1. М.: Издательство иностранной литературы, 1958, с. 174-219.
12. Тихвинский И.О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов. – М.: Наука, 1988. - 144 с.
13. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. – М.: ГЕОС, 2003, -216 с.
14. Engemoen, W. O., Redlinger, C. G. Internal erosion incidents at Bureau of Reclamation dams // Managing our Water Retention Systems: Proceedings of 29th USSD Annual Meeting and Conference, Nashville, TN, April 20-24, 2009. Denver, CO: U.S. Society on Dams, 2009, p. 731-745.
15. Erosion in Geomechanics Applied to Dams and Levees / Editor: Stephane Bonelli. – Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013, 388 p.
16. Fannin R. J., Slangen P. On the distinct phenomena of suffusion and suffosion // Géotechnique Letters, 2014, Vol. 4, Issue 4, p. 289-294.
17. Glossary of geology / Margaret Gary, Robert McAfee, Jr, and Carol L. Wolf, editors; with a foreword by Ian Campbell. – Washington, D.C.: American Geological Institute, 1972, - 52 p.

18. Hutchinson J.N. Damage to slopes produced by seepage erosion in sands // Landslides and mudflows: Reports of Alma Ata International Seminar, October 1981. Moscow: Centre of International Projects, GKNT, 1982, p. 250-265.
19. Kälın M. Hydraulic piping – theoretical and experimental findings // Canaian geotechnical journal, 1977, vol. 14. No 1, p. 107-124.
20. Petrukhin V. P. Construction of structures on saline soils. – Rotterdam: A.A. Balkema, 1993, - 255 p.
21. Skempton A.W. Landmarks in early soil mechanics // The measurement, selection, and use of design parameters in geotechnical engineering: Proceedings of 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brighton, UK, September 1979. Vol. 5, London: British Geotechnical Society, 1979, p. 1-26.