ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации

по количественной оценке устойчивости оползневых склонов

Москва 1984

gost.e-ecolog.ru

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве
(ПНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации
по количественной оценке устойчивости оползневых склонов

Москва Стройиздат 1984

УДК 624.131. 537

Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов /ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.

Приведены рекомендации по количественной оценке и прогнозу устойчивости склонов равнинных предгорных территорий расчетными и сравнительно-геологическими методами. Охарактеризованы способы оценки и прогноза отдельных оползней и склонов в целом при возможности смещений блоков, пакетов или покровных образований.

Для инженерно-технических работников изыскательских и проектно-изыскательских организаций, выполняющих инженерно-геологические изыскания на оползневых склонах.

Табл. 7, ил. 26

Разработаны ПНИИИС Госстроя СССР
(канд. геолог.-минерал. наук И.О. Тихвинский).

Рекомендованы к изданию решением инженерно-геологической секции НТС ПНИИИС Госстроя СССР.

Р $\frac{3202000000-707}{047(01)-84}$ Инструкт.-нормат., II вып. – 85–83

© Стройиздат, 1984

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В настоящих Рекомендациях изложены способы количественной оценки и прогноза (прогнозной оценки) устойчивости оползневых склонов применительно к рассмотрению возможности образования подвижек оползней.

Под оценкой устойчивости при этом понимается определение возможности появления и степени распространенности активных (двигающихся) оползней при инженерно-геологических условиях и действующих нагрузках, наблюдающихся в натурной обстановке при выполнении изысканий (исследований) на оползневых склонах.

Прогноз устойчивости представляет собой либо предсказание возможности появления (или степени распространения) активных оползней на рассматриваемых склонах при последующих ожидаемых изменениях природных условий и воздействий (в результате намечаемого хозяйственного освоения территории и влияния природных процессов) либо предсказание степени распространенности оползней на территориях, для которых известна характеристика инженерно-геологических условий, но оползневая съемка ранее не выполнялась.

1.2. Настоящие Рекомендации составлены для решения задач по оценке и прогнозу устойчивости оползневых склонов за пределами областей распространения мерзлоты и предназначены в основном для равнинных и предгорных территорий. Специфические виды нарушения устойчивости горных склонов (оползз-

ни-обвалы, обвалы и др.) при этом не рассматриваются.

1.3. Оползневые склоны, как правило, отличаются от искусственных откосов и неоползневых склонов следующими специфическими особенностями, с учетом которых разработаны настоящие Рекомендации:

сложными геологическими условиями, наличием разнообразных поверхностей ослабления (многие из которых имеют оползневой генезис), большой изменчивостью в течение годового цикла физико-механических свойств пород в приповерхностной зоне и силовых воздействий подземных вод;

сложным рельефом, связанным с прежней деятельностью оползней;

наличием или возможностью развития оползней разных типов, обычно взаимодействующих между собой;

преимущественно относительно малой степенью устойчивости ныне стабильных участков склона;

возможностью нарушения устойчивости склона даже при незначительном изменении воздействия комплекса факторов оползнеобразования, характерных своим комплексным воздействием, существенно изменяющимся во времени (во внутригодовом и многолетнем периодах).

Примечание. Приведенные в Рекомендациях способы оценки и прогноза устойчивости полностью правомерны также и для искусственных откосов и неоползневых склонов.

1.4. В настоящих Рекомендациях подробно охарактеризованы наименее трудоемкие способы количественной оценки и прогноза устойчивости склонов, предлагаемые к использованию при массовых инженерно-геологических изысканиях с целью выполнения требований СНиП по основным положениям инженерных изысканий в строительстве.

Для случаев, когда при изысканиях на объектах большой значимости целесообразно применять более сложные способы оценки и прогноза устойчивости

склонов, в Рекомендациях приведены краткие указания.

1.5. Различаются локальные и региональные методы оценки и прогноза устойчивости склонов.

Локальные методы используются для оценки и прогноза устойчивости на конкретных участках (по конкретным створам) в пределах изучаемых склонов. Эти методы являются основными при составлении инженерно-геологического обоснования застройки и других видов хозяйственного освоения склоновых территорий.

Региональные методы предназначены для выявления и прогноза степени распространенности оползней для значительных по площади зон (или групп участков), выделенных на рассматриваемой обширной территории, причем каждая зона (группа участков) должна иметь относительно однородный комплекс факторов оползнеобразования. Положение конкретных оползней в пределах каждой указанной зоны (группы участков) региональными методами не устанавливается. В практике изысканий региональные методы могут использоваться для обоснования перспективных планов хозяйственного освоения больших по площади территорий, характерных наличием оползневых процессов. В качестве вспомогательных региональные методы могут применяться также при крупномасштабном инженерно-геологическом районировании оползневых склонов.

1.6. Количественную оценку и прогноз устойчивости оползневых склонов следует производить применительно к типизации оползней по механизму оползневого процесса (табл. 1) и по генетическому признаку.

По механизму оползневого процесса рекомендуется выделять следующие типы оползней:

оползни сдвига (срезающие, консеквентные, срезающе-консеквентные);

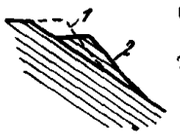
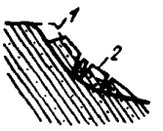
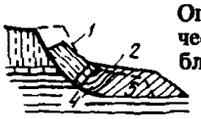
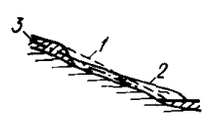
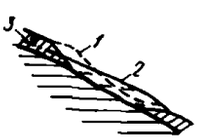
оползни выдавливания;

оползни вязкопластические (оползни-потоки, сплывы, оплывины);

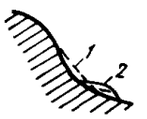
оползни гидродинамического выноса (суффозионные, гидродинамического выпора);

Таблица 1

Схема типизации оползней по механизму оползневого процесса

Тип оползней	Характер развития оползневых деформаций	Вид оползней	Специфические признаки и условия образования оползней	Схема строения оползня	Упоминаемые в литературе другие названия оползней данного типа или вида
Оползни сдвига	Сдвиг с блоковым смещением тела оползни по вогнутой криволинейной или плоской поверхности	Срезающие	Форма в плане – циркообразная или фронтальная Подошва оползня: не приурочена к поверхностям ослабления, линия скольжения близка к дуге окружности	1 	Оползни скольжения, блоковые, "собственно оползни" Оползни среза с вращением, оползни срезания
		Консеквентные	преимущественно совпадает с поверхностью (поверхностями) ослабления	2 	Оползни соскальзывающие (соскальзывания), структурные, оскользни
		Срезающе-консеквентные	частично совпадает с поверхностью (поверхностями) ослабления	3 	Оползни срезающе-соскальзывающие
Оползни выдавливания	В головной части оползня происходит выдавливание приподошвенного слоя из-под вышележащего "жесткого" смещающегося блока, в средней и языковой частях-блоковое смещение по определенной поверхности		Форма в плане – фронтальная. Наличие у бровки склона высокого крутого уступа, примыкающего к полосе оползневых накоплений. Присутствие в коренном массиве *слабого слоя на* отметках ниже подошвы этого уступа. Как правило горизонтальное залегание коренных пород	4 	Оползни структурно-пластические, раздавливания, блоковые
Оползни вязкопластические	Смещение происходит в виде вязкого или вязкопластического течения, величины смещения на дневной поверхности больше, чем у подошвы оползня		Наличие вблизи поверхности склона сравнительно рыхлых пород, способных к ползучести		Оползни течения, консистентные
		Оползни-потоки	Форма в плане вытянутая по оси оползня. В головной части оползня обычно происходит обводнение подземными или поверхностными водами. Подвижки могут повторяться в течение ряда лет и даже десятилетий	5 	Земляные потоки
		Сплывы	Форма в плане – обычно округлая. Приурочены к относительно крутым уступам на участках повышенной увлажненности пород у поверхности склона	6 	Оползни-сплывы

Продолжение табл. 1

Тип оползней	Характер развития оползневых деформаций	Вид оползней	Специфические признаки и условия образования оползней	Схема строения оползня	Упоминаемые в литературе другие названия оползней данного типа или вида
		Оплывины	Форма в плане – округлая, глубина – в пределах зоны сезонного промерзания. Возникают при весеннем оттаивании, часто при отсутствии подземных вод		Оплывы
Оползни гидродинамического выноса	Смещение происходит в виде вытекания песчаных водоносных грунтов с вовлечением в движение пород, залегающих над ними				Оползни выплывания
		Суффозионные оползни	Форма в плане вытянутая или циркообразная. Смещение развивается регрессивно (постепенное распространение головы оползня вверх по склону)		Суффозионно-структурные оползни
		Оползни гидродинамического выпора	Смещение происходит единым массивом с последующим растеканием тела оползня		
Оползни внезапного разжижения	Смещение происходит при быстром разрушении структурных связей водонасыщенных глинистых пород с последующим стеканием их вниз по склону (вышезалегающие породы вовлекаются в смещение)		Тело оползня быстро продвигается вниз по рельефу на большие расстояния		Оползни-потоки в лессовых породах Средней Азии, оползни "норвежского типа"

Условные обозначения: *1,2 – рельеф соответственно перед началом и после завершения подвижки оползня; 3 – уровень грунтовых вод; 4 – раздавленные и выдавленные породы (в головной части оползня выдавливания); 5 – оползневые накопления, имевшиеся на склоне до образования оползня выдавливания.*

оползни внезапного разжижения (возникающие вследствие разрушения структурных связей в слабо уплотненных глинистых породах);

оползни сложного (комбинированного) механизма.

По генетическому признаку в зависимости от фактора-процесса, являющегося определяющим в нарушении устойчивости рассматриваемого склона, различаются оползни нижеперечисленных генетических типов:

абразионные (вызванные размывом берегов, морей, озер, водохранилищ в результате воздействия волнения);

эрозионные (обусловленные подсечкой склонов речной и овражной эрозией);

гидрогеогенные (образовавшиеся в результате воздействия подземных и инфильтрационных атмосферных вод на породы, слагающие склон);

антропогенные (появляющиеся из-за изменения природных условий при различных видах инженерно-хозяйственной деятельности человека);

полигенные (вызванные совместным воздействием различных факторов оползнеобразования).

Примечание. На развитие оползней всех генетических типов оползней обычно оказывает влияние процесс выветривания горных пород.

1.7. Количественной оценке и прогнозу устойчивости склонов должна предшествовать качественная оценка наличия или возможности возникновения на рассматриваемом склоне оползней определенного типа по механизму оползневого процесса.

Указанная качественная оценка проводится путем сопоставления инженерно-геологической обстановки данного склона со специфическими особенностями оползней разных типов, охарактеризованными в табл. 1.

1.8. При оценке и прогнозе устойчивости склонов, поражаемых гидрогеогенными оползнями, требуется учитывать внутригодовые (сезонные) и многолетние колебания степени обводненности пород, величин напора и гидравлических градиентов подземных вод.

При возможности возникновения абразионных, эрозионных, антропогенных и полигенных оползней прог-

ноз устойчивости склона должен основываться на предшествующем прогнозе воздействия соответствующего оползнеобразующего фактора (абразии, эрозии и т.д.).

1.9. Локальную оценку и локальный прогноз устойчивости с использованием количественных методов целесообразно выполнять после предшествующей качественной оценки устойчивости рассматриваемых оползневых склонов, при которой различаются склоны следующих трех категорий:

устойчивые, – на которых формирование оползней завершилось давно и при сохранении наблюдающейся ныне природной обстановки опасность развития оползневых подвижек отсутствует;

условно устойчивые, – фррмирование которых закончилось недавно и запас устойчивости еще очень невелик;

неустойчивые, – формирование которых продолжается и сопровождается развитием оползней.

Качественную оценку устойчивости необходимо производить с учетом генетического типа, морфологии (характера рельефа), возраста и стадии формирования склона и его морфологических элементов.

1.10. При локальной оценке и прогнозе устойчивости склонов количественными методами особое внимание следует уделять:

для устойчивых склонов – определению расчетных характеристик прочности пород на сдвиг (с выполнением обратных расчетов устойчивости оползней в массивах аналогичного геологического строения, если оползни наблюдаются на территориях, примыкающих к рассматриваемым устойчивым склонам);

для условно устойчивых склонов – определению ("реконструкции") инженерно-геологических условий, при которых ранее происходили оползневые подвижки, и выполнению обратных расчетов устойчивости применительно к условиям возникновения таких подвижек;

для неустойчивых склонов – обратным расчетам устойчивости имеющихся действующих оползней

и прогнозу захвата оползневыми подвижками участков, примыкающих к действующим оползням.

1.11. Для осуществления локальной оценки и прогноза устойчивости склонов количественными методами необходимы следующие исходные данные:

характерные профили рельефа (для прогноза с учетом ожидаемых изменений поверхности склона);

положение (границы) относительно однородных по литологии и механическим свойствам слоев и толщ, слагающих склон);

положение поверхностей (или зон) ослабления в массиве склона (трещины различного происхождения, старые и свежие поверхности оползневых смещений, контакты слоев, прослои и зоны малопрочных пород, зоны тектонического дробления);

расчетные показатели ряда физико-механических свойств пород, затрагиваемых оползневыми подвижками (естественной влажности, удельного (объемного) веса, характеристик сопротивленная сдвигу, в определенных случаях также и показателей сжимаемости, прочности на раздавливание, геологических характеристик), с учетом ожидаемых изменений этих показателей по сезонным периодам и за многолетний срок и с особенно тщательным выявлением показателей прочности пород на сдвиг по поверхностям и зонам ослабления;

верхние и нижние границы водоносных горизонтов и обводненных зон в массиве пород, гидравлические градиенты и величины напора подземных вод;

типы имеющихся (или возможных в рассматриваемой инженерно-геологической обстановке) оползней по механизму оползневого процесса, границы оползневых тел в плане и по глубине;

интенсивность сейсмических воздействий;

места приложения и величины нагрузок (статических и динамических) от имеющихся на склоне зданий и сооружений;

при прогнозе устойчивости места проявления и интенсивность абразии, линейной эрозии и выветривания,

а также характеристики влияния ожидаемой инженерно-геологической деятельности (в том числе характеристика статических и динамических нагрузок в период строительных работ на рассматриваемых склонах).

Примечание. При нижеследующем изложении предполагается, что для изучаемых конкретных склонов все указанные исходные данные получены до начала выполнения количественной локальной оценки и прогноза устойчивости. Способы получения некоторых исходных данных приведены в разд. 4 настоящих Рекомендаций.

1.12. Локальные оценка и прогноз устойчивости склонов количественными методами заключаются, как правило, в решении плоской задачи, при которой рассматриваются условия равновесия массива горных пород шириной 1 м (с вертикальными, боковыми гранями), условно "вырезанного" из массива склона по направлению ожидаемого оползневого смещения (силы, действующие по боковым граням, при этом не учитываются).

Объемная задача, т.е. определение условий равновесия по всей массе оползня, решается в редких случаях обычно для отдельных объектов высокой капитальности, преимущественно путем решения плоской задачи для отдельных участков оползня с последующим суммированием полученных результатов для всего объема оползня.

1.13. Основным количественным показателем, используемым при локальной оценке и прогнозе устойчивости склонов, является коэффициент устойчивости (коэффициент запаса устойчивости), представляющий собой отношение сумм удерживающих и сдвигающих сил, действующих по поверхности предполагаемого смещения оползневого тела (при круглоцилиндрической поверхности смещения отношение сил заменяется отношением моментов тех же сил).

К удерживающим относятся реактивные силы сопротивления грунта сдвигу и, при наличии поддерживающих сооружений, силы воспринимаемого ими оползневого

давления, а также те из активных сил, которые направлены в сторону, обратную направлению предполагаемого оползневого смещения. Активные силы включают тангенциальные составляющие веса пород и сооружений, находящихся над поверхностью оползневого смещения, а также фильтрационные силы (в случаях, когда поверхность оползневого смещения пересекает водоносные горизонты), гидростатические силы, вибрационные и сейсмические нагрузки.

Сдвигающими считаются те активные силы, которые направлены по направлению предполагаемого оползневого смещения.

Склон или его элемент (откос, уступ и др.) считается устойчивым, если коэффициент его устойчивости $K_y > 1$. Величина $K_y = 1$ соответствует предельному равновесию, наблюдающемуся в моменты начала и завершения оползневого смещения.

1.14. Используемые для вычисления коэффициента устойчивости расчетные величины реактивных сил, определяемые с учетом характеристик физико-механических свойств пород, слагающих склон, а также расчетные величины активных сил должны соответствовать наиболее неблагоприятному, но реально возможному состоянию склона.

1.15. При предусмотренном размещении на склоне зданий и сооружений в соответствии с проектом для обоснования которого выполняются изыскания, величины коэффициента устойчивости склона K_y должны отвечать условию

$$K_y \geq K_{y.доп},$$

где $K_{y.доп} = \frac{n_c K_н}{m}$ – допускаемая величина коэффициента устойчивости склона; n_c, $K_н$ и m – соответственно коэффициенты сочетаний нагрузок, надежности и условий работы, определяемые согласно требованиям нормативных документов по проектированию соответствующих видов зданий и сооружений.

1.16. Вычисление коэффициента устойчивости склона выполняется по расчетным створам, количество которых зависит от конкретных инженерно-геологиче-

ских условий и от местоположения проектируемых на склоне сооружений, а также от стадии проектирования и задач, поставленных проектом освоения рассматриваемого склона.

Расчетные створы задаются по направлению ожидаемого оползневого смещения (как правило, по направлению падения земной поверхности) с захватом по высоте всей потенциально неустойчивой зоны.

1.17. Для одностадийного проектирования (изыскания под обоснование рабочего проекта) и на второй заключительной стадии двухстадийного проектирования (обоснование рабочей документации) расчетные створы следует располагать, как правило, на всех оползнях, имеющихся в натуре или потенциально возможных в рассматриваемых инженерно-геологических условиях, а также на участках проектируемых сооружений.

При этом рекомендуется задавать на каждом оползне как минимум один расчетный створ, приуроченный к оси оползня. Для оползней значительной ширины задаются дополнительные створы (по обеим сторонам от осевого створа) на тех участках, инженерно-геологические условия которых отличаются от осевого створа (по рельефу, геологическому строению, гидрогеологическим условиям, физико-механическим свойствам пород, мощности оползневого тела и протяженности линии оползневого смещения).

При изыскании на первой стадии двухстадийного проектирования (обоснование проекта) на территории, охватываемой проектом, рекомендуется выполнять типизацию склонов по инженерно-геологическим условиям развития оползней и задавать минимум по одному расчетному створу для каждого типа склонов и не менее одного расчетного створа на каждом из участков основных проектируемых сооружений.

При составлении инженерно-геологического обоснования схем развития народного хозяйства и инженерной защиты, разрабатываемых для обширных территорий, расчетные створы следует располагать выборочно на наиболее типичных по природным условиям участках, преимущественно в местах возможного возникновения крупных оползней.

2. ЛОКАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

2.1. Локальная количественная оценка устойчивости каждого конкретного оползневого склона осуществляется путем последовательного выполнения:

качественной оценки возможности образования оползней разного типа;

расчетов устойчивости крутых уступов и откосов, имеющихся на склоне ступенчатого профиля;

расчета устойчивости коренного массива всего склона, в том числе для склонов однородного (прямолинейного, вогнутого или выпуклого) профиля;

расчета устойчивости склоновых накоплений оползневых и делювиально-оползневых).

Расчеты устойчивости склоновых накоплений должны выполняться для всего склона в целом, включая и те случаи, когда территория проектируемого объекта занимает только часть рассматриваемого склона.

2.2. Качественная оценка возможности образования оползней выполняется в соответствии с требованиями п. 1.7 настоящих Рекомендаций на основе сопоставления инженерно-геологических условий рассматриваемого склона со специфическими условиями образования конкретных типов и видов оползней, различающихся по механизму оползневого процесса (см. табл. 1), а также с условиями развития оползней на данном склоне или на имеющихся в районе его расположения других склонах, сходных по инженерно-геологической обстановке.

Указанным методом следует устанавливать места возможного образования оползней определенного типа и вида по механизму оползневого процесса. Одновременно по геоморфологическим признакам, исходя из аналогии с оползнями, зафиксированными в районе выполняемых исследований, определяются ориентировочные размеры (длина и ширина) оползней, возможных на данном склоне.

Для имеющихся на рассматриваемом склоне активных оползней по внешним признакам (оползневые тре-

щины, формы оползневого рельефа) при качественной оценке фиксируются контуры местоположения смещающихся оползневых масс, а также выделяются тип и вид оползней с учетом сведений, указанных в табл.1.

2.3. Количественная оценка устойчивости участков активных оползней, выделенных по качественным признакам, является излишней (коэффициент устойчивости здесь менее 1). Однако для таких участков рекомендуется выполнять "обратные расчеты устойчивости" с целью определения характеристик сопротивления пород сдвигу (см. разд. 4 настоящих Рекомендаций).

А. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КРУТЫХ УСТУПОВ И ОТКОСОВ

2.4. Расчет устойчивости крутых уступов (откосов) осуществляется применительно к тому типу оползня по механизму оползневого процесса, который согласно ранее выполненной качественной оценке (см. п. 2.2) возможен на данном уступе (откосе).

Независимо от результатов качественной оценки для всех крупных уступов (откосов) должен проводиться контрольный расчет устойчивости применительно к возможности образования оползней сдвига.

При этом для оползней сдвига способ расчета зависит от положения поверхностей ослабления в массиве пород, предопределяющего вид ожидаемого оползня (оползень срезающий, консеквентный или срезающе-консеквентный).

Оценка возможности образования срезающих оползней сдвига

2.5. Срезающие оползни сдвига характерны для уступов (откосов) однородного строения (т.е. сложенных породой с одинаковыми однородными физико-механическими свойствами в любых точках грунтового массива), а также при наклоне слоев породы обратно падению поверхности уступа, при горизонтальном напластовании или при наклоне слоев в сторону падения поверхности уступа под углом, меньшим величины угла внутреннего трения пород, слагающих уступ.

Очертание поверхности скольжения таких оползней (в вертикальном сечении по направлению оползневого смещения) обычно близко к дуге окружности.

2.6. Для уступов (откосов) с прямолинейным профилем и однородным строением (т.е. при одинаковых значениях физико-механических свойств во всех точках массива пород) при отсутствии водоносных горизонтов в массиве пород оценка устойчивости выполняется в следующем порядке:

определяются критические значения угла внутреннего трения ($\varphi_{кр}$) и сцепления ($C_{кр}$) для пород, слагающих рассматриваемый уступ, в соответствии с прил. 1 настоящих Рекомендаций;

находится положение наиболее опасной поверхности скольжения (см. пп. 2.7-2.9);

вычисляется коэффициент устойчивости уступа (см. пп. 2.10-2.14 настоящих Рекомендаций).

2.7. Положение наиболее опасной поверхности скольжения (в условиях плоской задачи-линии скольжения) для уступа высотой H и крутизной α при отсутствии дополнительной пригрузки и водоносных горизонтов находится, согласно рекомендациям Г.Л. Фисенко[1], следующим образом:

определяется глубина вертикальной трещины отрыва H_{90}, м, по формуле

$$H_{90} = \frac{2 C_{кр} ctg\left(45° - \frac{\varphi_{кр}}{2}\right)}{\gamma}, \qquad (1)$$

где $C_{кр}$ и $\varphi_{кр}$ – критические величины соответственно сцепления, МПа, и угла внутреннего трения, градусы, определяемые согласно прил. 1 настоящих Рекомендаций; γ – удельный (объемный) вес пород, слагающих уступ, МН/м^3;

по графику (рис. 1) в зависимости от величин $\frac{H}{H_{90}}$ и $\varphi = \varphi_{кр}$ находится величина $\frac{a}{H_{90}}$ и затем вычисляется ширина призмы обрушения a (см. прил. 2);

на расстоянии a от бровки уступа откладываем

[1] Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965.

вертикальный отрезок BE, равный длине трещины отрыва H_{90} (см.рис. 2). От точки E проводим в сторону уступа горизонтальный отрезок EK, равный по длине a, и от его концов откладываем $\angle EKF = \angle KEF = 45 + \frac{\varphi_{кр}}{2}$. Отрезок EF представляет начальный участок линии скольжения. Дальнейшие операции зависят от величины $\varphi_{кр}$. При $\varphi_{кр} \geqslant 13$ круговая кривая скольжения выходит в подошву уступа (точка M). Для построения этой кривой сначала проводим линию MN под углом $(45^\circ - \frac{\varphi_{кр}}{2})$ к поверхности уступа AM.

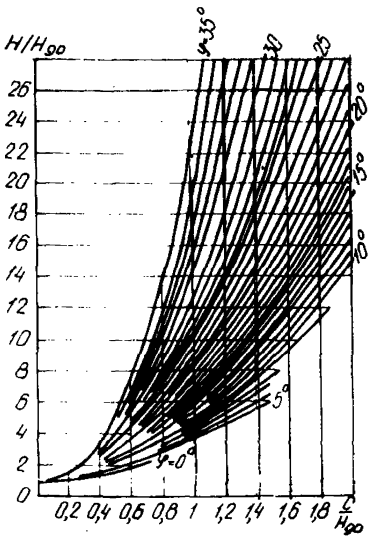


Рис. 1. График Г.Л. Фисенко для определения зависимости между высотой откоса H и шириной призмы обрушения a

Восстанавливаем перпендикуляры из точки M к линии MN и из середины T отрезка MF ($TO \perp MF$), пересечение этих перпендикуляров (точка O) будет центром круговой линии скольжения. Затем из точки O проводим радиусом OM дугу окружности до точки F. Эта дуга и отрезок FE будут представлять собой искомую линию скольжения, примыкающую к трещине отрыва.

Если $\varphi_{кр}$ меньше 13°, кривая скольжения выходит на площадку, примыкающую к подошве уступа (см.рис.3) и пересекает ее под углом $(45^\circ - \frac{\varphi_{кр}}{2})$. В данном случае построение трещины отрыва и верхнего участка EF линии скольжения проводится вышеизложенным способом, а положение нижележащей поверхности скольжения

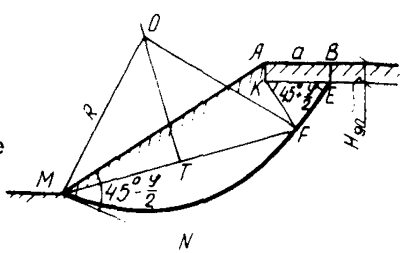


Рис. 2. Построение поверхности скольжения в однородных породах по методике ВНИМИ

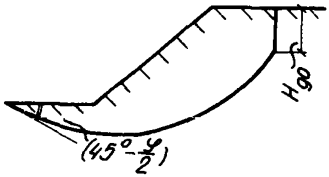


Рис. 3. Схема оползня с линией скольжения, проходящей ниже подошвы уступа

определяется специальным расчетом в соответствии с "Методическими указаниями по определению углов наклона бортов, откосов, уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров.-Л.: ВНИМИ, 1972.

Примечание. Положение наиболее опасной линии скольжения для оценки устойчивости прямолинейных откосов однородного строения можно находить также с использованием графиков В. Феллениуса[1] и Янбу[2].

2.8. Для уступов (откосов) прямолинейного профиля, а также при их неоднородном строении при наличии обводненности пород в целях определения наиболее опасной линии скольжения срезающих оползней сдвига допускается использовать построение согласно п. 2.7 настоящих Рекомендаций со следующими дополнениями:

для уступов непрямолинейного профиля - с условным спрямлением их профиля;

для уступов неоднородного строения - с проверкой возможности образования срезающе-консеквентного оползня сдвига и с использованием в операциях, регламентируемых п. 2.7 настоящих Рекомендаций, показателей объемного веса, угла внутреннего трения и сцепления, осредненных для всего массива пород, слагающих уступ.

---

[1] Справочник по инженерной геологии. Изд. 2-е. М.: Недра, 1974, с. 131

2 Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). - М.: Стройиздат, 1977, с. 215.

Проверка возможности образования срезающе-консеквентных оползней выполняется в случаях горизонтального залегания пород или при наклоне слоев в сторону падения склона. При этом в соответствии с п. 2.15. настоящих Рекомендаций оценивается возможность частичного совпадения наиболее опасной линии скольжения с плоскостями напластования или выхода этой линии на дневную поверхность в пределах одного из слоев, образованных малопрочными породами.

Осредненные показатели объемного веса $\gamma_{ср}$, угла внутреннего трения $\varphi_{ср}$ и сцепления $C_{ср}$ определяются по формуле

$$B_{ср} = \frac{h_1 B_1 + h_2 B_2 + \ldots + h_n B_n}{h_1 + h_2 + \ldots + h_n}, \qquad (2)$$

где $h_1, h_2, \ldots, h_n$ – мощности слоев, для пород слагающих массив данного уступа (откоса) м;

$B_1, B_2, \ldots, B_n$ – значение рассматриваемого показателя (объемного веса, угла внутреннего трения или сцепления) для соответствующего слоя;

$B_{ср}$ – значение рассматриваемого показателя ($\gamma_{ср}, \varphi_{ср}$ или $C_{ср}$), осредненного для всего рассматриваемого уступа (откоса).

Примечания: 1. Положение подошвы нижнего (n-го) слоя принимается сначала соответствующим положению подошвы уступа. Если при последующем определении наиболее опасной линии скольжения (см. п. 2.7) она окажется ниже подошвы уступа, подошва нижнего слоя принимается на уровне нижней точки поверхности скольжения и производится уточнение положения этой поверхности с повторным использованием формулы (1) и последующих операций, регламентируемых п. 2.7 настоящих Рекомендаций.

2. При наличии водоносного горизонта в массиве уступа объемный вес обводненных пород на участке, пересекаемом поверхностью скольжения (см. рис. 4), следует определять с учетом сил гидростатического взвешивания.

Пример. 1. Рассчитать среднюю величину сцепления для уступа, высотой 17 м, сложенного четырьмя слоями пород мощностью 5, 2, 7 и 3 м, для которых величины сцепления соответственно равны 1, 0,5, 2 и 0,7 МПа.

По формуле (2) средняя величина сцепления равна:

$$C_{ср} = \frac{h_1 C_1 + h_2 C_2 + h_3 C_3 + h_4 C_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4} = \frac{5 \cdot 1 + 2 \cdot 0{,}5 + 7 \cdot 2 + 3 \cdot 0{,}7}{5 + 2 + 7 + 3} = 1{,}3 \text{ МПа}.$$

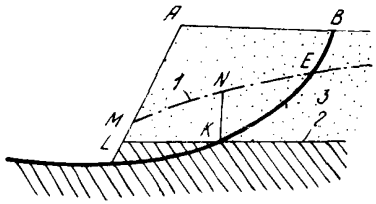


Рис. 4. Схема оползня с линией скольжения, пересекающей водоносный горизонт
1 – уровень подземных вод; 2 – водоупор

Пример. 2. Определить применительно к задаче оценки устойчивости расчетные величины удельного (объемного) веса пород для слоя 2 (см. рис. 4), если объемный вес слагающих его пород выше и ниже уровня подземных вод равен соответственно γ_1=0,016 и γ_2=0,018 МН/м^3.

Для зоны *NEK* (в которой линия *NK* является вертикалью, проведенной через точку пересечения водоупора с линией скольжения) расчетная величина удельного (объемного) веса с учетом гидростатического взвешивания составляет $\gamma_2 - \gamma_в$, где $\gamma_в$ – удельный (объемный) вес воды, равный $0{,}981 \cdot 10^{-2}$ МН=0,010 МН/м^3. Отсюда для зоны *BEK* расчетный объемный вес равен: 0,018 – 0,010=0,008 МН/м^3.

Для зоны *MNKL*, где при оценке устойчивости гидростатическое взвешивание является внутренней силой и в расчете не учитывается, расчетный объемный вес равен: γ_2 = 0,018 МН/м^3. Наконец, для необводненной зоны *ABENM* расчетный объемный вес составляет γ_1 = 0,016 МН/м^3.

2.9. Для пригруженных уступов и откосов положение наиболее опасной кривой скольжения определяется в зависимости от места приложения пригрузки (см. рис. 5).

Если пригрузка находится на верхней площадке уступа на расстоянии более 2a от его бровки уступа (где a – ширина призмы обрушения, определенная согласно п. 2.7 настоящих Рекомендаций), то уступ рассматривается как непригруженный.

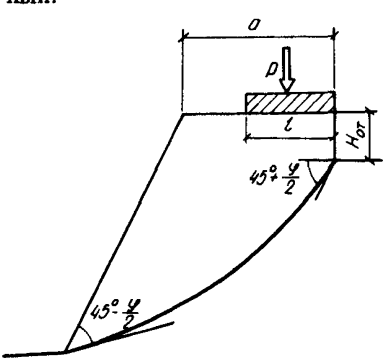


Рис. 5. Схема основных параметров расчетного отсека
1 – поверхность уступа; 2 – линия скольжения

Если пригрузка располагается в пределах отрезка длиной a от верхней бровки уступа, вначале вычисляется величина вертикальной трещины отрыва в условиях пригрузки H'_{90}, м, по формуле

$$H'_{90} = \left(H_{90} - \frac{P}{l \cdot 1м \cdot \gamma}\right),$$

где H_{90} – высота, вертикальной трещины отрыва для того же уступа при отсутствии пригрузки, определенная по формуле (1), м; P – величина пригрузки, МН; l – длина участка приложения пригрузки , м; γ – удельный (объемный) вес пород, слагающих уступ, МН/м^3 (в случаях когда $H_{90} < \frac{P}{l \cdot 1м \cdot \gamma}$, величина H_{90} принимается равной нулю).

Затем на расстоянии a от бровки уступа откладывается по вертикали величина трещины отрыва H'_{90} и от ее нижнего края проводится кривая скольжения тем же способом, как для непригруженного откоса (см. п.2.7).

В случае размещения пригрузки на расстояние от a до $2a$ от бровки уступа наиболее опасная линия скольжения находится подбором с выполнением серии расчетов устойчивости применительно к разным вариантам положения этой линии в соответствии с п. 2.15 настоящих Рекомендаций. При этом ниже трещины отрыва верхний участок линии скольжения задается с уклоном $(45^\circ + \varphi_{кр}/2)$, а в своей нижней точке эта линия должна примыкать к профилю поверхности земли под углом $(45^\circ - \varphi_{кр}/2)$.

За наиболее опасный принимается вариант линии скольжения, для которого величина коэффициента устойчивости, определенная расчетом в соответствии с пп. 2.10–2.14 настоящих Рекомендаций, будет наименьшей.

2.10. Расчет коэффициента устойчивости необводненных прямолинейных уступов (откосов) однородного строения для случаев, когда наиболее опасная линия скольжения повсеместно наклонена в сторону подошвы уступа и при отсутствии сейсмических воздействий, допускается выполнять по формуле

$$K_{уст} = \frac{tg\,\varphi}{tg\,\varphi_{кр}} = \frac{C}{C_{кр}}, \qquad (3)$$

где φ, C – соответственно угол внутреннего трения и сцепление для пород, слагающих уступ; $\varphi_{кр}$, $C_{кр}$ – критические величины угла внутреннего трения и сцепления, определенные для того же уступа в соответствии с прил. 1.

Для остальных случаев расчет устойчивости рекомендуется выполнять методом алгебраического сложения сил применительно к конкретной инженерно-геологической обстановке с учетом фильтрационных сил и гидростатического давления

(при обводненности пород, слагающих уступ), а также сейсмических воздействий (см. пп. 2.11–2.14).

2.11. Для необводненных уступов и откосов (точнее, при отсутствии водоносных горизонтов, пересекаемых поверхностью скольжения) и при отсутствии сейсмических воздействий вычисление коэффициента устойчивости для оценки возможности образования срезающих оползней сдвига производится по формуле "алгебраического сложения сил"

$$K_y = \frac{\Sigma P_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + \Sigma C_i l_i \cdot 1м + \Sigma P_i \sin\alpha_i''}{\Sigma P_i \sin\alpha_i'}, \qquad (4)$$

где P_i – вес i-го расчетного отсека, ограниченного вертикальными гранями (см. рис. 6), MH (в подошве отсека дуга линии скольжения заменяется отрезком прямой линии; количество отсеков и расстояния между их боковыми гранями выбирается таким образом, чтобы образованная подошвами отсеков ломаная линия достаточно близко соответствовала дуге окружности); α_i' – угол наклона подошвы отсека, град, для участков, где линия скольжения направлена в сторону падения поверхности уступа; α_i'' – угол наклона подошвы отсека, град, для участков, где линия скольжения имеет уклон, обратный падению поверхности уступа; l_i – длина подошвы отсека, м; φ_i, C_i – соответственно угол внутреннего трения, град, и сцепление, МПа, для пород, определяющих величину сопротивления сдвигу по подошве отсека.

Примечания: 1. Для непригруженных отсеков вес отсека

$$P_i = V_i \gamma_i \cdot 1м, \qquad (5)$$

где V_i – площадь сечения отсека, м^2 γ_i – средний удельный (объемный) вес в пределах отсека, МН/м^3.

При наличии на поверхности отсека сооружений, оборудования, насыпей и других нагрузок их вес при определении суммируется с весом пород, слагающих отсек.

2. Величины α_i' и α_i'' принимаются положительными; величины α_i при уклоне подошвы отсека в сторону падения уступа считаются положительными, при обратном уклоне – отрицательными.

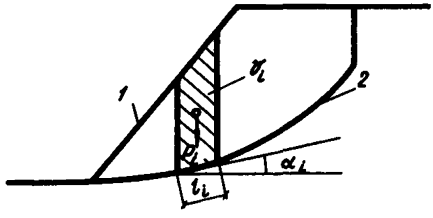


Рис. 6.Схема положения наиболее опасной линии скольжения для пригруженного уступа

2.12. Фильтрационные силы, представляющие собой одновременное воздействие гидростатического взвешивания и фильтрационного давления, при определении коэффициента устойчивости необходимо учитывать для участков поверхности скольжения, находящихся в пределах водоносного горизонта.

Гидростатическое взвешивание уменьшает вертикальные напряжения в скелете обводненной породы и численно равно весу воды в объеме рассматриваемой части водоносного горизонта. Фильтрационное давление направлено по линиям тока воды и равно для каждой единицы объема водоносного горизонта произведению гидравлического (напорного) градиента этого горизонта на объёмный вес воды.

При наличии фильтрационных сил в условиях отсутствия сейсмических воздействий формула (4) видоизменяется следующим образом:

$$K_y = \frac{\Sigma[p_i' \cos\alpha_i + \gamma_в \omega_i I_i \sin(\beta_i - \alpha_i) 1м] tg\varphi_i + \Sigma C_i l_i 1м + \Sigma p_i' \sin\alpha_i''}{\Sigma p_i' \sin\alpha_i' + \Sigma \gamma_в \omega_i I_i \cos(\beta_i - \alpha_i) 1м}, \quad (6)$$

где $p_i' = (p_i - \gamma_в \omega_i 1м)$ – вес отсека с учетом гидростатического взвешивания, МН; p_i – вес отсека без учета гидростатического взвешивания, МН; $\gamma_в$ – удельный (объемный) вес воды, равный 0,01 МН/м^3; ω_i – площадь сечения обводненной части отсека, м^2 (см. рис. 7); I_i – гидравлический градиент в пределах отсека; α_i – угол наклона подошвы отсека, град (величина α_i при уклоне подошвы отсека в сторону падения уступа принимается положительной, при обратном уклоне – отрицательной); β_i – угол наклона равнодействующей фильтрационного давления, град (величины β_i при направлении фильтрационного потока в сторону падения уступа принимаются положительными, при обратном направлении потока – отрицательными); остальные значения – приняты по формуле (4).

Уклон равнодействующей фильтрационного давления принимается равным: для безнапорных вод – средней величине между уклоном депрессивной поверхности (поверхности обводненной зоны) и уклоном подошвы водоносного горизонта, для напорных вод – средней величине между уклонами кровли и подошвы водоносного горизонта.

Гидравлический градиент допускается принимать равным отношению разности отметок депрессионной или (для напорных вод) пьезометрической поверхности водоносного горизонта между правой и левой гранями отсека к длине отрезка, проведенного через середины обводненной зоны для упомянутых граней отсека (например, отрезок *KM* на рис. 5).

Примечание. Для отсеков, подошва которых не пересекает обводненную зону (например, для отсека *АВДЕ* на рис. 5),

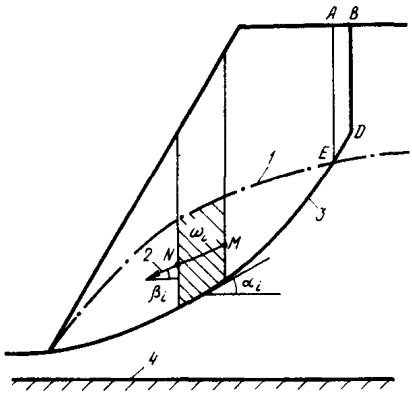


Рис. 7. Схема расчетного отсека в пределах водоносного горизонта
1 – уровень подземных вод; 2 – равнодействующая фильтрационного давления; 3 – поверхность смещения; 4 – подошва водоносного горизонта

при использовании формулы (6) вместо величины P_i' следует подставлять значения P_i .

2.13. Гидростатическое давление при определении коэффициента устойчивости требуется учитывать в двух типичных случаях:

если по кровле напорного водоносного горизонта проходит поверхность оползневого смещения;

если на поверхности уступа или откоса имеются заполненные водой вертикальные или крутонаклонные трещины, доходящие до поверхности оползневого смещения (причем трещины гидравлически разобщены и заключенная в них вода не образует единый водоносный горизонт).

В первом случае воздействие напоров вызывает гидростатическое взвешивание вышезалегающих пород, с учетом чего формула для определения коэффициента устойчивости принимает вид

$$K_y = \frac{\Sigma (p_i - \gamma_в h_i l_i \cdot 1м) \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi_i + \Sigma C_i l_i \cdot 1м + \Sigma p_i \sin\alpha_i''}{\Sigma p_i \sin\alpha_i'}, \qquad (7)$$

где $\gamma_в$ – удельный вес воды, равный 0,01 МН/м³; h_i – средняя высота напора подземных вод относительно подошвы отсека, м: остальные значения приняты по формуле (4).

Во втором случае заполнение трещины водой вызывает появление силы гидростатического давления, направленной по нормали к поверхности трещины и равной $\frac{\gamma_в H^2 \cdot 1м}{2}$;

$H_в$ – высота столба воды в трещине относительно поверхности оползневого смещения.

При оценке возможности образования оползня, охватывающего весь рассматриваемый уступ (откос), силу гидростати-

ческого давления необходимо учитывать только для трещин, образующихся по верхней границе потенциально неустойчивой части массива пород (т.е. для трещин закола). На остальной территории неустойчивой части массива силы гидростатического давления воды, заполняющей трещины, оказываются внутренними и не влияющими на возможность образования оползня, охватывающего весь уступ. Однако при наличии в низовой части уступа трещин, заполненных водой, силы гидростатического давления могут способствовать отчленению небольших оползающих блоков с последующим постепенным распространением побочных отчленений вверх по уступу.

2.14. Сейсмические силы вызывают дополнительные горизонтальные и вертикальные нагрузки в массиве пород, причем роль вертикальной составляющей сейсмической силы сравнительно мала и может не учитываться при оценке устойчивости[1].

При определении коэффициента устойчивости сейсмические силы учитываются для сейсмически активных районов (с землетрясениями 6 баллов и более). Направление горизонтальной сейсмической силы принимается соответствующим направлению возможного оползневого смещения, а ее величина для каждого отсека – равной произведению веса отсека (для обводненных пород без поправки на гидростатическое взвешивание) на коэффициент сейсмичности m, определяемый по табл.2 в зависимости от расчетной сейсмичности для района выполняемых изысканий.

Таблица 2

Расчетная сейсмичность в баллах	6	7	8	9	10
Коэффициент сейсмичности m	0,01	0,025	0,05	0,10	0,25

Величина расчетной сейсмичности определяется по картесхеме, помещенной в главе СНиП по проектированию строительства в сейсмических районах; при глубине грунтовых вод менее 4 м для уступов (откосов), сложенных глинистыми породами и песками, расчетная сейсмичность увеличивается на один относительно среднего балла для данного района.

Формулы для определения коэффициента устойчивости с учетом сейсмических воздействий имеют вид:

при отсутствии водоносных горизонтов в массиве пород

$$K_y = \frac{\Sigma P_i (\cos\alpha_i - m\sin\alpha_i) tg\varphi_i + \Sigma C_i l_i \cdot 1_м + \Sigma P_i \sin\alpha_i''}{\Sigma P_i \sin\alpha_i' + \Sigma P_i m \cos\alpha_i}, \quad (8)$$

[1] Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневого процесса.–М.: Недра, 1972.

при наличии водоносного горизонта (водоносных горизонтов), пересекаемого линией скольжения оползня

$$K_y = \frac{\Sigma[P_i' \cos\alpha_i + \gamma_в \omega_i I_i \cdot 1_м \sin(\beta_i - \alpha_i) - P_i m \sin\alpha_i]^x}{\Sigma P_i \sin\alpha_i' + \Sigma \gamma_в \omega_i I_i \cos(\beta_i - \alpha_i)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{\times tg\varphi_i + \Sigma C_i l_i \cdot 1_м + \Sigma P_i \sin\alpha_i''}{1_м + \Sigma P_i m \cos\alpha_i}, \qquad (9)$$

где P_i – вес отсека без учета гидростатического взвешивания, МН; P_i' – вес отсека с учетом гидростатического взвешивания, МН (для отсеков, подошва которых находится в пределах водоносного горизонта); m – коэффициент сейсмичности. Остальные обозначения приняты по формуле (6).

Примечание. Для отсеков, подошва которых залегает выше или ниже водоносного горизонта, в формуле (9) вместо значений P_i' следует подставлять величины P_i; при этом $\omega_i = 0$.

Оценка возможности образования консеквентных и срезающе-консеквентных оползней сдвига

2.15. Консеквентные оползни сдвига образуются при наклоне имеющихся в грунтовом массиве поверхностей (зон) ослабления в сторону падения уступа под углом, превышающим величину угла внутреннего трения для породы на поверхности ослабления. Срезающе-консеквентные оползни сдвига могут возникать при различной крутизне поверхностей ослабления, преимущественно в случаях горизонтального залегания таких поверхностей или при их наклоне в сторону падения уступа (откоса) под углом, меньшим величины угла внутреннего трения для пород на поверхности ослабления.

Если в грунтовом массиве уступа (откоса) имеется одна поверхность ослабления (например, при слое делювия на кровле коренных пород), проверяется возможность образования оползня с подошвой, полностью или частично совпадающей с поверхностью ослабления. При наличии нескольких поверхностей ослабления последовательно оценивается возможность смещения по каждой из этих поверхностей.

2.16. Поверхность ожидаемого смещения задается в виде одной или нескольких примыкающих плоскостей (в вертикальном сечении эта поверхность имеет вид соответственно прямой или ломаной линии).

Тело ожидаемого оползня разделяется вертикальными гранями на расчетные отсеки таким образом, чтобы крутизна

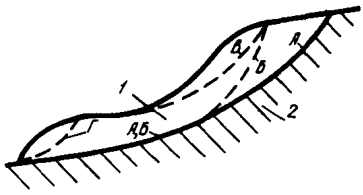


Рис. 8. Варианты (*А, Б, В, Г*) возможного положения наиболее опасной линии скольжения
1 – делювиальные отложения (с поверхностью ослабления, проходящей по их подошве); 2 – коренные породы—

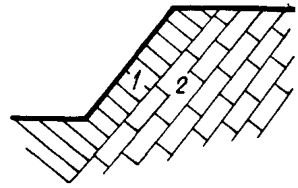


Рис. 9. Схема уступа, покрытого с поверхности слабым слоем
1 – слой относительно слабопрочной породы; 2 – прочная порода

подошвы отсека в его пределах не изменялась. Таким образом, минимальное количество отсеков равно числу участков поверхности скольжения, отличающихся величиной ее наклона. Показатели сопротивления пород сдвигу, а также условия воздействия подземных вод должны быть одинаковыми по всей длине подошвы расчетного отсека.

Расчет коэффициента устойчивости производится в соответствии с конкретными инженерно-геологическими условиями по формулам (5), (6), (8) и (9). Применительно к плоским поверхностям скольжения данный способ определения степени устойчивости именуется методом прислоненного откоса". Пример расчета дан в прил. 3.

Для оползней с линиями скольжения в виде ломаной линии расчет устойчивости допускается производить также и графоаналитическим методом "многоугольника сил", изложенным в прил. 4 настоящих Рекомендаций.

2.17. Для уступов (откосов) ступенчатого профиля определение наиболее опасного положения линии скольжения следует проводить с учетом возможных вариантов частичного (вариант Б – см. рис. 8) или даже полного (варианты В, Г на рис. 8) несовпадения этой линии с поверхностью ослабления.

2.18. Если на уступе (откосе) прямолинейного профиля залегает слой более слабых пород, подстилаемый прочной породой (см. рис. 9) критическая глубина подошвы слабого слоя определяется по формуле

$$h_{кр} = \frac{C \cos \varphi}{\gamma \cos \alpha \sin (\alpha - \varphi)}, \qquad (10)$$

где $h_{кр}$ – критическая глубина подошвы слабого слоя, замеренная по вертикали от поверхности уступа, м; C, φ, γ – соответственно сцепление, МПа, угол внутреннего трения, град,

и объемный вес, МН/м^3, для пород слабого слоя; α – крутизна поверхности уступа, град.

Если глубина подошвы слабого слоя h превышает величину $h_{кр}$, наиболее опасная линия скольжения будет проходить выше подошвы слабого слоя. При $h \leq h_{кр}$ наиболее опасная линия скольжения проходит по подошве слабого слоя.

Примечания: 1. Если контакт слабых и прочных пород является поверхностью ослабления, то в формулу (10) взамен C и φ необходимо подставлять значения C' и φ', представляющие собой соответственно величины сцепления и угла внутреннего трения по поверхности ослабления.

2. При величине $C=0$ наиболее опасная линия скольжения может проходить на любой глубине в пределах слабого слоя; крутизна уступа при этом не может превышать величину $\alpha_{кр}=\varphi$.

Оценка возможности образования вязкопластических оползней

2.19. Вязкопластические оползни (сплывы, оползни-потоки и оплывины) возникают в увлажненных относительно малоплотных породах, подверженных процессам ползучести. К таким породам могут относиться оползневые, делювиально-оползневые, делювиальные, антропогенные (техногенные) накопления, отложения зоны выветривания глинистых пород, морские слабоуплотненные глинистые и илистые осадки, а при определенных условиях также лессовые и лессовидные отложения.

2.20. Применительно к возможности образования вязкопластических оползней коэффициент устойчивости определяется по формуле

$$K_y = \frac{\Sigma l_i \tau_{пол\,i}}{\Sigma l_i \tau_i}, \qquad (11)$$

где l_i – длина участка подошвы потенциального вязкопластического оползня, м; $\tau_{пол\,i} = \tau^{o}_{пол\,i} + N_i \operatorname{tg} \varphi_i$ – порог ползучести пород тела оползня для того же участка подошвы оползня, МПа; N_i, τ_i – средние величины соответственно нормального и тангенциального напряжения для того же участка подошвы оползня, МПа; $\tau^{o}_{пол\,i}$ – порог ползучести, МПа, определенный испытаниями тех же пород на "свободный сдвиг", т.е. при нулевом нормальном напряжении ($N_i = 0$); φ_i – угол внутреннего трения пород для того же участка подошвы оползня, град.

Формула (11) применяется только для пород, обладающих ползучестью. Если на каком-либо участке подошвы оползня порода не подвержена ползучести, взамен $\tau_{пол\,i}$ для этого

участка в формулу (11) следует подставлять значение $\tau_{пред\,i} = C_i + N_i tg\varphi_i$, где C_i – величина сцепления для рассматриваемой породы, МПа.

Величины $\tau_{пол\,i}$, φ_i и C_i определяются применительно к состоянию пород, наблюдающемуся в наиболее неблагоприятный по условиям устойчивости сезонный период года; в случаях возможности образования оплывин – для состояния породы при сезонном оттаивании.

2.21. Подошва вязкопластического оползня обычно приурочена к нижней части слоя поверхностных малоуплотненных накоплений различного генезиса (см. п. 2.19) и к подошве наиболее сильно увлажненных прослоев в этих накоплениях. Подошва оплывин находится вблизи нижней границы зоны сезонного промерзания.

2.22. Если порог ползучести при свободном сдвиге для оползающих пород равен нулю (т.е. $\tau^{o}_{пол\,i} = 0$), то величина коэффициента устойчивости выражается формулой

$$K_y = \frac{\Sigma \gamma_i h_i l_i \cos^2\alpha_i tg\varphi_i}{\Sigma \gamma_i h_i l_i \cos\alpha_i \sin\alpha_i}, \qquad (12)$$

где l_i – длина подошвы для элементарного отсека в пределах оползающего поверхностного слоя, м; α_i – угол наклона подошвы того же отсека, град; γ_i, h_i – средние величины соответственно объемного веса пород МН/м^3, и глубины подошвы оползневого слоя, м, для элементарного отсека; φ_i – угол внутреннего трения для пород оползающего слоя, град.

Для однородного оползающего слоя с подошвой, параллельной поверхности уступа, формула (12) принимает вид

$$K_y = \frac{tg\varphi}{tg\alpha}, \qquad (13)$$

где φ – величина угла внутреннего трения оползающих пород, град; α – крутизна уступа, равная углу наклона подошвы оползающего слоя, град.

2.23. Оценка устойчивости откосов временных строительных выемок (котлованов, траншей), заглубляемых в тело вязкопластического оползня в период сезонной стабилизации его подвижек, следует выполнять методом прислоненного откоса (см. п.2.16) с оценкой возможности образования срезающего и срезающе-консеквентного оползня (для срезающе-консеквентного оползня с проверкой возможности смещения по подошве перемятых оползневых накоплений). При этом имеется в виду, что строительная выемка будет засыпана до начала очередного сезонного периода активизации вязкопластических оползней.

Оценка возможности образования оползней гидродинамического выноса

2.24. Оползни гидродинамического выноса (суффозионные и гидродинамического выпора) возникают в результате выноса отдельных частиц грунта или целого обводненного массива пород под воздействием фильтрационного давления. Такие оползни могут возникать:

при проходке искусственных выемок (котлованов, траншей и др.) над горизонтами напорных подземных вод;

при прорыве глинистого экрана, прикрывающего выход водоносного горизонта на дневную поверхность, в результате проходки искусственных выемок или оползания, вызванного действием природных факторов. Экран может быть представлен оползневыми, делювиально-оползневыми и делювиальными глинистыми отложениями.

2.25. Суффозионные оползни образуются после прорыва подземных вод через кровлю водоносного горизонта или глинистый экран (см. п. 2.24), когда в водоносном слое гидравлические градиенты превышают критическое значение. Критическая величина гидравлического градиента, при которой происходит вынос частиц породы фильтрационными силами, составляет $I_{кр} = 0{,}9 - 1$ *.

Развитие суффозионного выноса, сопровождающееся формированием суффозионного оползня, продолжается вверх по потоку подземных вод до момента, когда при постепенном уположении кривой депрессии величины гидравлического градиента не окажутся менее $I_{кр}$.

2.26. На оползневых склонах при отсутствии искусственных подрезок рельефа суффозионные оползни возникают в результате разрушения глинистого экрана оползнями сдвига. Для указанных условий оценка возможности суффозионных оползней сводится к определению возможности образования в водоносном слое гидравлических градиентов величиной $I \geqslant I_{кр}$ после оползания экрана. Расчет устойчивости экрана при этом следует проводить методом "прислоненного откоса" (см. п. 2.16) в двух вариантах:

с учетом силового воздействия подземных вод, фильтрующихся через экран;

без учета фильтрационных сил, но с рассмотрением влияния гидростатического давления (см. п. 2.13) на экран со стороны водоносного горизонта.

Расчетный коэффициент устойчивости принимается соответствующим наименьшему из значений коэффициента устойчивости для названных вариантов.

---

*См.: Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). – М.: Стройиздат, 1977.

2.27. Для оценки возможности образования оползня гидродинамического выпора следует проводить расчеты устойчивости применительно к оценке устойчивости глинистого экрана (см. п. 2.26), а также к возможности возникновения срезающего оползня сдвига с поверхностью скольжения, проходящей в водоносном горизонте. Расчет устойчивости для условий срезающего оползня сдвига выполняется с учетом фильтрационных сил.

Оценка возможности образования оползней внезапного разжижения

2.28. Возможность образования оползней внезапного разжижения определяется в случаях, когда породы, слагающие рассматриваемый уступ (откос), подвержены внезапному разрушению структурных связей и разжижению в обводненном состоянии.

Следует учитывать, что оползни внезапного разжижения являются редкими. На территории СССР они отмечались только в единичных случаях в лессовых породах Средней Азии и в глинах хвалынского яруса (район Волгограда).

2.29. На оползневых склонах породы, способные к внезапному разжижению, обычно перекрыты покровным чехлом оползневых и делювиально-оползневых накоплений, не обладающих таким свойством. Развитие оползней внезапного разжижения на крутых уступах (откосах) в данных условиях происходит после того, как подверженные разжижению породы окажутся обнаженными по поверхности склона в результате оползания покровного чехла. Возможность возникновения таких оползней следует оценивать расчетом устойчивости покровного чехла и всего массива пород, слагающего уступ, применительно к оползням сдвига.

Указанный расчет рекомендуется осуществлять: для покровного чехла – методом "прислоненного откоса" (см. п. 2.16), для всего массива уступа – методом алгебраического сложения сил с предполагаемой круговой линией оползневого скольжения (см. пп. 2.11–2.14 настоящих Рекомендаций). При этом положение наиболее опасной поверхности скольжения определяется подбором.

Б. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВСЕГО СКЛОНА

2.30. Количественная оценка устойчивости оползневого склона в целом производится после выполнения расчета устойчивости имеющихся на склоне крутых уступов и откосов (см. пп. 2.4–2.29 настоящих Рекомендаций) и включает расчеты устойчивости коренного массива (т.е. пород, не захваченных оползневыми смещениями) и склоновых накоплений.

В целях оценки устойчивости склонов сложного геологического строения при составлении инженерно-геологического обоснования для проектируемых объектов высокого класса капитальности допускается использовать лабораторное моделирование[1] и при достаточном количестве склонов-аналогов – метод геологического подобия[2].

В результате выполнения оценки устойчивости должны быть определены величины коэффициента устойчивости для склона в целом (применительно к возможности захвата коренного массива и склоновых накоплений), а также для всех основных геоморфологических элементов склона (уступов, откосов, оползневых ступеней, межоползневых гребней, отдельных оползневых тел).

Расчет устойчивости коренного массива склона

2.31. Расчет устойчивости коренного массива производится применительно к оценке возможности крупных оползней выдавливания и оползней сдвига, охватывающий всю территорию склона или значительную часть ее.

2.32. Оползни выдавливания образуются на склонах при одновременном соблюдении следующих условий:

наличии высокого и крутого прибровочного уступа;

присутствии в коренном массиве относительно малопрочного глинистого слоя, залегающего ниже подошвы уступа и перекрытого с поверхности склона оползневыми накоплениями.

При образовании оползня выдавливания на участке прибровочного уступа происходит выдавливание слабого слоя под весом вышележащих пород и отчленение от прибровочной полосы нового оползневого блока с последующим смещением этого блока вместе со всей массой имевшихся на склоне оползневых накоплений. При этом поверхность смещения на участке нового оползневого блока сечет коренной массив, а ниже по склону проходит по подошве оползневых накоплений до участка зоны выпора у нижнего края оползня выдавливания.

---

[1] См., например: Розовский Л.Б., Зелинский И.П. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. – Одесса, ОГУ, 1975.

[2] См.: Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия (применение природных аналогов и количественных критериев подобия в геологии). – М.: Недра, 1969.

2.33. Предельная высота приbровочного уступа $H_{пр}$, при достижении которой происходит образование оползня выдавливания, определяется по формуле Г.Е. Паукера[1].

$$H_{пр} = H_в + \frac{C}{\gamma tg\varphi} - \frac{\gamma_в}{\gamma} H_в tg^4\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (14)$$

где $H_в$ – глубина кровли выдавливаемого слоя малопрочных пород относительно верхней бровки уступа, м; γ – средняя величина удельного (объемного) веса толщи пород между выдавливаемым слоем и бровкой склона, МН/м^3; $\gamma_в$ – средний удельный вес (объемный вес) толщи пород между подошвой уступа и кровлей выдавливаемого слоя, МН/м^3; C, φ – соответственно величины сцепления, МПа, и угла внутреннего трения, град, определенные опытами на установившийся или повторный сдвиг (показатели остаточной прочности на сдвиг) для пород выдавливаемого слоя.

Вследствие того что деформации при смещении оползня выдавливания почти по всей его подошве являются деформациями сдвига, определение коэффициента устойчивости применительно к возможности такого оползня допускается выполнять методом "прислоненного откоса" (см. п. 2.16 настоящих Рекомендаций).

Положение наиболее опасной линии скольжения оползня выдавливания в пределах нового отчленяемого блока (см. п. 2.18) определяется подпором, причем ниже вертикальной трещины отрыва форма линии скольжения принимается соответствующей дуге окружности. Между новым отчленяемым блоком и зоной выпора линия скольжения проводится по подошве имеющихся на склоне оползневых накоплений, а на месте вала выпора – по восходящей линии под углом $\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$ к поверхности рельефа (см. рис. 10).

Положение нижней точки линии скольжения в зоне выпора принимается соответствующим вертикальному поперечному сечению, в котором мощность оползневых накоплений, м, окажется равной критическому значению $M_{кр}$. Величина $M_{кр}$ определяется по формуле

$$M_{кр} = \frac{\Sigma\left(N_i tg\varphi_i + C_i l_i 1м - T_i\right)}{\sigma_{пр} \cdot 1м}, \quad (15)$$

где N_i – нормальная нагрузка на подошву расчетного отсека, расположенного с верховой стороны от рассматриваемого вертикального сечения, МН; φ_i, C_i – соответственно угол внутреннего трения, град, и сцепления, МПа, для пород по подошве того же отсека l_i – длина подошвы расчетного отсека,

---

[1]Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. - М: Высшая школа, 1968, с. 350

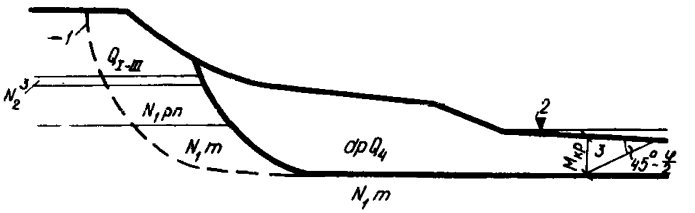


Рис. 10. Схема оползня выдавливания перед началом его подвижки (берег моря в г. Одессе)
1 – подошва оползня в зоне нового отчленяемого блока; 2 – урез моря; 3 – линия скольжения в зоне выпора; $N_1 m$ – методический ярус (глины); $N_2 pn$ – понтический ярус (известняки); N_2^3 – верхнеплиоценовые глины, Q_{I-III} – плейстоценовые лессовидные породы; $dp\,Q_4$ – современные оползневые накопления.

м; T_i –величина сдвигающих усилий, действующих по подошве расчетного отсека, МН; $\sigma_{пр}$ – прочность оползневых накоплений на одноосное сжатие, МПа.

Числитель в правой части формулы (15) представляет собой силу оползневого давления, вычисляемую методом "прислоненного откоса".

Примечание. При наличии соответствующих исходных данных величины $H_{пр}$ и ширины нового отчленяемого оползневого блока, а также положение зоны выпора допускается определять методом аналогии по результатам исследования оползней выдавливания в районе изысканий.

2.34. Оценка возможности разрушения коренного массива оползневого склона срезающими и срезающе-консеквентными оползнями сдвига выполняется расчетами устойчивости по методу "прислоненного откоса" или сопоставлением полей напряжений и прочности пород коренного массива применительно к опорным расчетным створам, проводимых по основным частям потенциальных крупных оползней.

2.35. При расчете устойчивости коренного массива методом прислоненного откоса в соответствии с п. 2.16 настоящих Рекомендаций подбором находится положение наиболее опасной линии скольжения и определяется величина коэффициента устойчивости по ней. Выбор возможных линий скольжения производится с учетом поверхностей ослабления, имеющихся в коренном массиве, при этом рассматриваются варианты частичного прохождения линии скольжения вне коренного массива (в пределах склоновых накоплений).

2.36. Для сопоставления напряжений и прочности пород строятся поля нормальных и касательных напряжений и поля прочности пород для всего вертикального сечения опорных расчетных створов.

Нормальные и касательные напряжения следует находить

применительно к потенциальным поверхностям смещения расчетом по простейшим формулам теории упругости[1], а также моделированием методами фотоупругости (оптическим) и тензосетки[2]. При проектировании объектов высокого класса капитальности в целях определения напряжений допустимо применение трудоемкого расчетного метода конечных элементов[3] и моделей из эквивалентных материалов.

При построении поля прочности для каждой точки вертикального сечения вычисляется величина сопротивления породы сдвигу

$$S_i = N_i \operatorname{tg} \varphi_i + C_i ,$$

где N_i, φ_i и C_i – величины соответственно нормального напряжения, угла внутреннего трения и сцепления для рассматриваемой точки.

Затем с учетом величины тангенциального напряжения в данной точке τ_i выделяются зоны, где соотношения S_i/τ_i будут наименьшими. Через такие зоны проводится наиболее опасная линия скольжения и вычисляется коэффициент устойчивости по формуле

$$K_y = \frac{\Sigma l_i S_i^{cp}}{\Sigma l_i \tau_i^{cp}}, \qquad (16)$$

где l_i – длина отдельного участка линии скольжения, м; S_i^{cp}, τ_i^{cp} – средние значения соответственно величин сопротивления сдвигу и тангенциальных напряжений, МПа, для того же участка линии скольжения.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВЫХ НАКОПЛЕНИЙ

2.37. Устойчивость склоновых накоплений следует оценить применительно к возможности консеквентных и срезающе-консеквентных оползней сдвига и вязкопластических оползней.

2.38. Оценка возможности смещения склоновых накоплений консеквентными и срезающе-консеквентными оползнями выполняется методом "прислоненного откоса" (см.п. 2.16) применительно к линии скольжения, полностью или в большей своей

---

[1] См.: Яропольский И.В. Основания и фундаменты.–М.: Гос.изд-во водного транспорта, 1954.

[2] См.: Изучение напряженного состояния массивов горных пород в инженерно-геологических целях.–М.: МГУ, 1968.

[3] См.: Опыт оценки устойчивости склонов сложного геологического строения методом конечных элементов и экспериментами на моделях. – М.: МГУ, 1973.

части проходящей по подошве склоновых накоплений (по их контакту с коренными несмещенными породами). В случаях двухслойного или многослойного строения толщи склоновых накоплений коэффициенты устойчивости должны последовательно вычисляться для линий скольжения, приуроченных к подошве каждого слоя. Например, если склоновые накопления представлены оползшими блоками коренных пород, перекрытыми перемятыми делювиально-оползневыми отложениями, устойчивость оценивается применительно к двум вариантам возможного смещения: по подошве смещенных блоков и по подошве делювиально-оползневых отложений.

Если в склоновых накоплениях имеется водоносный горизонт, оценку устойчивости следует проводить, как правило, с учетом фильтрационных сил во всей зоне от уровня грунтовых вод до подошвы склоновых накоплений.

2.39. Расчет устойчивости склоновых накоплений применительно к возможности вязкопластических оползней выполняется с использованием формулы (11). При этом подошву потенциального вязкопластичного оползня следует принимать, как правило, совпадающей с подошвой залегающего у поверхности земли слоя перемятых оползневых или делювиально-оползневых отложений, а возможность оползания должна проверяться с охватом различных геоморфологических элементов, включая относительно пологие оползневые ступени, применительно как ко всей полосе указанных отложений сверху вниз по склону, так и к отдельным частям этой полосы.

3. ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

3.1. Локальный прогноз устойчивости каждого склона осуществляется в два последовательных этапа:

прогноз изменений инженерно-геологической обстановки (рельефа, нагрузок на склон, свойств пород, гидрогеологических и других условий) на рассматриваемом склоне;

расчеты устойчивости склона и отдельных его морфологических элементов применительно к изменениям рельефа, внешних нагрузок и воздействий, предусмотренным проектом хозяйственного освоения рассматриваемой территории, а также к запрогнозированным на предшествующем этапе изменениям инженерно-геологической обстановки.

3.2. Прогноз изменений инженерно-геологической обстановки должен учитывать влияние намечаемой проектом инженерно-хозяйственной деятельности в период эксплуатации склона, а также результаты продолжающегося воздействия природных экзогенных геодинамических процессов (эрозионных, абразионных, оползневых, выветривания и др.) на рассматриваемый склон.

Прогноз должен выполняться на весь срок эксплуатации сооружений, имеющихся и проектируемых на склоне, а также на период временного изменения инженерно-геологических условий, внешних воздействий и нагрузок в течение строительных и земляных работ по осуществлению проекта хозяйственного освоения склона.

Прогноз изменений рельефа

3.3. Прогноз изменений рельефа необходимо выполнять для тех склонов или участков склона, на которых при проектируемом хозяйственном освоении рассматриваемой территории не предусмотрены мероприятия по защите от воздействия рельефообразующих процессов – эрозионных (боковая и донная эрозия), абразионных (на берегах морей, озер и водохранилищ) и оползневых.

3.4. При наличии эрозии или абразии прогнозируются результаты их непосредственного воздействия (глубина эрозионного вреза и величина отступания берегового эрозионного или абразионного уступа), а также воздействие на рельеф оползневых процессов, вызванных или активизированных эрозией или абразией.

3.5. Непосредственное воздействие на рельеф эрозии (речной и овражной) и абразии (на берегах морей и озер) оценивается по скоростям отступания берегового уступа или скоростям углубления эрозионного вреза, определяемым натурными наблюдениями, а также по результатам сопоставления крупномасштабных планов, полученных для рассматриваемого участка при топографической съемке разных лет. По величинам указанных скоростей вычисляются плановое положение берегового уступа и глубина эрозионного вреза на весь срок эксплуатации, предусмотренный проектом хозяйственного освоения для рассматриваемого склона.

Для неоползающих береговых уступов водохранилища воздействие абразии прогнозируются методами Г.С. Золотарева[1], Е.Г. Качугина (см. "Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ". – М.: Госгеолтехиздат, 1959), Н.Е. Кондратьева (см. с. 64–72 в "Рекомендациях по размещению и проектированию рассеивающих выпусков сточных вод". – М.: Стройиздат, 1981) и др. При наличии активных оползней в береговом уступе величина его отступания под воздействием абразии определяется по специальной методике[2].

---

[1]Золотарев Г.С., Калинин Э.В., Минервин А.В. Учебное пособие по инженерной геологии. – М.: МГУ, 1970, с. 358–368.

[2]Тихвинский И.О. О методике прогноза переработки оползневых склонов. – Гидротехническое строительство, 1967, № 4, с. 34–36.

3.6. Изменения рельефа оползневыми процессами, развивающимися под воздействием эрозии и абразии, прогнозируются применительно к основным типам ожидаемых оползней (оползни сдвига, выдавливания, вязкопластические).

При этом в массивах пород, ранее не захватывающихся оползневыми подвижками, время проявления срезающих оползней следует принимать соответствующим моменту, когда глубина эрозионного вреза или высота берегового уступа достигнет критического значения, определяемого в соответствии с прил. 1 настоящих Рекомендаций.

Возможность образования срезающе-консеквентных и консеквентных оползней сдвига, а также оползней выдавливания прогнозируется с учетом прогнозируемого объема пород, размываемых в процессе абразии и эрозии, применительно к проверке возможности достижения уступом эрозионного вреза, береговым уступом или всем береговым склоном предельного равновесия ($K_{уст} = 1$) в соответствии с пп. 2.15–2.18, 2.33–2.36 и 2.38 настоящих Рекомендаций.

Возможность образования и развития вязкопластических оползней оценивается с учетом изменений рельефа под непосредственным воздействием эрозии и абразии (см. п. 3.5), а также скорости смещения оползающих масс в соответствии с пп. 2.20–2.22 и 3.8 настоящих Рекомендаций.

3.7. На береговых склонах водохранилищ, находящихся в предельном состоянии ($K_{уст} = 1$) и захваченных оползнями скольжения и выдавливания, среднюю скорость отступания бровки склона допускается принимать равной скорости отступания берегового уступа под воздействием абразии.

3.8. Если на склоне в соответствии с проектом его хозяйственного освоения остаются нестабилизированные вязкопластические оползни, следует давать прогноз устойчивости уступов, примыкающих с верховой стороны к головным частям таких оползней, а также выполнять прогноз положения поверхности вязкопластического оползня.

Продолжительность периода до момента разрушения уступа, примыкающего к головной части вязкопластического оползня (см. рис. 11), определяется по формуле

$$T = \frac{H_{кр} - H}{v_z}, \qquad (17)$$

где T – продолжительность периода, годы, до момента разрушения рассматриваемого уступа оползнем скольжения; $H_{кр}$ – критическая высота уступа, м, определяемая в зависимости от его крутизны и показателей удельного (объемного) веса, угла внутреннего трения и сцепления пород, слагающих уступ, в соответствии с прил. 1 настоящих Рекомендаций; H – исходная высота уступа, м; v_z – вертикальная составляющая

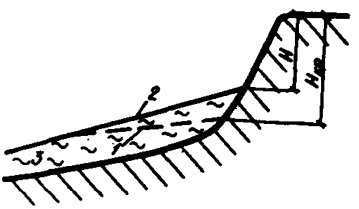


Рис. 11. Схема изменения высоты уступа у верхнего края вязкопластического оползня
1, 2 – профили рельефа соответственно в конце и в начале рассматриваемого периода; 3 – вязкопластический оползень

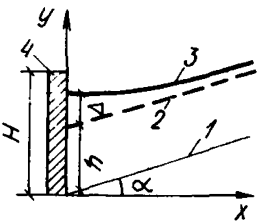


Рис. 12. Схема профиля оползня-потока за подпорной стеной (по К.Ш.Шадунцу)
1 – подошва оползня; 2, 3 – поверхность оползня соответственно до и после его стабилизации; 4 – подпорная стена

скорости смещения поверхности вязкопластического оползня в его головной части, м/год, определяемая по результатам натурных наблюдений за оползневыми подвижками или по формулам вязкопластического течения грунтов[1].

Если на вязкопластическом оползне, имеющем примерно постоянные величины мощности и крутизны подошвы оползающих масс по всей его длине, возводится подпорная стена (рис.12), положение поверхности оползня после устройства стены в соответствии с работами К.Ш.Шадунца определяется уравнением

$$\Delta + h_c \ln\left(1 + \frac{\Delta}{h + h_c}\right) = l(tg\alpha - tg\varphi), \qquad (18)$$

где Δ – приращение глубины оползневого слоя у верховой грани стены, м; $h_c = \frac{C}{\gamma(\sin\alpha - \cos\alpha\, tg\varphi)}$ мощность верхнего структурного слоя, оползающего единым массивом, м; C, φ – соответственно сцепление, МПа, и угол внутреннего трения, град, определенные с учетом длительного времени деформирования для пород в теле оползня; γ – удельный (объемный) вес пород тела оползня, МН/м^3; α – крутизна подошвы оползня, град; h – глубина подошвы оползающего слоя до постройки стены, м; l – длина оползня от его верхнего края до стены, м.

Прогноз изменения гидрогеологических условий

3.9. Необходимо прогнозировать следующие три основных вида изменения гидрогеологических условий:

---

[1] См., например: Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. – М.: Высшая школа, 1968.

подпор подземных вод на береговых склонах при создании водохранилищ;

подтопление территории – повышение уровня грунтовых вод или образование новых водоносных горизонтов вследствие утечек из водонесущих коммуникаций и полива зеленых насаждений, а также из-за уменьшения испаряемости с поверхности грунта при застройке и асфальтировании;

снижение уровня и напора подземных вод в результате создания дренажей, а также в период строительных работ на склоне при водоотливе из котлованов и траншей.

3.10. Изменение уровня подземных вод при затоплении нижних частей береговых склонов в результате создания водохранилищ прогнозируется методами динамики подземных вод в соответствии с "Методическими рекомендациями по расчету подпора грунтовых вод, подтопления земель и потерь воды на фильтрацию в районах каналов и водохранилищ" (М.: ВОДГЕО, 1980). При прогнозе следует учитывать положение уровней и величины напора подземных вод при продолжительных стояниях уровня водохранилища (при нормальном подпорном уровне, уровне зимней сработки и т.д.), а также изменения

Таблица 3

Состав водосодержащих пород, подстилаемых водоупорным слоем	Мощность водосодержащих пород, м	Глубина уровня грунтов вод, м	Количество воды, потребляемой промышленным предприятием, м/сут на 1 га площади	Скорость подъема уровня грунтовых вод за первые 10 лет, м/год
Лессовые макропористые суглинки и супеси	До 15	10–15	500–80000	0,5–1,0 и более
			50–500	0,3–0,5
			Менее 50	0,1–0,3
	Более 15	30–50	5000–80000	0,1–0,3
			Менее 5000	0,1
Суглинки и супеси делювиальные, пески флювиогляциальные	До 15	до 10	5000–80000	0,5–0,1 и более
			500–5000	0,3–0,5
			Менее 500	0,1–0,3
Суглинки легкие, супеси и пески аллювиальные	До 10	5–10	5000–80000	0,5–1,0 и более
			Менее 50000	0,1–0,3

уровня и гидравлических градиентов подземных вод при резких спадах в верхних и нижних бьефах водохранилищ.

3.11. При проектируемом размещении на склоне или примыкающей к нему территории гражданских и промышленных объектов прогнозирование повышения уровня грунтовых вод следует проводить в соответствии с "Рекомендациями по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами" (М.: ВОДГЕО, 1976).

Ориентировочный прогноз скорости повышения уровня грунтовых вод на промышленных площадках в течение первых десяти лет их эксплуатации допускается выполнять с использованием табл. 3.

3.12. При прогнозе устойчивости склонов следует принимать уровень и величину напоров подземных вод, предусмотренные проектом хозяйственного освоения территории в период эксплуатации дренажных сооружений. Прогнозирование устойчивости бортов временных строительных выемок (котлованов, траншей) необходимо выполнять применительно к уровням и напорам подземных вод, ожидаемым в процессе временного водопонижения, проводимого при выполнении строительства на оползневом склоне.

Прогноз изменений свойств пород

3.13. Изменение физико-механических свойств пород происходит в большинстве случаев по следующим причинам:

изменение степени обводненности пород вследствие изменений величины инфильтрации, а также из-за подъема или снижения уровня грунтовых вод;

воздействие выветривания;

воздействие вибрации.

Следует также иметь в виду, что при строительно-хозяйственном освоении территории обычно на определенных участках укладываются искусственные грунты (насыпные, намывные). Свойства таких грунтов должны быть заданы в проекте освоения данного склона.

3.14. При прогнозе изменения обводненности пород особое внимание необходимо обращать на увеличение естественной влажности, приводящее к ухудшению прочностных свойств пород и увеличению их объемного веса. Нередко увеличение влажности сопровождается явлениями выщелачивания, что вызывает дополнительное разупрочнение породы.

Следует иметь в виду, что на оползневых склонах породы по поверхностям ослабления почти всегда полностью водонасыщены, поэтому в качестве расчетных показателей прочности требуется принимать значения, соответствующие полному заполнению пор грунта водой.

3.15. Развитие процессов выветривания приводит к постепенному увеличению пористости и трещиноватости, разрушению структурных связей и снижению прочности пород коренной основы, оказавшимися обнаженными на дневной поверхности. Скорость выветривания, а также характеристики физико-механических свойств пород в зоне выветривания при отсутствии соответствующих литературных данных рекомендуется определять по результатам исследований натурных обнажений уступов.

3.16. Вибрационное воздействие от работающих машин и механизмов приводит к снижению прочности пород, возрастающему по мере увеличения ускорения колебаний, создаваемых машинами и механизмами. В условиях вибрации, согласно данным А.М. Демина[1], величина сопротивления сдвигу S', не зависящая от направления колебаний, составляет

$$S' = Se^{-\lambda_в a},$$

где S – сопротивление сдвигу в статических условиях; e – основание натуральных логарифмов; $\lambda_в$ – коэффициент, характеризующий способность пород оказывать сопротивление вибрации, $с^2/см$; a – ускорение колебаний, $с^2/см$;

Для песчанно-глинистых пород величина $\lambda_в$ равна 23×10 $см/с^2$; для песчаных пород – $34 \cdot 10^{-5}$ $с^2/см$.

Выполнение прогнозных расчетов устойчивости склонов

3.17. Локальный прогноз устойчивости склонов выполняется теми же расчетными методами, что и локальная оценка устойчивости (см. гл. 2 настоящих Рекомендаций). Однако в качестве исходных данных для расчетов используются результаты прогноза инженерно-геологических условий (см. пп. 3.1–3.16), а также тот профиль рельефа и те дополнительные нагрузки и воздействия на склон, которые предусмотрены проектом строительно-хозяйственного освоения данной территории.

3.18. При наличии продолжающегося воздействия эрозии, абразии, оползневых процессов необходимо расчетным путем определять продолжительность периода до момента, когда возникает опасность нарушения устойчивости какого-либо сооружения, предусмотренного проектом в пределах рассматриваемого склона. Срок, на который составляется прогноз воздействия указанных процессов, должен быть не

---

[1] Демин А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. – М.: Недра, 1973.

меньше полного срока эксплуатации сооружений, установленного проектом освоения склона.

3.19. Прогнозную оценку устойчивости на период осуществления на склоне строительных (в том числе земляных) работ необходимо выполнять с учетом сезонных условий, характерных для намеченных проектом сроков проведения этих работ.

Для временных выемок (котлованов, траншей) следует оценивать не только устойчивость их бортов, но и определять влияние указанных выработок на устойчивость всего склона.

4. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

4.1. Состав исходных инженерно-геологических данных, требуемых для выполнения количественной оценки и прогноза устойчивости оползневых склонов, приведен в п. 1.11 настоящих Рекомендаций.

Изыскательские работы в целях получения указанных данных должны выполняться в соответствии с "Рекомендациями по инженерно-геологическим изысканиям в оползневых районах (М.: ПНИИИС, Фундаментпроект, 1969) и "Инструкцией по проектированию и строительству противооползневых и противообвальных защитных сооружений" СН 519-79 (М.: Стройиздат, 1981).

Особое внимание при этом следует уделять выявлению поверхностей и зон ослабления в массивах оползневых склонов и определению прочности пород на сдвиг.

4.2. Поверхностями и зонами ослабления могут являться трещины тектонического и оползневого происхождения, поверхности тектонических разломов, зоны тектонического дробления, прослои и зоны малопрочных пород (в том числе зоны оползневого и тектонического смятия, зоны выветривания), контакты слоев и пачек пород.

Изысканиями должно быть определено положение и направление наклона поверхностей и зон ослабления во всех литолого-генетических комплексах пород, слагающих каждый изучаемый склон, состав и физико-механические свойства пород по поверхностям и в зонах ослабления. Следует также выявлять наличие водоносных горизонтов и определять тип оползневых смещений (см. табл. 1), приуроченных к указанным поверхностям и зонам.

4.3. Положение и наклон поверхностей и зон ослабления определяется преимущественно методами натурных исследований. Для свежих и недавних блоковых оползней сдвига и вы-

давливания положение их подошвы, являющейся, как правило, одной из основных поверхностей ослабления, может быть установлено также и аналитическим методом совмещенных профилей рельефа.

Методы натурного изучения поверхностей и зон ослабления

4.4. Натурные исследования, проводимые в целях выявления поверхностей и зон ослабления, включают инженерно-геологическую съемку, бурение (желательно с извлечением ориентировочного керна), проходку горных выработок, наблюдения по поверхностным и глубинным реперам (включая повторную инклинометрию для определения глубины продолжающихся оползневых смещений по искривлению стволов скважин), геофизические работы.

4.5. Геофизические исследования следует проводить путем комплексного использования нескольких методов – наземных (электропрофилирование, вертикальные электрические зондирования, сейсморазведка, эманационная съемка) и скважинных (электрических, сейсмических, тензометрических, ядерных).

4.6. Для обнаружения и прослеживания наклонных и крутопадающих зон разрывных нарушений и контактов слоев рекомендуется использовать многоразностное электропрофилирование.

В сложных геоэлектрических условиях следует применять сочетание электропрофилирования и вертикального электрического зондирования по методу двух составляющих[1].

Выявление и прослеживание крутопадающих зон разрывных нарушений можно осуществлять на основе непродольного сейсмического профилирования и комплексной эманационной и газовой съемки (последняя заключается в определении содержания радона, метана, углекислого газа, кислорода, сероводорода в пробах почвенного воздуха).

4.7. Для изучения изменений с глубиной анизотропии пород и преобладающего направления трещиноватости рекомендуется проводить сейсмические зондирования (при расположении пунктов удара на 6–8 радиальных профилях длиной 50–100 м) в комплексе с круговыми вертикальными зондированиями или вертикальным электрическим зондированием методом двух составляющих.

---

[1] Методическое руководство по электропрофилированию на постоянном токе по методу двух составляющих. Труды ПНИИИС, т. ХУ. – М.: ЦИНИС 1972.

4.8. Для детального расчленения геологического разреза целесообразно проводить наблюдения в горных выработках (скважинах и шурфах – вертикальное сейсмическое профилирование, сейсмокарротаж, акустический и электрический карротаж, сейсмическое просвечивание пород между горными выработками, ядерные методы.

4.9. Выведение в геологическом разрезе склона горизонтальных и пологонаклонных границ можно осуществлять методами вертикального электрического зондирования и продольного сейсмического профилирования.

4.10. Глубина смещения активных оползней может определяться на основе тензометрических наблюдений (по результатам изучения напряженного состояния пород в скважинах), а также путем замера смещений магнитных реперов, закладываемых в тело оползня.

Расчет положения подошвы блоковых оползней методом совмещенных профилей рельефа

4.11. Метод совмещенных профилей рельефа используется для определения расчетным путем мощности (глубины подошвы) оползней, сдвинувшихся единым массивом по одной поверхности смещения[1]. Данный метод применим для оползней свдига и, в определенной степени, для оползней выдавливания (за пределами зоны, в которой произошло выдавливание пород). Метод составлен для условий плоской задачи.

В качестве исходных данных для использования метода требуются совмещенные профили рельефа поверхности земли, составленные на моменты перед началом и после завершения подвижки рассматриваемого оползня; для более точного решения необходимы дополнительные сведения о векторах смещения определенных точек на поверхности оползня в результате этой подвижки, а также данные о плотности грунта перед оползневым смещением и после смещения.

4.12. При допущении, что плотность пород в результате оползневого смещения не изменяется, средняя величина мощности оползня на участке kk' (где k и k' – положение какой-либо точки на поверхности оползня соответственно в начале и

---

[1] Тихвинский И.О. Расчетный метод определения профиля поверхности смещения оползней по изменениям в рельефе склона. – В сб.: инженерные изыскания в строительстве. Реферативная информация. Вып. 7 (60). – М.; ЦИНИС Госстроя СССР, 1977, с. 18–22.

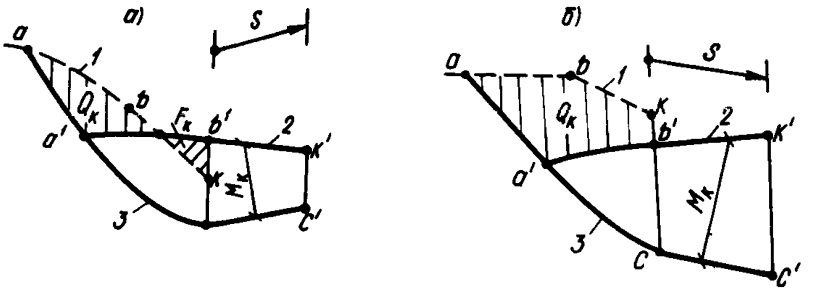


Рис. 13. Схемы изменения рельефа в верхней части оползня
1, 2 – рельеф соответственно до и после оползневой подвижки; 3 – подошва оползня

после завершения оползневой подвижки см. рис. 13, *а*) будет равна:

$$M_k = \frac{Q_k - F_k}{S}, \qquad (19)$$

где Q_k, F_k – площади, м^2, между начальным и конечным (после подвижки) профилями рельефа с верховой стороны склона до вертикали, проведенной через первоначальное положение рассматриваемой точки, в зонах, где первоначальный профиль соответственно выше (Q_k) и ниже (F_k) конечного профиля; S – величина вектора оползневого смещения, м (равна длине отрезка kk' – т.е. расстоянию между начальным и конечным положением рассматриваемой точки).

Если рассматриваемая точка k до подвижки находилась выше профиля рельефа, образовавшегося после оползания (рис. 13, *б*), то $F_k = 0$.

Мощность оползня допускается вычислять и применительно к части склона, расположенной ниже рассматриваемой точки (рис. 14). Формула (13) видоизменяется при этом следующим образом:

$$M_k = \frac{F_k' - Q_k'}{S}, \qquad (20)$$

где F_k', Q_k' – площади, м^2, между начальным и конечным профилями рельефа с низовой стороны склона до вертикали, проведенной через первоначальное положение рассматриваемой точки k, в зонах, где первоначальный профиль соответственно ниже (F_k') и выше (Q_k') конечного профиля; остальные обозначения – приняты по формуле (19).

В случае начального положения точки k в зоне, где начальный профиль рельефа ниже конечного, $Q_k = 0$.

Наибольшей величина мощности оползня будет на участке, примыкающем с низовой стороны к точке пересечения началь-

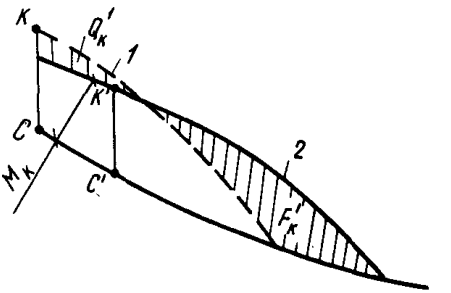


Рис. 14. Схема изменения рельефа в нижней части оползня
1, 2 – рельеф соответственно до и после оползневой подвижки

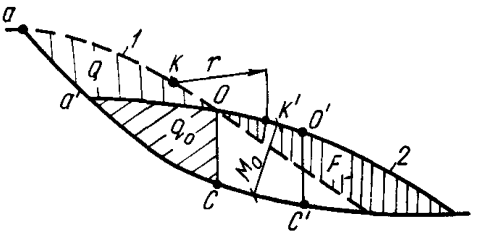


Рис. 15. Схема изменения рельефа в пределах всего тела оползня
1, 2 – рельеф соответственно до и после оползневой подвижки

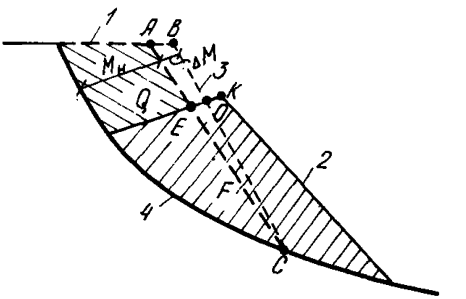


Рис. 16. Схема положения приведенного профиля рельефа
1, 2 – рельеф соответственно до и после оползневой подвижки; 3 – приведенный профиль рельефа

ного и конечного профилей склона (точка 0 на рис. 15). Для указанного участка средняя мощность оползня равна:

$$M_0 = \frac{Q}{S} = \frac{F}{S}, \qquad (21)$$

где Q и F – площади, м^2, зон между совмещенными профилями склона, в которых первоначальный профиль соответственно выше и ниже конечного профиля (при принятом допущении равенства плотности пород до и после оползания величины площадей Q и F должны быть равны между собой); S – величина вектора оползневого смещения, м.

4.13. При уменьшении плотности пород в процессе оползания площади зон Q и F (см. рис. 15) находятся в соотношении $Q < F$. Для данного случая расчет мощности сместившихся масс производится в следующем порядке:

строится приведенный начальный профиль рельефа (линия ABOC на рис. 16) таким образом, что площадь контура ABOCE

была равна $\frac{Q-F}{2}$, где Q и F – величины площади соответствующих зон, м^2, обозначенных на рис. 15 и 16. Ширина (ΔM) поперечного сечения указанного контура в каждом поперечном сечении тела, вовлекаемого в смещение, принимается в первом приближении пропорциональной величине начальной мощности $M_н$ для каждого поперечного сечения этого тела;

дальнейшие операции по вычислению мощности тела оползня выполняются в соответствии с п. 4.12 настоящих "Рекомендаций с определением объемов Q, Q_k, F и F_k применительно проведенному начальному профилю рельефа.

4.14. Если на совмещенных профилях площадь зоны Q больше площади зоны F, метод совмещенных профилей рельефа неприменим (в данном случае исходные данные непредставительны по одной из следующих причин: неправильно измерены и совмещены профили рельефа; направление профиля не соответствует направлению смещения оползня; оползень имеет недостаточную ширину применительно к условиям плоской задачи, оползневое смещение происходило не единым массивом, а по двум или нескольким поверхностям скольжения).

4.15. В большинстве случаев вычисления мощности оползня M_k предпочтительнее выполнять для верхней его части, где изменения рельефа после оползней подвижки выражены более резко (и в связи с этим меньшая возможность ошибки при совмещении профилей поверхности земли до и после образования оползня).

4.16. После вычисления величин мощности оползня M_k (см. пп. 4.12 и 4.13 настоящих Рекомендаций) производятся следующие графические построения с целью определить положение подошвы оползневого тела (см. рис. 17, на котором точки k и k' обозначают положение рассматриваемой точки в начале и конце оползневой подвижки, ka и bk – вертикали, проведенные через эти точки, S_k – вектор смещения точки k (равный длине отрезка kk').

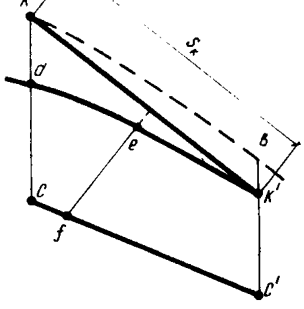


Рис. 17. Схема определения положения подошвы оползня графическим методом

От середины e отрезка dk' проводим вниз отрезок $ef \perp kk'$ (длина отрезка $ef = M_k$). Затем через точку f проводим отрезок прямой $cc' \parallel kk'$ (отрезок ограничен точками пересечения с вышеупомянутыми вертикалями). Данный отрезок cc' будет представлять собой подошву тела оползня, причем площадь отсека оползня $dek'c'fc$ будет равна произведению $M_k S_k$. Если отрезок dk' непрямолинейный, точка e задается несколько выше или ниже середины данного отрезка с таким расчетом, чтобы величина произведения длины ef (равной M_k) на S_k оказалась равной площади отсека $dek'c'fc$.

4.17. Ориентировочную мощность оползня сдвига можно вычислять и при отсутствии замеров смещения реперов, если имеются профили рельефа на периоды до и после рассматриваемой оползневой подвижки. Величину оползневого смещения S для такого случая можно принимать равной в первом приближении величине стенки срыва (т.е. длине линии aa' – см. рис. 13).

Для участка вблизи точки пересечения профилей склона до и после подвижки (точка 0 на рис. 15), средняя мощность оползня M_0 при неизменной плотности пород в процессе оползания определяется с использованием формулы (21), а при учете уменьшения плотности оползневого тела в результате подвижки по формуле

$$M_0 = \frac{Q\gamma_н + q_0(\gamma_н - \gamma_k)}{\gamma_k S}, \qquad (22)$$

где Q и F – площади сечения зон (между предоползневыми и послеоползневыми профилями склона), в которых первоначальный профиль рельефа соответственно выше и ниже поверхности оползня; q_0 – площадь сечения верхней части оползня до вертикали, проходящей через точку 0 (см. рис. 15).

Мощность оползня можно рассчитать не только для участка точки 0, но и для любого другого участка, где поверхность скольжения в пределах вектора оползневого смещения достаточно точно аппроксимируется прямой линией. При этом величину смещения S можно принимать постоянной на всем протяжении оползня, исходя из условия неразрывности оползневого тела по его подошве. Для любой точки k, заданной на первоначальном профиле склона, ее положение k' после смещения легко определить, проведя из точки k дугу окружности радиусом $r = S$ до пересечения с поверхностью оползня (рис. 15).

Дальнейшие операции по вычислению мощности проводятся согласно вышеприведенной методике, использующей замеры смещений реперов.

4.18. В некоторых случаях метод совмещенных профилей рельефа применим и при наличии малых оползней второго

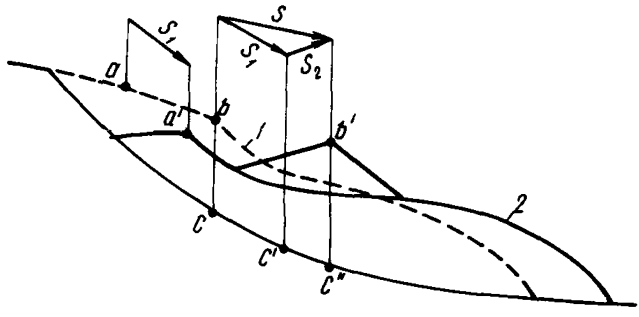


Рис. 18. Схема смещения реперов при наличии оползневой подвижки в теле крупного оползня
1, 2, – рельеф соответственно до и после оползневых подвижек; a, b и a', b' – положение реперов соответственно до и после оползневых подвижек (a, a' – репер на крупном оползне; b, b' – репер на оползне 2-го порядка).

порядка в теле более крупных оползней. Например, если известно, что S_1 – величина подвижки крупного оползня, а S – замеренный вектор смещения на оползне второго порядка, то величина смещения малого оползня по отношению к крупному S_2 будет равна геометрической разности векторов S и S_1 причем в треугольнике векторов $S_1 \parallel cc''$ (рис. 18). Основываясь на значениях S_1 и S_2, можно установить первоначальное положение малого оползня в теле крупного и затем вышеохарактеризованными способами (см. пп. 4.12, 4.13, 4.16) определить положение подошвы обоих оползней.

Определение показателей сопротивления пород сдвигу

4.19. Характеристику прочности пород на сдвиг (срез) можно получить лабораторными и полевыми испытаниями, а также обратными расчетами устойчивости склонов, уступов и отдельных оползней.

4.20. Лабораторные и полевые испытания сопротивления пород сдвигу должны выполняться применительно к условиям, моделирующим натурные закономерности развития оползневых подвижек. В частности, при испытаниях необходимо обеспечить соответствие физических свойств и напряженного состояния пород натурным условиям в зонах деформирования оползней.

Полевые испытания сопротивления пород сдвигу выполняются, как правило, для оценки устойчивости склонов сложного геологического строения при обосновании проектирования объектов высокого класса капитальности.

4.21. Лабораторные испытания следует выполнять преимущественно методом одноплоскостного сдвига, а также более сложными методами кольцевого сдвига и трехосного сжатия. Для определения сопротивления сдвигу пород, содержащих более 20% крупнообломочных включений, следует использовать крупногабаритные лабораторные приборы и полевые методы.

4.22. В зависимости от целей исследований целесообразно использовать следующие схемы лабораторных и полевых испытаний на сдвиг:

а) срез образцов (или целиков) грунта ненарушенной природной структуры и природной влажности;

б) сдвиг по предварительно подготовленной поверхности, т.е. сдвиг по поверхности ранее выполненного сдвига или сдвиг разрезанного образца по поверхности разреза;

в) сдвиг на предварительно подготовленной и дополнительно увлажненной поверхности;

г) сдвиг по имеющейся в образце (целике) поверхности ослабления.

Испытания по схеме "а" и частично по схеме "б" отражают условия развития деформаций при образовании срезающих оползней сдвига, а опыты по схемам "б", "в", "г" — условия формирования консеквентных оползней сдвига.

При полевых испытаниях сопротивление пород сдвигу рекомендуется изучать методом прямого сдвига в заданной плоскости.

4.23. Расчетные величины сцепления, полученные срезом образцов (целиков) грунта ненарушенной структуры или опытами на трехосное сжатие, при оценке возможности образования срезающих оползней сдвига следует включать в расчеты устойчивости только для нижней половины линии скольжения, а для верхней половины этой линии расчетная величина сцепления принимается равной нулю. Таким образом учитывается частичное нарушение структурных связей в массиве пород в начальной стадии формирования срезающих оползней сдвига.

4.24. Для современных (голоценовых) оползневых склонов, не имеющих в своем основании естественных или искусственных контрфорсов (прислоненных террас, контрбанкетов) и находящихся, как правило, в состоянии, близком к предельному равновесию, полученные лабораторными или полевыми испытаниями пород расчетные величины показателей сопротивления пород сдвигу следует проверять путем использования этих величин в контрольных расчетах устойчивости, выполняемых применительно к оценке условий равновесия по подошве оползневых накоплений в конкретной инженерно-геологической обстановке рассматриваемого склона. Если величины коэффициента устойчивости согласно контрольным расчетам будут отличаться от 1,00 более чем на 5–10%, требуется корректировка исходных данных. Такая корректировка осуще-

ствляется дополнительным анализом правильности учета факторов оползнеобразования и в случае необходимости дополнительными лабораторными и полевыми исследованиями сопротивления пород сдвигу.

Особое внимание следует уделять проверке расчетной величины сцепления, так как лабораторные испытания в большинстве случаев дают завышенные значения этого показателя.

4.25. Обратные расчеты устойчивости заключаются в определении таких величин сопротивления сдвигу, которые соответствуют предельному равновесию сил для конкретных рассматриваемых оползней, склонов или уступов. Величины коэффициента устойчивости при указанных условиях принимаются равными единице.

Расчеты выполняются либо по формулам, использующимся для вычисления коэффициента устойчивости (см. разд. 2 настоящих Рекомендаций), либо по графикам зависимости высоты и крутизны склонов (откосов, уступов) от характеристик прочности слагающих их пород на сдвиг (см. прил.1).

4.26. Для оползней условиями предельного равновесия соответствуют моменты начала и завершения оползневых подвижек. Обратные расчеты выполняют применительно к происходившим в натуре оползням сдвига и выдавливания с использованием методов алгебраического сложения сил и прислоненного откоса (см. разд. 2). Для каждого из рассматриваемых оползней необходимы в качестве исходных данных все расчетные показатели (кроме характеристик сопротивления пород сдвигу), входящие в расчетную формулу и отражающие натурные условия и действующие силы на момент начала или завершения оползневого смещения.

4.27. Если имеются сведения только об одном оползне, обратным расчетом могут быть вычислены только средние значения характеристик сопротивления сдвигу для всей поверхности смещения (без разделения по слоям, в которых образовался оползень). Для данного случая в первом приближении можно принимать, что сцепление в конце подвижки оползня равно нулю (вследствие разрушения структурных связей в породах при оползневых деформациях), а величины угла внутреннего трения в начале и в конце подвижки равны между собой.

При этом для простейшего варианта (для необводненных склонов при отсутствии дополнительных пригрузок и воздействий) согласно формуле (4) в момент завершения подвижки

$$tg\varphi = \frac{\sum_{i}^{n} p_i \sin\alpha_i}{\sum_{i}^{n} p_i \cos\alpha_i}, \qquad (23)$$

а для момента начала оползневого смещения

$$C = \frac{\sum_{1}^{m} p_i \sin\alpha_i - \sum_{1}^{m} p_i \cos\alpha_i \operatorname{tg}\varphi}{\sum_{1}^{m} l_i \cdot 1м}, \qquad (24)$$

где φ, C –величины угла внутреннего трения, град, и сцепления, МПа, в среднем для всей поверхности смещения; p_i – вес расчетного отсека, МН; α_i – крутизна подошвы отсека, град (величины α_i при уклоне подошвы отсека в направлении движения оползня принимаются положительными, при обратном уклоне – отрицательными); l_i – длина подошвы отсека, м; n, m – число расчетных отсеков на момент соответственно завершения и начала подвижки оползня.

Вначале, используя формулу (23), находим величину тангенса угла внутреннего трения, а затем по формуле (24) определяем величину сцепления.

При наличии воздействия подземных вод и сейсмических нагрузок в качестве исходных используются формулы (6)–(9).

4.28. Если имеются сведения по двум (или нескольким) срезающим оползням сдвига, образовавшимся в одном слое (или в одном комплексе пород), величины тангенса угла внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$ и сцепления C определяются путем решения системы уравнений, составленных на моменты начала оползневых подвижек. Результаты решения получаются графически по точкам пересечения графиков зависимости $\operatorname{tg}\varphi = f(C)$ (см. рис. 19), построенных для каждого оползня согласно одной из соответствующих конкретным натурным условиям формулам (4), (6)–(9). Так как каждый из графиков представляет собой прямую линию, он легко строится по двум точкам – по исходному уравнению сначала вычисляется величина $\operatorname{tg}\varphi$ при заданном значении $C = 0$, а затем – величина C при заданной величине $\operatorname{tg}\varphi = 0$. При двух графиках средние величины $\operatorname{tg}\varphi$ и C соответствуют ординате и абсциссе точки их пересечения, при нескольких графиках – ординате и абсциссе центра тяжести для точек пересечения различных графиков.

Изложенным способом определяются и показатели прочности на сдвиг для поверхностей ослабления (при их аналогичном характере), по которым смещаются консеквентные оползни сдвига. В частности, при наличии сведений о повторных блоковых подвижках на склонах определенного строения можно находить значения C и $\operatorname{tg}\varphi$, характеризующие прочность по подошве смещающихся оползневых накоплений.

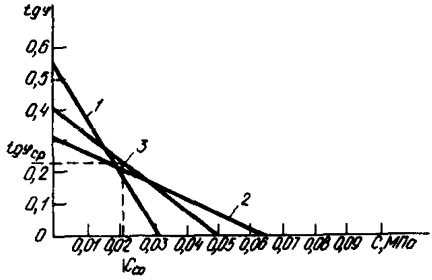


Рис. 19. Графики зависимости $tg\varphi=f(C)$ для оползней № 1 2 и 3, образовавшихся в одном комплексе пород

Необходимо учитывать, что вследствие вариаций показателей прочности для разных оползней нередко некоторые точки пересечения графиков соответствуют нереальным величинам угла внутреннего трения (более 35–40°). При большом количетве таких нехарактерных точек пересечения взамен определения величин $tg\varphi$ и C графическим путем следует использовать способ, приведенный в п. 4.27 настоящих Рекомендаций.

4.29. На многих оползневых склонах наблюдаются блоковые оползни двух основных типов:

смещения по подошве оползневых накоплений;

смещения с захватом коренных пород и ранее образовавшихся оползневых накоплений.

В таких случаях рекомендуется выполнять две серии обратных расчетов.

Вначале для оползней первого из названных типов расчет с использованием (применительно к рассматриваемым природным условиям) формул (23) и (24) или (6)–(9) находим величины сцепления C' и угла внутреннего трения φ', соответствующие прочности на сдвиг по подошве оползневых накоплений.

Затем для оползней второго типа по уравнениям предельного равновесия ($K_y=1$) с использованием формул (4), (6), (8) или (9) определяем величину сцепления C и угла внутреннего трения для коренных пород в зоне нового оползневого закола (с учетом значений C' и φ', полученных первой серией расчетов).

Пример. На обводненном склоне наблюдались два оползня – сначала смещение по кровле коренных пород (рис. 20, *а*), в впоследствии – оползень с одновременным захватом коренных и оползневых отложений (рис. 20, *б*).

Согласно рис. 20,*а* и формулам (23) и (24), вычисляем $tg\varphi'$ и C' для подошвы первого оползня:

$$tg\varphi'=\frac{p_1^к \sin\alpha_1+p_2^к \sin\alpha_2+p_3^к \sin\alpha_3}{p_1^к \cos\alpha_1+p_2^к \cos\alpha_2+p_3^к \cos\alpha_3};$$

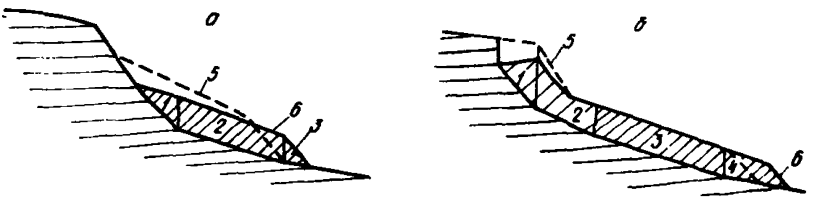


Рис. 20. *а – смещение оползневых накоплений; б – смещение с захватом коренного массива и оползневых накоплений; 1–4 – номера расчетных блоков; 5, 6 – рельеф соответственно до и после оползневой подвижки*

$$C' = \frac{p_1^н \sin\alpha_1 + p_2^н \sin\alpha_2 - (p_1^н \cos\alpha_1 + p_2^н \cos\alpha_2) tg\varphi'}{a(l_1 + l_2)},$$

где φ', C' – собственно угол внутреннего трения, град, и сцепление, МПа, по подошве оползневых накоплений; $p_1^к, p_2^к, p_3^к$ – вес расчетных отсеков, МН, для условий в конце подвижки первого оползня; $p_1^н, p_2^н$ – вес расчетных отсеков, МН, для условий в начале подвижки того же оползня; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – крутизна подошвы отсеков, град; l_1, l_2 – длина подошвы отсеков для условий в начале подвижки, м; a – толщина отсека, равная 1 м.

Используя найденные значения $tg\varphi'$ и C', находим в соответствии с рис. 20,*б* и формулами (23) и (24) величины $tg\varphi$ и C:

$$tg\varphi = \frac{p_1^к \sin\alpha_1 + p_2^к \sin\alpha_2 + p_3^к \sin\alpha_3 + p_4^к \sin\alpha_4 - }{p_1^к \cos\alpha_1 + p_2^к \cos\alpha_2} \longrightarrow$$

$$\longrightarrow \frac{-(p_3^к \cos\alpha_3 + p_4^к \cos\alpha_4) tg\varphi'}{};$$

$$C = \frac{1}{(l_1 + l_2) 1м} [p_1^н \sin\alpha_1 + p_2^н \sin\alpha_2 + p_3^н \sin\alpha_3 +$$

$$+ p_4^н \sin\alpha_4 - (p_1^н \cos\alpha_1 + p_2^н \cos\alpha_2) tg\varphi - (p_3^н \cos\alpha_3 +$$

$$+ p_4^н \cos\alpha_4) tg\varphi' - C'(l_3 + l_4)],$$

где φ, C – соответственно угол внутреннего трения, град, и сцепление, МПа, для коренных пород; $p_1^к, p_2^к, p_3^к, p_4^к$ – вес расчетных отсеков, МН, для условий в конце подвижки второго оползня; $p_1^н, p_2^н, p_3^н, p_4^н$ – вес расчетных отсеков, МН, для условий в начале подвижки того же оползня $p_1^н$ и $p_2^н$ – в зоне захвата оползнем

коренных пород, p_3'' и p_2'' — в зоне оползневых накоплений); $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — крутизна подошвы расчетных отсеков, град; l_1, l_2, l_3, l_4 — длина подошвы расчетных отсеков, м, в начале оползневой подвижки.

4.30. Обратные расчеты устойчивости склонов (уступов) целесообразны в случаях, когда в рассматриваемом районе имеются крутые и достаточно высокие уступы в комплексах пород, для которых требуется определить показатели прочности на сдвиг. При этом в породах, слагающих уступ, не должно иметься поверхностей ослабления, наклоненных в сторону падения поверхности уступа.

Высота таких уступов должна превышать предельную высоту вертикального откоса, определяемую по формуле

$$H_{90} = \frac{2C\cos\varphi}{\gamma(1-\sin\varphi)}, \qquad (25)$$

где H_{90} — предельная высота вертикального уступа, м; C, φ, γ — соответственно сцепление, МПа, угол внутреннего трения, град, и удельный (объемный) вес, МН/м^3, для пород, слагающих уступ.

4.31. Для обратных расчетов устойчивости используются уступы, близкие к предельному равновесию. Данному требованию наиболее отвечают обнаженные уступы природного происхождения (эрозионные, абразионные, оползневые), высота и крутизна которых не изменялись в течение относительно продолжительного времени (не менее 5 лет).

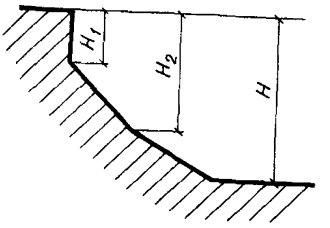
Допускается использовать для расчетов также уступы, частично прикрытые с поверхности дерновым покровом или маломощными осыпями.

Откосы искусственного происхождения в выемках различного рода можно использовать лишь для ориентировочных обратных расчетов, так как обычно трудно определить степень близости таких откосов к условиям предельного равновесия.

4.32. Расчетные значения показателей сопротивления пород сдвигу определяются по результатам обратных расчетов, выполненных для группы уступов с одинаковым геологическим строением и однородными гидрогеологическими условиями. Предпочтительнее использовать для расчетов необводненные или мало обводненные уступы, так как наличие подземных вод резко усложняет условия равновесия сил.

С целью получения исходных данных в рассматриваемом районе выделяются все крутые и достаточно высокие уступы одинаковой степени обводненности, сложенные комплексом пород, для которых требуется охарактеризовать прочность на сдвиг. Для каждого уступа определяется его высота H и крутизна α.

Рис. 21. Схема условного расчленения уступа высотой H на дополнительные уступы высотой H_1 и H_2



Высокие уступы однородного строения допускается условно разделять на несколько отдельных уступов (с отсчетом их высоты от верхнего края высокого уступа). Например, в показанном на рис. 21 уступе высотой H условно выделены дополнительные уступы высотой H_1 и H_2.

По величинам H и α для всех уступов строится график зависимости $H = f(\alpha)$. При построении такого графика следует ориентироваться на среднемаксимальные значения высоты при определенной крутизне уступов (с учетом того, что отдельные уступы не достигли предельного состояния).

Для последующей обработки могут быть использованы только такие уступы, для которых на графике выявлено закономерное уменьшение высоты, по мере возрастания крутизны уступов.

4.33. Операции по обработке результатов обратных расчетов для группы уступов, отвечающих требованиям п. 4.32 настоящих Рекомендаций, осуществляются следующим образом.

На одном чертеже каждого из уступов данной группы строится, кривая зависимости $C = f(\alpha)$, где C – величина сцепления, определенная для рассматриваемого уступа по графику рис. 23 при разных заданных значениях угла внутреннего трения пород φ.

Средние значения угла внутреннего трения $\varphi_{ср}$ и сцепления

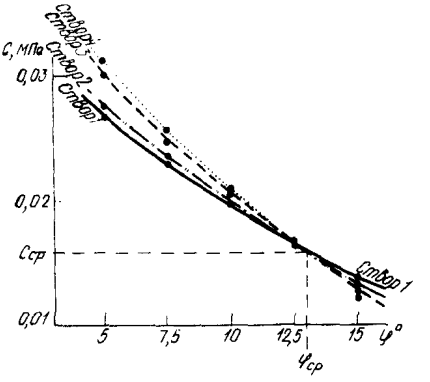


Рис. 22. Графики зависимости $C = f(\varphi)$ для уступов № 1–4, сложенных хвалынскими глинами

$C_{ср}$ соответствуют центру зоны пересечения кривых $C=f(\varphi)$, построенных для каждого уступа. В идеале зона пересечения может представлять собой единственную точку, в которой пересекаются все рассматриваемые кривые.

На рис. 22 помещен пример определения $C_{ср}$ и $\varphi_{ср}$ по кривым зависимости $C=f(\varphi)$, построенным для четырех уступов аналогичного строения.

5. РЕГИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

5.1. Оценка и прогноз устойчивости склонов при региональных исследованиях выполняются путем соответственно непосредственного определения и предсказания степени развития оползней на рассматриваемой территории.

В качестве основных региональных количественных показателей степени развития оползней[1] используются:

а) коэффициент пораженности оползнями $K_{оп}$ (называемый в ряде работ „интенсивностью" развития оползней)

$$K_{оп} = \frac{f}{F}, \qquad (26)$$

где f – суммарная площадь активных (двигающихся) и стабилизированных оползней, км^2, на рассматриваемой территории; F – площадь рассматриваемой территории, км^2;

б) коэффициент частоты оползней

$$K_N = \frac{N}{F}, \qquad (27)$$

где N – число оползней на рассматриваемой территории, шт.; F – площадь рассматриваемой территории; км^2;

в) коэффициент пораженности активными оползнями

$$K_a = \frac{f_a}{F}, \qquad (28)$$

где f_a – площадь активных оползней, км^2, на рассматриваемой территории; F – площадь рассматриваемой территории, км^2. Показатель в определенной мере характеризует степень распространенности оползневых склонов современного (голоценового) возраста, так как в большинстве случаев даже стабилизированные современные оползневые накопления находятся в состоянии, близком к предельному равновесию.

5.2. Региональные оценка и прогноз устойчивости склонов выполняются на основе разделения изучаемой территории на

---

[1] Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. – М.: Недра, 1976.

группы участков (зон), отличающихся между собой по природным условим формирования оползней, а также по интенсивности и характеру влияния инженерно-хозяйственной деятельности. При этом в обязательном порядке должны учитываться: основные литолого-генетические комплексы пород, слагающих склоны; интенсивность основных природных оползнеобразующих процессов (особенно эрозии и абразии); степень обводненности и крутизна склонов.

Показатели степени развития оползней определяются раздельно для каждой выделенной группы участков или группы зон.

5.3. Региональную оценку и прогноз устойчивости склонов следует проводить с учетом различий рассматриваемых оползней по механизму оползневого процесса и по генетическому признаку (см. п. 1.6 настоящих Рекомендаций, а также по размерам оползневых смещений и глубине захвата склона оползнями).

При этом оползни разделяются по размерам на малые (объем до 10000 м^3), средние (объем 10000 – 100000 м^3) крупные (объем 100000 м^3 – 1000000 м^3) и очень крупные (объем более 1 млн. м^3; по глубине подошвы – на две основные градации: с глубиной захвата до 10 м и более 10 м.

Во многих случаях полезно различить также оползни покровных образований (делювиальных, делювиально-оползневых) и оползни с захватом ранее несместившихся коренных пород.

5.4. Региональная оценка устойчивости склонов выполняется путем определения показателей степени развития оползней по результатам инженерно-геологической съемки в соответствии по результатам инженерно-геологической съемки в соответствии с требованиями п. 5.1 настоящих Рекомендаций.

5.5. При региональном количественном прогнозе устойчивости склонов выделяются две основные задачи:

а) предсказание степени развития оползней для территории, где оползневая съемка не выполнялась;

б) предсказание ожидаемых изменений в степени развития оползней на последующие периоды времени.

Для решения этих задач применяются методы оползневого потенциала и агрессивного анализа, вторая задача может решаться также путем анализа ритмичности оползневых процессов.

Указанные методы имеют статистическую основу. Поэтому региональный прогноз целесообразен только применительно к оползням массовым (многочисленным), широко развитым, часто повторяющимся на данной территории.

Метод оползневого потенциала

5.6. Метод оползневого потенциала[1] заключается в определении вероятности проявления оползней (W) в зависимости от величин вероятностей воздействия факторов оползнеобразования ($P_1, P_2, P_3, \ldots, P$), причем величина воздействия каждого фактора принимается независимой от влияния других факторов оползнеобразования.

Применительно к региональному прогнозу рекомендуется выделять следующие факторы оползнеобразования:

породы, слагающие склоны (литолого-генетические комплексы);

гидрогеологические условия;

тектонические нарушения;

среднемноголетние суммы осадков (годовые или за характерные сезонные периоды);

крутизна склонов;

воздействие эрозии или абразии;

антропогенное воздействие (влияние различных видов деятельности человека).

В зависимости от конкретных региональных условий состав факторов должен корректироваться. Если воздействие каких-либо факторов или относительно однородно, или слабо проявляется в пределах всей рассматриваемой территории, эти факторы не следует учитывать при прогнозе.

Для частных задач могут вводиться дополнительные факторы. Например, возможность образования неглубоких оползней целесообразно прогнозировать с учетом мощности покровных склоновых накоплений.

5.7. Каждый фактор оползнеобразования разделяется на классы, отличающиеся интенсивностью воздействия на развитие оползневых процессов.

Число классов фактора породы обычно соответствует числу основных литолого-генетических комплексов пород, развитых на изучаемой территории. Если обнаруживаются литолого-генетические комплексы, для которых степень развития оползней различается незначительно, их следует объединять в один класс.

Каждый из других факторов целесообразно разделять на три-четыре класса таким образом, чтобы степень развития оползней для соседних классов различалась не менее чем в полтора раза.

Различия между классами могут характеризоваться качественно или количественно. Количественными показателями могут служить: для тектонической нарушенности – густота

---

[1] Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. – М.: Недра, 1977.

тектонических нарушений, для эрозии – коэффициент эрозионной расчлененности, для абразии – среднегодовые величины объема размытых пород на 1 м берега, для гидрогеологических условий – водообильность водоносных горизонтов и т.д.

Конкретный пример разделения факторов на классы приведен в табл. 4.

Таблица 4

Фактор	Классы
1. Литологические комплексы пород	1. Окремненные аргиллиты, *алевролиты, песчаники* 2. Мергели с прослоями мергелистых алевролитов, аргиллитов, песчаников 3. Мергелей с прослоями песчаников 4. Известковые аргиллиты с прослоями песчаников
2. Мощность покровных отложений, м	1. 0–2 2. 2–7 3. 7–10 4. Более 10
3. Крутизна склонов, град	1. 0–2 2. 2–10 3. 10–15 4. Более 15
4. Гидрогеологические условия	1. Отсутствие подземных вод 2. Спорадическое распространение подземных вод 3. Постоянный горизонт подземных вод
5. Эрозия	Коэффициент эрозионной расчлененности: 1. $K_э = 0{,}35$ 2. $K_э = 1{,}45$ 3. $K_э = 2{,}00$ 4. $K_э = 3{,}82$

5.8 Величина оползневого потенциала W определяется по формуле

$$W = 1 - \prod_{k=1}^{m}(1 - P_k), \qquad (29)$$

где $\prod$ – знак произведения; m – число факторов, действующих на данном элементарном участке; P_k – вероятность проявления оползней под воздействием одного из m – факторов (для того определенного класса этого фактора, который имеет место на данном элементарном участке).

Для достаточно больших площадей величина W будет представлять величину пораженности оползнями на территории, где действуют рассматриваемые факторы[1]. Следовательно, величина оползневого потенциала вычисляется непосредственно по карте оползневой съемки и принимается равной величине пораженности оползнями для опорных участков (территорий), используемых для определения исходных величин вероятностей применительно ко всем классам каждого из действующих факторов.

5.9. Определение величин вероятностей $P_к$ для различных факторов следует проводить раздельно для каждого из выделенных основных комплексов пород.

На изученных опорных участках (территориях), по которым имеются данные о факторах оползнеобразования и количественные показатели степени распространенности активных оползней, выделяются группы участков с определенным сочетанием факторов оползнеобразования (с учетом класса каждого фактора) в пределах каждой группы.

Затем для каждой группы участков по формуле (26) вычисляется значение оползневой пораженности, которое будет равно величине оползневого потенциала суммарной площади участков данной группы.

Получение значения оползневых потенциалов проверяется на качественную достоверность. При прочих равных условиях в зонах с более неблагоприятными для устойчивости склонов классами отдельного фактора оползнеобразования должны отмечаться более высокие значения оползневого потенциала. В случае выявившегося несоблюдения такой закономерности для какого-либо фактора результаты применительно к этому фактору должны считаться нехарактерными. При этом следует либо не учитывать данный фактор при дальнейшем прогнозе устойчивости, либо провести дополнительную проверку представительности исходных данных на основе увеличения числа и площади опорных участков.

Способы дальнейшего вычисления вероятностей изложены в пп. 5.10–5.13 настоящих Рекомендаций.

5.10. Для низшего класса всех факторов, кроме крутизны склонов, исходная вероятность $P_к$ в пределах территории распространения данного комплекса пород принимается равной нулю.

---

[1] Тихвинский И.О. К вопросу об использовании метода оползневого потенциала. – В сб.: Материалы научно-технической конференции "Разработка методов прогнозной оценки развития оползневых явлений в условиях горно-складчатых областей альпийского орогена" Тбилиси: Мецниереба, 1978, с. 52–56.

Затем выявляются площади, где все действующие факторы, кроме крутизны склонов, представлены низшим классом. На таких площадях вероятность влияния определенного фактора P (в данном случае влияние низшего класса крутизны склонов) принимается равной величине оползневого потенциала W_n.

Если на изученной территории не обнаружится зон, в которых факторы представлены только низшим классом, величина для низшего класса крутизны склонов задается ориентировочно, исходя из условия, что $W_{мин} > P_n > 0$, где $W_{мин}$ – наименьшая из величин оползневого потенциала на площадях развития данного класса крутизны склонов.

5.11. Когда будет установлена величина P для какого-либо класса определенного фактора оползнеобразования (таким фактором может являться не только крутизна склона, но и любой фактор), вероятность P_k для какого-либо другого k-го фактора можно находить по формуле (30). Обязательным условием при этом является одинаковое сочетание других факторов (определенного класса) на площадях, занятых факторами n и k.

$$P_k = P_n \frac{1 - W_k}{1 - W_n} + \frac{W_k - W_n}{1 - W_n}, \qquad (30)$$

где W_k, W_n – величины оползневого потенциала соответственно в зонах k-го и n-го факторов при одинаковом составе других факторов оползнеобразования.

Пример. Имеются две зоны со следующими сочетаниями факторов (буква или цифра – номер фактора, индекс – номер класса) в пределах площадей развития одного комплекса пород: в первой зоне факторы $k_3, l_2, 2_1, 3_3$ во второй зоне факторы $n_2, l_2, 2_1, 3_3$. Известны величина вероятности P для второго класса фактора n ($P_n = 0{,}2$) и величины оползневых потенциалов соответственно в первой и второй зонах $W_k = 0{,}7$ и $W_n = 0{,}4$. Величина P_k согласно формуле (30) равна:

$$P_k = 0{,}2 \frac{1-0{,}7}{1-0{,}4} + \frac{0{,}7-0{,}4}{1-0{,}4} = 0{,}6.$$

5.12. Формулу (30) допускается использовать и для нескольких сочетаний факторов в пределах площадей распространения k-го и n-го факторов (с учетом класса) при соблюдении следующих дополнительных требований:

учитываются только такие зоны в пределах площадей k-го и n-го фактора, в которых сочетания других факторов являются одинаковыми;

в формуле (30) взамен W_k и W_n используются приведенные (средние) значения оползневого потенциала $W_k^{пр}$ и $W_n^{пр}$, вы-

численные для зон одинакового сочетания факторов по следующим формулам:

$$W_k^{пр} = \frac{\sum^{m} W_{ik}}{m}; \qquad (31)$$

$$W_n^{пр} = \frac{\sum^{m} W_{in}}{m}, \qquad (32)$$

где $W_k^{пр}, W_n^{пр}$ – приведенные значения оползневого потенциала соответственно для площадей фактора k и фактора n; W_{ik}, W_{in} – величины оползневых потенциалов в зонах с определенным содержанием факторов соответственно для площадей фактора k и фактора n; m – число зон с одинаковым сочетанием факторов на площади каждого из рассматриваемых факторов k и n.

Вычисление приведенных значений оползневого потенциала проиллюстрируем следующим примером.

На площадях распространения одного комплекса пород имеются зоны с указанными в табл. 5 сочетаниями факторов (обозначения – те же, что и в п. 5.11). По другим данным установлено, что величина вероятности влияния второго класса фактора n равна $p_n = 0{,}20$.

Таблица 5

Номера зон	Факторы	Величина оползневого потенциала
1	k_3, 1_2, 2_1, 3_3	$W_1 = 0{,}7$
2	k_3, 1_1, 2_1, 3_2	$W_2 = 0{,}5$
3	k_3, 1_3, 2_2, 3_3	$W_3 = 0{,}8$
4	n_2, 1_2, 2_1, 3_3	$W_4 = 0{,}4$
5	n_2, 1_1, 2_1, 3_2	$W_5 = 0{,}3$
6	n_2, 1_2, 2_2, 3_3	$W_6 = 0{,}45$

Из таблицы следует, что одинаковые сочетания факторов имеются в двух парах зон – № 1 и 4, 2 и 5 (число одинаковых сочетаний $m = 2$). Сведения по зонам № 3 и 6, где сочетания факторов неодинаковые, не могут быть использованы для определения приведенных значений оползневого потенциала.

В соответствии с формулами (31), (32) приведенные значения оползневого потенциала равны:

$$W_k^{пр} = \frac{W_1 + W_2}{m} = \frac{0,7 + 0,5}{2} = 0,6; \quad W_n^{пр} = \frac{W_4 + W_5}{m} = \frac{0,4 + 0,3}{2} = 0,35.$$

По формуле (30) вероятность для третьего класса фактора k равна:

$$P_k = 0,2\,\frac{1 - 0,6}{1 - 0,35} + \frac{0,6 - 0,2}{1 - 0,35} = \frac{0,44}{0,65} \cong 0,68.$$

5.13. Для зон, в которых окажутся известными вероятности воздействия всех факторов, кроме одного (i-го), согласно формуле (29), вероятность воздействия этого i-го фактора P_i определяется соотношением

$$P_i = 1 - \frac{1 - W}{\prod_{k=1}^{m-1}(1 - P_k)}, \qquad (33)$$

где W – величина оползневого потенциала для данной зоны; m – общее число действующих факторов; Π – знак произведения; P_k – вероятности воздействия каждого из действующих факторов, кроме i-го.

5.14. После того, как в соответствии с пп. 5.10–5.13 настоящих Рекомендаций определены исходные величины вероятностей для каждого класса всех действующих факторов оползнеобразования, региональный прогноз степени развития оползней выполняется с использованием формулы (29) с подстановкой в нее вероятностей воздействия факторов оползнеобразования, соответствующих специально запрогнозированным изменениям инженерно-геологической обстановки и воздействий на склоны. При этом необходимо иметь в виду, что методом оползневого потенциала можно оценить только такие изменения условий или воздействий, которые приводят к изменению класса одного или нескольких факторов оползнеобразования.

Изменчивость факторов оползнеобразования во времени обычно проявляется для величин атмосферных осадков и интенсивности абразии (в связи с колебаниями ветрового режима) и на водохранилищах, по мере формирования береговой отмели, а также для влияния инженерно-хозяйственной деятельности. Исходные величины осадков и интенсивности абразии на определенные последующие годы можно прогнозировать по материалам предшествующих многолетних наблюдений. Антропогенные воздействия прогнозируются применительно к видам

и участкам проектируемого хозяйственного освоения территории.

Величины оползневого потенциала, определенные по формуле (29), будут соответствовать прогнозным значениям пораженности активными оползнями.

5.15. На территориях, где оползневая съемка ранее не выполнялась, для регионального прогноза устойчивости склонов в пределах площадей распространения каждого основного литолого-генетического комплекса пород выделяются зоны с определенным сочетанием факторов оползнеобразования. Затем для каждой зоны по формуле (29) определяется величина оползневого потенциала, которая соответствует ожидаемой величине пораженности данной зоны активными оползнями.

Метод регрессионного анализа

5.16. Метод регрессионного анализа основан на определении статических зависимостей какого-либо показателя (применительно к региональному прогнозу оползней – коэффициентов пораженности оползнями, частоты оползней и пораженности активными оползнями от количественных характеристик воздействия факторов оползнеобразования и получения так называемых стохастических (регнессионных) уравнений первой степени и более высоких степеней (обычно не выше второй степени)[1]. Этот метод применим для прогноза степени развития оползней при ожидаемых изменениях интенсивности факторов оползнеобразования, а также для прогнозирования пораженности оползнями на территориях, где ранее оползневая съемка не выполнялась (при наличии аналогии с природной обстановкой, для которой получены стохастические уравнения).

5.17. Метод регрессионного анализа является более совершенным по сравнению с методом оползневого потенциала и не требует относительно грубого разделения каждого фактора на классы. Однако метод регрессионного анализа весьма трудоемок и требует сложной математической обработки, как правило, выполняемой с использованием электронно-вычислительных машин.

Метод анализа ритмичности оползневого процесса

5.18. Рассматриваемый метод основан на выявлении периодичности активизаций оползневого процесса и ее связи с ритма-

---

[1] Комаров И.С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. – М.: Недра, 1972.
Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977.

ми солнечной активности, выпадением осадков и другими метеорологическими параметрами.

Обычно прослеживается достаточно четкая связь количества оползней с солнечной активностью и менее тесная связь – с атмосферными осадками.

Для использования метода необходимы представительные и продолжительные ряды наблюдений за оползнями и достаточно сложный анализ с выявлением корреляционных функций по специальным программам[1].

5.19.Выявленные корреляционные функции позволяют ориентировочно прогнозировать на последующие годы общее число оползней и их площадь и выявлять время ожидаемой повышенной оползневой активности для изучения региона.

Использование данного метода анализа ритмичности оползневого процесса затрудняется отсутствием в большинстве случаев достаточно представительных рядов наблюдений и сложностью необходимой обработки исходных данных.

---

[1] Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР и его региональный прогноз. – М.: Недра, 1980.
Шеко А.И. О цикличности проявления оползневых процессов на северо-западном побережье Черного моря. – В сб.: Проблемы и методы инженерно-геологических исследований. Труды ВСЕГИНГЕО, вып. 76.–М.: 1974.

Определение критических параметров для уступов (откосов) однородного строения и прямолинейного профиля

Для уступов и откосов однородного строения (т.е. сложных однородных толщей пород, не имеющей поверхностей ослабления) определяются:

при предельном по степени устойчивости состоянии уступа (откоса) – критические величины его крутизны и высоты;

при непредельном по степени устойчивости состоянии уступа (откоса) – такие критические значения у сцепления $C_{кр}$ и угла внутреннего трения $\varphi_{кр}$ для слагающих его пород, при которых уступ (откос) достигает предельного состояния.

Для уступов и откосов, находящихся в предельном состоянии, в зависимости от удельного (объемного) веса, сцепления и угла внутреннего трения пород, слагающих грунтовый массив, определяются либо критическая (предельная) высота $H_{кр}$ уступа (откоса) при заданной величине его крутизны, либо критическая крутизна уступа (откоса) с использованием графика А.М. Демина[1]. При этом принимается, что

$$H_{кр} = H' \frac{C}{\gamma}, \qquad (33)$$

где $H_{кр}$ – критическая высота уступа, м; H' – безразмерная величина, определяемая по графику А.М. Демина (рис. 23) в зависимости от заданной крутизны откоса β и величины угла внутреннего трения φ для породы, слагающей грунтовый массив; C, γ – соответственно сцепление, МПа, и удельный (объемный) вес, МН/м^3, для породы, слагающей грунтовый массив.

Пример 1. Рассчитать критическую высоту уступа $H_{кр}$ при его крутизне $\beta = 38^\circ$, $C = 0{,}015$ МПа, $\varphi = 29^\circ$; $\gamma = 0{,}018$ МН/м^3.

По графику рис. 23 находим, что величина H при $\varphi = 29^\circ$ и $\beta = 38^\circ$ равна 22,2. Отсюда по формуле (33) величина

$$H_{кр} = H \frac{C}{\gamma} = 22{,}2 \frac{0{,}015}{0{,}018} = 18 \text{ м}.$$

Пример 2. Определить критическую крутизну уступа $\beta_{кр}$ при его высоте $H = 23$ м; $C = 0{,}09$ МПа; $\varphi = 15^\circ$; $\gamma = 0{,}0195$ МН/м^3.

По формуле (33) при $H = H_{кр}$ рассчитываем величину

$$H' = \frac{H_{кр}\gamma}{C} = \frac{28 \cdot 0{,}02}{0{,}08} = 7{,}0.$$

---

[1] Демин А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. – М.; Недра, 1973.

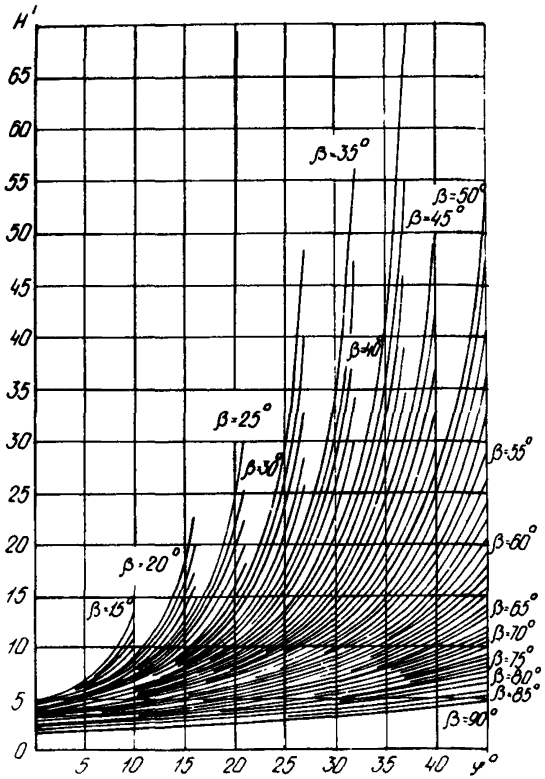


Рис. 23. График А.М. Демина для предельных уступов однородного строения и прямолинейного профиля

По рис. 23 определяем, что при $H'=7{,}0$ и $\varphi=15^\circ$ величина $\beta=\beta_{кр}$ составит 50°.

Для непредельных уступов (откосов) высотой H и крутизной β критические значения сцепления $C_{кр}$ и угла внутреннего трения $\varphi_{кр}$ определяются следующим образом:

1) строится график (рис. 24), на котором откладываются по оси абсцисс значения тангенса угла внутреннего трения $tg\varphi$, по оси ординат – величины сцепления C. На графике находится точка A, для которой $C=C_м$ и $\varphi=\varphi_м$ – величины соответственно сцепления и угла внутреннего трения породы, слагающей грунтовый массив. Начало координат (точка O) соединяется с точкой A;

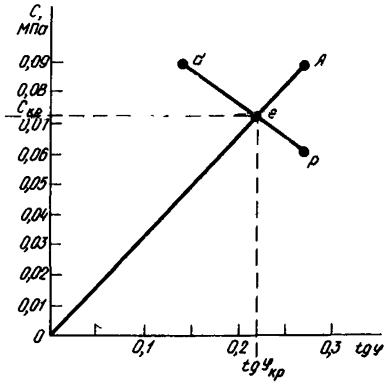


Рис. 24. График для определения критических величин сцепления и тангенса угла внутреннего трения

2) на том же рисунке строится график dp прямолинейной зависимости $C=f(tg\varphi)$, отражающий изменения (в соответствии с рис. 23) величин C при разных значениях φ для предельного уступа, высота и крутизна которого те же, что и у рассматриваемого уступа;

3) величины $C_{кр}$ и $\varphi_{кр}$ принимаются соответствующими координатам точки пересечения графика dp с линией OA.

Пример. 3. Найти $C_{кр}$ и $\varphi_{кр}$ для уступа высотой $H=20$ м и крутизной $\beta=40^{\circ}$, сложенного породой, имеющей сцепление $C_м = 0{,}09$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi_м=15^{\circ}$ и удельный (объемный) вес $\gamma=0{,}0195$ МН/м^3.

Выполняем следующие операции:

1) на графике (см. рис. 24) находим точку A, для которой $C= C_м = 0{,}09$ МПа и $tg\,\varphi = tg\,\varphi_м = tg\,15^{\circ} = 0{,}27$;

2) по графику А.М. Демина (рис. 23) строим график $C=(tg\,\varphi)$ для предельного уступа высотой 20 м и крутизной 40°.

Для первой точки (т. d) при заданном значении сцепления $C_d=0{,}09$ МПа вычисляем, согласно формуле (33), величину

$$H'=\frac{H_{кр}\gamma}{C}=\frac{23\cdot 0{,}195}{0{,}09}=5{,}0.$$

По рис. 23 для $H'=5{,}0$ и $\beta=40^{\circ}$ величина $\varphi=\varphi_d=8^{\circ}$; следовательно, $tg\,\varphi_d=0{,}14$.

Затем для следующей точки (т. p) задаем величину $\varphi=\varphi_p=15^{\circ}$ (значение $tg\,\varphi_p=0{,}27$). По рис. 23 для $\varphi_p=15^{\circ}$ и $\beta=40^{\circ}$ величина $H'=7{,}0$. Отсюда согласно формуле (33) значение $C_p=\frac{H_{кр}\gamma}{H'}=$

$$=\frac{23\cdot 0{,}0195}{7{,}0}=0{,}064 \text{ МПа};$$

3) Соединяя точки d и p, получим график $C=f(tg\varphi)$ для уступа с $H_{кр}=23$ м и $\beta_{кр}=40^{\circ}$. Точка e на пересечении графика с линией OA соответствует критическим значениям $C_{кр}=0{,}73$ МПа; $tg\,\varphi_{кр}=0{,}22$ и $\varphi_{кр}=12{,}4^{\circ}$ (см. рис. 24).

Приложение 2

Определение ширины призмы обрушения

Склон (уступ) высотой H=25 м сложен породами, для которых величина сцепления C = 0,05 МПа, угол внутреннего трения φ=20°, удельный (объемный) вес γ=0,02 МН/м^3.

Требуется определить ширину призмы обрушения a для данного склона при его критической крутизне.

Выполняем следующие операции:

1) по формуле (1) находим глубину трещины отрыва

$$H_{90} = \frac{2 \cdot 0{,}05 \cdot ctg\left(45° - \frac{20°}{2}\right)}{0{,}02} = 7{,}15 \text{ м};$$

2) находим отношение

$$H/H_{90} = \frac{25{,}0}{7{,}15} = 3{,}5;$$

3) по графику рис. 1, определяем, что при φ=20° и величине H/H_{90}=3,5 отношение a/H_{90} составит 0,6;

4) по величине a/H_{90}=0,6 находим ширину призмы обрушения

$$a = 0{,}6 \cdot H_{90} = 0{,}6 \cdot 7{,}15 = 4{,}29 \text{ м}.$$

Приложение 3

Расчет устойчивости склона в сейсмически активном районе

Склон сложен оползневыми накоплениями, их подошва (линия *аекр* см. рис.25) является поверхностью ослабления, по которой величина угла внутреннего трения составляет φ=18°($tg\varphi$=0,325), а сцепление равно C = 0,06 МПа. Подстилающие коренные породы имеют значительно более высокую прочность на сдвиг, в связи с чем расчет выполняется применительно к консеквентному оползню сдвига (смещение по подошве оползневых накоплений). В оползневых накоплениях, имеется безнапорный водоносный горизонт; зеркало горизонта (линия *mn* на рис. 25) наклонено к горизонту под углом β=22°, подошва горизонта находится на больших глубинах ниже подошвы оползневых накоплений. Удельный (объемный) вес оползневых накоплений составляет γ = 0,02 МН/м^3 как в пределах водоносного горизонта, так и выше уровня подземных вод. Склон находится в районе с сейсмичностью 7 баллов.

Разбиваем массив оползневых накоплений на четыре отсека № 1–4, отличающихся по крутизне наклона (α_i) своей подошвы (см. рис. 25). Для каждого отсека определяем площадь сечения V_i, площадь обводненной части ω_i и длину подошвы l_i (см. табл. 6). Вычисляем полный вес отсека $p_i = V_i \gamma \cdot 1м$ и вес отсека с учетом гидростатического взвешивания $p_i' = p_i - \gamma_B \omega_i \cdot 1м$

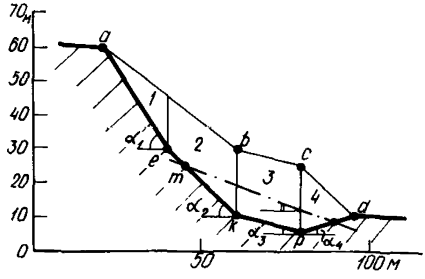


Рис. 25. Схема к расчету устойчивости

Таблица 6

Номер отсека	α_i, град	l_i, м^2	p_i, МН	ω_i, м^2	p_i', МН	$p_i' \sin \alpha_i$	$p_i' \cos \alpha_i$	l_i, м
1	60	150	3,00	–	3,00	2,60	1,50	36
2	45	350	7,00	75	6,25	4,42	4,42	29
3	15	400	8,00	170	6,30	1,63	6,10	20
4	–20	150	3,00	35	2,65	–0,91	2,49	17
			Сумма		$\Sigma p_i' \sin \alpha_i' = 8{,}65$		14,51	102
					$\Sigma p_i' \sin \alpha_i'' = 0{,}91$			

Таблица 7

Номер отсека	ω_i, м^2	$\beta_i - \alpha_i$, град	$\sin(\beta_i - \alpha_i)$	$\cos(\beta_i - \alpha_i)$	φ_i^N	φ_i^T
1	–	–	–	–	–	–
2	75	23	0,390	0,922	0,11	0,26
3	170	–7	–0,122	0,991	–0,08	0,65
4	35	42	0,671	0,743	0,09	0,10
				Сумма	0,12	1,01

(где $\gamma_в = 0{,}01$ МН/м^3 – удельный вес воды), а также величины сдвигающих ($p_i' \sin \alpha_i$) и нормальных усилий ($p_i' \cos \alpha_i$), создаваемых по подошве отсека весом вышезалегающих пород.

Так как оползневые накопления попадают в самую верхнюю часть водоносного горизонта, принимаем, что для всех обводненных отсеков уклон равнодействующей фильтрационного давления равен уклону зеркала горизонта (т.е. под углом $\beta_i = \beta = 22°$), а величина гидравлического градиента равна:

Таблица 8

Номер блока	p_i, МН	α_i, град	$\sin\alpha_i$	$\cos\alpha_i$,	$p_i m \sin\alpha_i$	$p_i m \cos\alpha_i$
1	3,00	60	0,87	0,50	0,07	0,04
2	7,00	45	0,71	0,71	0,12	0,12
3	8,00	15	0,26	0,97	0,05	0,19
4	3,00	–20	–0,34	0,94	–0,03	0,07
				Сумма	0,21	0,42

$I_i = \sin\beta = 0{,}384$. В соответствии с формулами (6) и (9) находим (см.табл. 7) для каждого обводненного отсека нормальную (Φ_i^N) и тангенциальную (Φ_i^T) составляющие фильтрационного давления, где $\Phi_i^N = \gamma_в \omega_i I_i \sin(\beta_i - \alpha_i) \times 1м$ и $\Phi_i^T = \gamma_в \omega_i I_i \cos(\beta_i - \alpha_i) 1м$.

Сейсмические силы (см. табл. 8) вычисляем в соответствии с формулой (9). При этом вес отсеков p_i определяется без учета гидростатического взвешивания, а коэффициент сейсмичности m для расчетной сейсмичности 7 баллов по табл. 2 равен 0,025.

Коэффициент устойчивости K_y в соответствии с формулой (9) будет равен:

$$\frac{\Sigma[p_i' \cos\alpha_i + \Sigma\Phi_i^N - p_i m \sin\alpha_i] tg\varphi + \Sigma C l_i + \Sigma p_i' \sin\alpha_i^N}{\Sigma p_i \sin\alpha_i' + \Sigma\Phi_i^T + \Sigma p_i m \cos\alpha_i} =$$

$$= \frac{(14{,}51 + 0{,}12 - 0{,}21) 0{,}325 + 8{,}06 \cdot 102 + 0{,}91}{8{,}65 + 1{,}01 + 0{,}42} = 1{,}16.$$

Приложение 4

Оценка устойчивости откоса графическим методом многоугольника сил

Оценка устойчивости методом многоугольника сил, предложенным Г.М. Шахунянцем[1], выполняется в следующем порядке.

1. Вычерчивается профиль оцениваемого откоса и определяется поверхность смещения с учетом геологических условий.

---

[1] Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. Гл. 3. – М.: Транспорт, 1969.

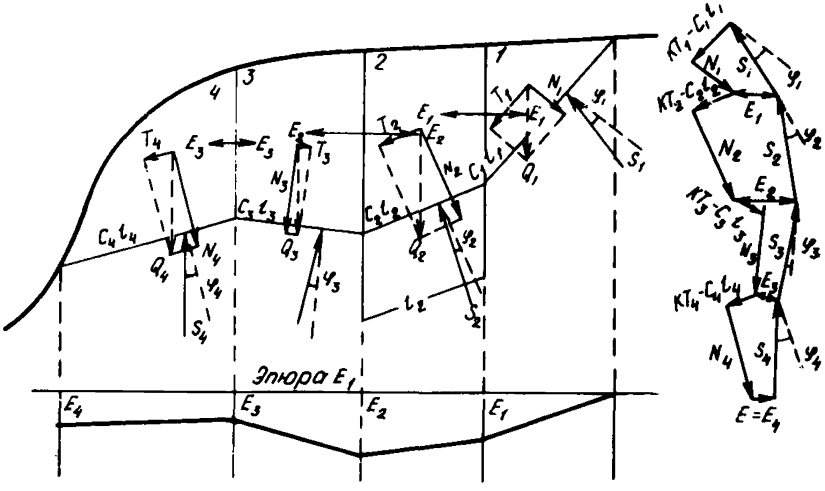


Рис. 26. Схема графических построений по методу многоугольника сил

Массив, расположенный выше поверхности скольжения, разбивается вертикальными линиями на ряд отсеков. Величина и количество отсеков подбираются в соответствии с геологическим строением, морфологией склона и формой поверхности смещения. В пределах каждого отсека поверхность скольжения принимается плоской (рис. 26).

2. На любой выделенный описанным выше образом отсек (например, на отсек № 2, см. рис. 26) действуют тангенциальная T_2 и нормальная N_2 составляющие силы Q_2 – веса призмы породы в объеме отсека, а также силы E_1 и E_2 со стороны соседних отсеков; по поверхности возможного смещения отсека действуют реакции со стороны этой поверхности, равные силам сцепления $c_2 l_2$ и трения $tg\varphi_2 R_2$, и нормальная реакция R_2. Равнодействующая силы трения и нормальной реакции поверхности будет равна: $S_2 = \sqrt{1 + tg\varphi_2}$, а угол ее наклона к нормали поверхности смещения составит угол φ_2. Силами, сдвигающими массив по поверхности оползания, будут тангенциальные составляющие T_i сил Q_i, если они направлены в сторону возможного смещения массива. Все остальные силы являются силами, или непосредственно не влияющими на устойчивость (сила N_i), или сопротивляющимися возможному смещению.

Под коэффициентом устойчивости понимают отношение всех тангенциальных сил $T_{уд}$, сопротивляющихся смещению, ко всем тангенциальным силам $T_{сдв}$, стремящимся вызвать смещение.

Для того чтобы весь массив имел коэффициент устойчивости K, необходимо, чтобы для каждого отсека выполнялось условие

$$T_{уд} - KT_{сдв} = 0.$$

3. При составлении условий равновесия вместо тангенциальной составляющей T_i силы Q_i принимаем величину KT_i, если сила T стремится сдвинуть массив (отсеки № 1, 2, 4), и не меняет значения силы T_i, если она сопротивляется смещению (отсек № 3).

Сложно определение направления сил E. Наиболее простым является допущение, что силы E направлены горизонтально. Можно принять угол наклона к горизонту сил E, равным углу наклона поверхности возможного смещения в отсеке, в котором находится центр тяжести всего массива.

Если известно направление реакции поддерживающего сооружения, то наклон к горизонту направлений сил E следует брать равным наклону реакции сооружения.

4. Для каждого отсека величина и направление сил N_i, T_i, c_i, l_i и E_{i-1} известны. При этом сила E_{i-1} известна в результате решения задачи для предыдущего отсека, если иметь в виду, что в первом отсеке сила E_{i-1} отсутствует. Величины сил E_i и S_i, заданные своими направлениями, являются неизвестными и находятся в результате построения для каждого отсека многоугольника сил. Задача определения оползневого давления в основании склона при заданном коэффициенте устойчивости решается для каждого отсека последовательным построением многоугольников сил, аналогичных показанным на рис. 26.

Силы E_{i-1} являются общими сторонами многоульников для данного отсека и предыдущего, и при переходе от одного отсека к другому следует лишь менять направление силы E_{i-1}, являющейся реакцией данного отсека на предыдущий, на обратное, так как в этом случае сила E_{i-1} передается от предыдущего отсека на данный. Сила E_i, определенная для последнего отсека, представляет собой полное оползневое давление, которое развивается в основании склона при заданном коэффициенте устойчивости.

Примечание. Если при построении многоугольника сил в каком-то i-ом отсеке сила E_i стала равной нулю или приняла отрицательное значение, т.е. изчезла или стала силой сдвигающей вместо поддерживающей (что невозможно, если в грунте не могут возникать растягивающие напряжения), то это показывает, что часть массива от начала и до границы где-то внутри данного отсека имеет не только заданный коэффициент устойчивости, но даже избыток. В том случае, когда сила E имеет в i-ом отсеке направление в сторону смещения, при построении много-

угольника сил для следующего $i+1$ отсека E_i в этот многоугольник не включается, если растягивающие напряжения не допускаются; при допущении растягивающих напряжений учитывается лишь часть силы E_i, при которой растягивающие напряжения не превосходят допускаемых.

5. Для определения коэффициента устойчивости K откоса, следует задаваясь различными значениями K, определить значение E для последнего отсека путем построения многоугольников сил. По полученным данным строят кривую изменения E (для последнего отсека). Степень устойчивости откоса будет соответствовать такому коэффициенту устойчивости K, при котором $E=0$, т.е. искомой величиной коэффициента устойчивости будет абсцисса точки пересечения кривой $E=f(K)$ с осью абсцисс K. Для построения кривой $E=f(K)$ следует брать такие значения K, при которых значение E было как положительным, так и отрицательным.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Локальная оценка устойчивости склонов	16
А. Расчет устойчивости крутых уступов и откосов	17
Оценка возможности образования срезающих оползней сдвига	17
Оценка возможности образования консеквентных и срезающе-консеквентных оползней сдвига	28
Оценка возможности образования вязкопластических оползней	30
Оценка возможности образования оползней гидродинамического выноса	32
Оценка возможности образования оползней внезапного разжижения	33
Б. Оценка устойчивости всего склона	33
Расчет устойчивости коренного массива склона	34
Расчет устойчивости склоновых накоплений	37
3. Локальный прогноз устойчивости склонов	38
Прогноз изменений рельефа	39
Прогноз изменения гидрогеологических условий	41
Прогноз изменения свойств пород	43
Выполнение прогнозных расчетов устойчивости склонов	44
4. Способы получения исходных данных для локальной количественной оценки и прогноза устойчивости склонов	45
Методы натурного изучения поверхностей и зон ослабления	46
Расчет положения подошвы блоковых оползней методом совмещенных профилей рельефа	47
Определение показателей сопротивления пород сдвигу	52
5. Региональные методы оценки и прогноза устойчивости склонов	60
Метод оползневого потенциала	62
Метод регрессионного анализа	68
Метод анализа ритмичности оползневого процесса	68
Приложение 1. Определение критических параметров для уступов (откосов) однородного строения и прямолинейного профиля	70
Приложение 2. Определение ширины призмы обрушения	73
Приложение 3. Расчет устойчивости склона в сейсмически активном районе	73
Приложение 4. Оценка устойчивости откоса графическим методом многоугольника сил	75

ПНИИИС Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л. Г. Бальян
Редактор Н.В. Лосева
Младший редактор О.А. Меркулова
Внешнее оформление художника А.А. Оледского
Технический редактор Н.Е. Поплавская
Корректор Е.Р. Герасимюк
Н/К

Подписано в печать 22.03.84 Т – 13269 Формат 84x108 1/32
Набор машинописный Бумага офсетная № 2 Печать офсетная
Усл.печ.л. 4,20 Усл.кр.-отт. 4,41 Уч.-изд.л. 4,31 Тираж 5000 экз.
Изд. № XII–50 Зак. № 196. Цена 20 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
г. Тула, проспект Ленина, 109

gost.e-ecolog.ru