

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы: оценить вероятное время возникновения оползня и инженерную обстановку при возникновении оползневого процесса на склоне.

Теоретическая часть

К наиболее характерным стихийным бедствиям для некоторых географических районов Российской Федерации относятся обвалы, оползни, сели и снежные лавины. Все относятся к скользящим смещениям земных масс и могут разрушать здания и сооружения, вызывать гибель людей, уничтожать материальные средства, нарушать процессы производства. Любой склон может явиться потенциальной причиной катастрофы. Под действием силы тяжести при потере устойчивости склон может разрушиться, вызвав тяжелые последствия.

Оползневыми процессами называют скользящее смещение масс горных пород вниз по склону под влиянием силы тяжести, в связи с потерей устойчивости. Оползни могут сходить со всех склонов, начиная с крутизны 19° , а на трещиноватых глинистых грунтах - при крутизне склона $5-7^\circ$. Оползни представляют собой быстрое разрушение склона, так как оползание породы происходит менее чем за 15 мин. Предварительные движения или последующие явления могут ощущаться в течение значительно более длительного периода времени, однако основное смещение происходит быстро; в противном случае это явление следует рассматривать как ползучесть рыхлого покрова или массива.

Оползни обладают прямыми и косвенными поражающими факторами.

Прямые поражающие факторы:

- движение масс грунта вниз по склону.

Косвенные поражающие факторы:

- разрушение, засыпание сооружений, дорог, коммуникаций, линий связи;
- уничтожение лесных массивов и сельскохозяйственных угодий;
- перекрывание русел рек;
- изменение рельефа местности.

Классификация оползневых процессов. Катастрофические явления, происходящие на склонах, необязательно должны быть быстрыми. Медленное, но неудержимое скольжение в море скалистого берега вместе с расположенными на нем сооружениями в течение года или около того является не менее опасной катастрофой, чем быстрые смещения.

Типы оползней имеют важное значение. Для всех оползневых процессов, ввиду их большого разнообразия, не существует единой механической модели.

Разнообразные явления могут быть лучше всего охарактеризованы как очень быстрое течение или скольжение. К этой категории относятся: текучесть рыхлых грунтов, грязевые и каменные потоки, «мурены».

По мощности оползневого процесса, т. е. вовлечению в движение масс горных пород, оползни делятся на малые - до 10 тыс. м³, средние - 10-100 тыс. м³, крупные - 100-1000 тыс. м³, очень крупные - свыше 1000 тыс. м³.

Явления, связанные с поверхностными движениями склонов образуют третий класс явлений, который включает *поверхностную ползучесть*, приуроченную к зоне сезонного изменения температур и колебаний влажности; она редко захватывает глубины более 3 м. *Солифлюкция* — это особый вид поверхностной ползучести в нивальных условиях.

Более глубокие смещения характерны для глубинных частей земного массива. Они охватывают ползучесть и скольжение в рыхлых и скальных породах, включая случаи медленного сужения речных долин.

Причины возникновения оползневых процессов. На образование и движение оползня влияют как природные, так и антропогенные факторы.

Природными факторами, непосредственно влияющими на образование оползней, являются землетрясения, переувлажнение склонов гор интенсивными атмосферными осадками или грунтовыми водами, речная эрозия, абразия и др.

Антропогенными факторами (связанными с деятельностью человека) являются подрезка склонов при прокладке дорог, вырубка лесов и кустарников на склонах, производство взрывных и горных работ вблизи оползневых участков, неконтролируемая распашка и полив земельных участков на склонах и т. п.

Инженерная оценка состояния склона. Под инженерной оценкой состояния склона понимают: (1) оценку вероятности возникновения оползневого процесса на склоне в ближайшем будущем; (2) параметры оползневого процесса.

Оценка вероятности возникновения оползневого процесса достаточно сложный алгоритм и, как правило, производится специалистами оползневых станций (по данным многолетних наблюдений).

Принципиальная схема вероятностного прогноза возникновения нового оползня на естественном склоне в заданном районе и в заданный период времени T [4] состоит в следующем. На первом этапе осуществляется получение исходных данных. Для этого определяют среднюю годовую величину коэффициента K_{CP}^H устойчивости данного склона в настоящее время (т.е. на начало периода T), под которым понимают отношение суммарного сопротивления сдвигу вдоль какой-либо потенциальной поверхности скольжения к сумме сдвигающих усилий вдоль этой поверхности:

$$K_{CP}^H = \sum_{i=1}^n \frac{C_i l_i}{\tau_i \Delta l_i},$$

где: C_i - сопротивление сдвигу на i -ом участке; τ_i - касательная напряженность; l_i - деформация склона на i -ом участке; Δl_i - абсолютная деформация.

Рассчитывают среднюю скорость необратимых изменений коэффициента устойчивости склона (за год в настоящее время и ее прогноз на период T) $\Delta K_{CP} = f(T)$. Определяют зависимость амплитуды A обратимых колебаний коэффициента устойчивости склона от показателей F соответствующих факторов: $A = f(\Sigma F)$.

Рассчитывают среднюю величину годовой амплитуды A_{CP} отрицательного отклонения коэффициента устойчивости склона и вероятной максимальной ее величины A_{MAX} за период T .

На втором этапе осуществляют анализ данных. Для этого определяют возможность оползня. Конечная средняя годовая величина коэффициента устойчивости склона K_{CP}^K в конце прогнозируемого периода T составит:

$$K_{CP}^K = K_{CP}^H - T \Delta K_{CP}$$

Выводы об устойчивости или неустойчивости склона делаются на основании анализа следующих условий:

Если:

$K_{CP}^K - A_{MAX} > 1$ - оползень маловероятен

$K_{CP}^K - A_{MAX} < 1$ - оползень возможен,

а если:

$K_{CP}^K - A_{CP} < 1$ - вероятность оползня очень велика.

Рассчитывают вероятное время T_{on} смещения оползня (лет от начала прогнозируемого периода), т.е. наиболее вероятно смещение оползня в этот период по формуле:

$$\text{от } \frac{K_{CP}^H - A_{MAX} - 1}{\Delta K_{CP}} \quad \text{до } \frac{K_{CP}^H - A_{CP} - 1}{\Delta K_{CP}}$$

На практике обычно заблаговременно выявляют условие, изменение которого способно вызывать оползни участка склона, и выполняют все противооползневые мероприятия, повышающие устойчивость пород. На специальных постах специалистами оползневых станций ведется наблюдение за причинами возникновения оползневых смещений, изучение их динамики и определение противооползневых мероприятий. В их задачи входит так же: контроль колебания уровня воды в колодцах дренажных сооружений, буровых скважин, реках, озерах и водохранилищах; наблюдение за режимом подземных вод, скоростью и направлением оползневых смещений, выпадением и стоком атмосферных осадков.

На наиболее ответственных участках такие посты оборудуют створы глубинных реперов (репер - фундаментальный геодезический знак, закладываемый в практически несжимаемые грунты и предназначенный для сохранения высотной отметки) и наблюдают за ними. В качестве реперов обычно используют буровые штанги длиной 2...2,5 м. В районах глубокого промерзания штанги-реперы устанавливают на глубину до 3 м и заливают раствором цемента. Особенно внимательно наблюдение за реперами ведут в осенне-весенний период, когда выпадает наибольшее количество осадков (являющихся одной из основных причин возникновения оползней).

На основании анализа результатов проведенных наблюдений, выявляют оползневые районы и выполняют противооползневые работы на тех участках, где зафиксировано смещение пород.

Вычисление параметров оползневого процесса также довольно сложно, т.к. в этом случае особое значение имеет динамика значительных изменений земной поверхности. С этим связана проблема определения условий, при которых такие изменения не происходят, т.е. условий *устойчивости* рельефа Земли.

Прежде всего, следует определить устойчивость склона, который сложен рыхлыми породами. Прочность рыхлых пород определяется уравнением [2]:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \phi + c$$

где τ — сопротивление сдвигу; σ — нормальное напряжение; c — сцепление, ϕ — угол внутреннего трения. Для простоты предварительной оценки обстановки при оползневом процессе ограничиваются решением плоской задачи. В этом случае мы получим геометрическую схему, изображенную рис. 1. На этом рисунке W - вес клина ABC ; H - высота откоса, β - угол откоса; λ - угол наклона плоскости скольжения.

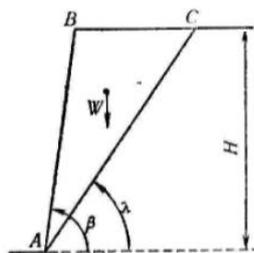


Рис. 1. Геометрическая модель склона [2]

Равновесие треугольника ABC определяется выражением:

$$W \sin \lambda = c \frac{H}{\sin \lambda} + W \cos \lambda \operatorname{tg} \phi$$

Вес треугольника ABC (принимая его толщину, равной единице измерения) равен:

$$W = \rho g \frac{H^2 \sin(\beta - \lambda)}{2 \sin \beta \sin \lambda}$$

где: ρ - средняя плотность материала слагающего склон, кг/м^3 ; g - ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$), H - высота откоса, м, β - угол откоса, градусы; λ - угол наклона плоскости скольжения, градусы.

В этом случае сила сцепления грунта (c) составит:

$$c = \frac{W(\sin \lambda - \cos \lambda \operatorname{tg} \phi) \sin \lambda}{H}$$

Критическую высоту склона h_c можно определить по выражению:

$$h_c = \frac{c}{\rho g} \frac{2 \sin \beta \cos \phi}{\sin^2 \frac{1}{2}(\beta - \phi)}$$

где ϕ - угол внутреннего трения (градусы) - угол наклона прямолинейной части диаграммы сдвига грунта к оси нормальных давлений. Угол внутреннего трения является показателем сил трения в грунте, возникающих при явлениях сдвига и оказывающих сопротивление сдвигу.

Эта формула обычно выражается через коэффициент устойчивости $N(\beta, \phi)$:

$$h_c = \frac{c}{\rho g} N(\beta, \phi), \text{ где: } N(\beta, \phi) = \frac{2 \sin \beta \cos \phi}{\sin^2 \frac{1}{2}(\beta - \phi)}$$

Для $\phi = 0$ (при наличии только одной плоскости сцепления), уравнение еще более упрощается:

$$N(\beta) = 4 \operatorname{ctg} \left(\frac{\beta}{2} \right)$$

В практике проектирования сооружений на склонах критическую высоту откоса насыпи, при которой сохраняется устойчивость, можно рассчитать из уравнения значения коэффициента устойчивости или сведения можно получить из графика (рис. 2).

Величина нормального давления, которое оказывает склон весом W вышележащих пород равна:

$$\sigma_n = W \cos \beta$$

откуда сопротивление сдвигу составит:

$$\tau(x) = \rho g x \operatorname{tg} \phi$$

Среднее сопротивление сдвигу в слое мощностью δ составит:

$$\tau = \frac{1}{2} \delta \rho g \operatorname{tg} \phi$$

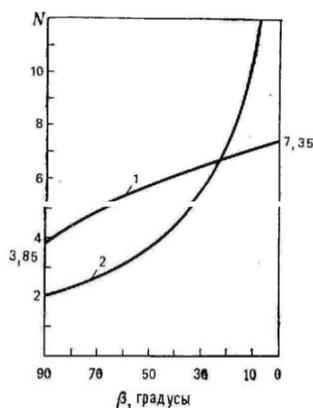


Рис. 2. Значения величин коэффициента устойчивости склона от угла наклона [2]

Защитные мероприятия при наличии оползневых процессов.

Защитные мероприятия на осыпных склонах должны проектироваться так, чтобы противостоять трем видам опасных явлений: 1) внутренней неустойчивости в движении; 2) оползням в осыпях и 3) скатывающимся глыбам.

Что касается устойчивости осыпей, следует отметить, что в естественных условиях они характеризуются состоянием динамического равновесия. Все, что нарушает это равновесие, например, образование, более крутых откосов естественным или искусственным путем или увеличение мощности осыпи, может привести к опасным последствиям.

Динамика оползания осыпи определяется энергетическими условиями склона. Если оползень вызывается камнепадом сверху, то можно рассчитать прирост энергии, допуская, что $3/4$ ее теряется при ударе, и принимая коэффициент трения f равным $0,6—0,9$.

Глыбы, скатывающиеся по склонам, представляют значительную опасность. Коэффициент трения (качения) для таких материалов, по-видимому, близок к тангенсу угла естественного откоса. Установлено, что растительность уменьшает коэффициент трения. Можно ожидать, что распределение скорости скатывающихся камней у подошвы склона останется таким же, как и в верхней части склона.

Защитные мероприятия против перечисленных явлений включают: проводку канав (за пределами склона) для улавливания камней и небольших оползней, создание сооружений стабилизирующих конструкций на склоне и устройства, приводящих к увеличению эффективного коэффициента трения.

Размеры защитных мероприятий должны определяться с таким расчетом, чтобы они выдержали силы, которые могут возникнуть при развитии выше перечисленных явлений.

Признаки наличия оползневого процесса на склоне. Любой естественный и искусственный склон рано или поздно сформирует оползневой процесс. Доподлинно никому неизвестно, как долго оползень будет находиться в покое, и какой процесс приведет к смещению земных масс. Тем не менее, существуют однозначные признаки, указывающие на наличие подвижек земных масс на склоне:

- 1) Присутствие «пьяного леса» (наклонное положение ствола, направленное в сторону склона), разрывы стволов деревьев, наличие больших трещин вдоль ствола;
- 2) Визуально определяемое наличие наклона в положении (заметные отклонения от вертикали) столбов различных коммуникаций;
- 3) Наклонение заборов, стен домов;
- 4) Натяжение (или обрыв) проводов воздушных сетей электроснабжения и телефонной связи;
- 5). Возникновение трещин на стенах зданий, в области отмостки и грунте
- 6) Возникновение грунтовых бугров в нижней зоне склона;
- 7) Повреждение и разрывы подземных коммуникаций;

- 8) Заметное повышение влажности в зоне подошвы склона, образование заболоченных участков, выход под склоном ручьев и пр.
- 9) Формирование оползневых уступов (террас).

Предупреждение оползней.

Причину возникновения оползня надо искать в нарушении условий устойчивости склона. Поэтому мероприятия по предотвращению оползней должны быть направлены, прежде всего, против них. Эти нарушения могут проходить разными путями.

1. Угол склона β постепенно возрастает до предела, когда нарушается устойчивость. Это может быть следствием медленных геодинамических движений, однако чаще всего вызывается эрозией подножия склонов. Этот процесс часто происходит при развитии (и разрушении) речных берегов.

Поэтому мероприятия, препятствующие увеличению крутизны склонов, в частности, предотвращающие подмыв оснований речных берегов путем корректировки русла, являются полезными.

2. Неустойчивость может быть вызвана нагрузкой склона искусственными или естественными отложениями.

3. Причиной неустойчивости может явиться изменение эффективного давления. Любое повышение давления воды в порах или трещинах породы снижает устойчивость склона. Поэтому хороший дренаж всегда повышает устойчивость склона. Он может быть дополнен электроосмосом с помощью установки электродов или просто коротким замыканием различных слоев путем забивки в них проводящих стержней.

Борьба с оползневыми процессами. Большую часть потенциальных оползней можно предотвратить, если своевременно принять меры в начальной стадии их развития. Среди различных мероприятий важное значение имеют контроль и прогнозирование оползневых процессов. Они необходимы для расположения объектов в безопасных местах; своевременного предупреждения о возникновении новых или предотвращении опасной величины и скорости смещения уже существующих оползней; выявления необходимости борьбы с оползнями или возможности эксплуатации объектов без укрепления склона.

Для предотвращения возникновения оползней необходимо: организовать контроль за состоянием склонов и соблюдением охранно-противооползневого режима, а также проводить комплекс противооползневых мероприятий с учетом гидрогеологических условий и характеристики оползневого участка.

Запрет на подрез, подсыпку, вырубку леса и кустарников, строительство на склоне, запрет на сброс воды в зоне расположения склона; не допущение выполнения подрывных работ.

Мероприятия по устранению разных воздействий, приводящих к возникновению оползней:

- устройство дренажей для отвода подземных вод и понижения их уровня;
- укрепление берегов рек и морей;
- посадка зеленых насаждений на оползневых склонах.

Мероприятия, направленные на сдерживания оползня:

- установка сдерживающих свай в тело оползневого массива;
- бурение скважин в области подошвы склона (приводят к осушению и снижению уровня грунтовых вод, что часто стабилизирует склон).

Практическая часть

Используя алгоритм, представленный в теоретической части проведите оценку вероятности возникновения оползневой процесса и параметров оползневого очага:

- 1) Вес оползневого очага при заданной его мощности δ ;
- 2) Критическую высоту склона при данных углах β и ϕ ;
- 3) Силу сцепления грунта;
- 4) Коэффициент устойчивости склона $N(\beta, \phi)$;
- 5) Величину нормального давления склона σ_n (Па);
- 6) Среднее сопротивление сдвигу (Па);

По завершении работы студент должен составить выводы, охватывающие все фактические материалы, полученные в ходе выполнения работы. Исходные данные для расчетов представлены в табл. 1 и 2. Студент выбирает себе вариант, номер которого соответствует последней цифре зачетной книжки (студенческого билета).

Таблица 1. Варианты заданий для расчета [4]

№	$T, \text{ лет}$	K_{CP}^H	ΔK_{CP}	A_{CP}	A_{max}
1	35	1,26	$4,56 \cdot 10^{-3}$	$2,97 \cdot 10^{-2}$	0,11
2	50	1,27	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	0,13
3	70	1,28	$5,12 \cdot 10^{-3}$	$3,21 \cdot 10^{-2}$	0,10
4	47	1,26	$4,86 \cdot 10^{-3}$	$2,77 \cdot 10^{-2}$	0,11
5	51	1,25	$4,89 \cdot 10^{-3}$	$3,12 \cdot 10^{-2}$	0,12
6	75	1,29	$5,24 \cdot 10^{-3}$	$4,21 \cdot 10^{-2}$	0,10
7	25	1,24	$4,76 \cdot 10^{-3}$	$2,87 \cdot 10^{-2}$	0,11
8	45	1,29	$4,99 \cdot 10^{-3}$	$3,01 \cdot 10^{-2}$	0,12
9	55	1,20	$5,01 \cdot 10^{-3}$	$3,01 \cdot 10^{-2}$	0,13
10	65	1,21	$4,48 \cdot 10^{-3}$	$2,31 \cdot 10^{-2}$	0,12

Пример: Определить вероятное время возникновения оползня в горизонтальных склонах [4].

Исходные данные: прогнозируемый период $T = 50$ лет; значение среднего начального коэффициента устойчивости склона $K_{CP}^H = 1,27$. Сравнительно равномерный подмыв подошвы склона и сопутствующие процессы обуславливают среднее годовое уменьшение коэффициента его устойчивости $\Delta K_{CP} = 5 \cdot 10^{-3}$; среднее годовое отрицательное отклонение коэффициента устойчивости склона в результате колебаний его водонасыщения и перегрузки основания наносами $A_{CP} = 3 \cdot 10^{-2}$.

Максимальное негативное отклонение коэффициента устойчивости склона за 50 лет (соответствующее наиболее неблагоприятному сочетанию факторов в течение года 2%-й обеспеченности) $A_{max} = 0,1$.

Решение:

Наиболее вероятное смещение оползня следует ожидать в период от

$$\frac{1,27 - 0,10 - 1,0}{0,005} \text{ до } \frac{1,27 - 0,03 - 1,0}{0,005}, \text{ т.е. через } 34 \dots 48 \text{ лет.}$$

Следовательно, возведение на этом склоне объекта со сроком амортизации 50 лет и более, требует дополнительного проведения противооползневых мероприятий. Тем не менее, временные (рассчитанные на 10...15 лет) объекты в настоящее время и в ближайшие годы возводить можно.

Таблица 2. Варианты заданий для расчета

№	Тип грунта	ρ , кг/м ³	H , м	δ , м	β , гр.	λ , гр.	ϕ , гр.
1	Песок	2660	150	1	27	15	37
2	Супесь	2695	123	1,5	15	12	22
3	Суглинок	2585	117	2,3	10	5	15
4	Глина	2730	92	4,3	16	8	9
5	Лесс	2685	105	3,1	22	13	20
6	Песок	2665	59	2,7	25	17	39
7	Супесь	2705	87	4,1	19	11	25
8	Суглинок	2720	131	2,1	23	14	21
9	Глина	2745	91	1,7	17	9	16
10	Лесс	2695	64	1,9	24	8	20

Вопросы к практической работе

1. Что такое оползень?
2. Чем оползень опасен для человека и его хозяйственной деятельности?
3. Причины возникновения оползней.
4. Какова классификация оползней по мощности?
5. Как предотвратить оползень?
6. Как провести оценку оползнеопасного периода времени?
7. На каких условиях принимать решение о застройке в оползнеопасной зоне?
8. Признаки возникновения оползня?