

УДК 71

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

МУСТАФИН Р.Ф., АРСЛАНОВ А.А.

Республика Башкортостан, г.Уфа, Россия

Прочность корней древесины на разрыв можно считать равной прочности «надземной» древесины (по крайней мере, мало от нее отличающейся). Учитывая, что расчетное сопротивление древесины II сорта растяжению вдоль волокон согласно СНиП II-25-80 [3] составляет 7кПа, представляется допустимым такую величину принимать и для прочности корневых ответвлений.

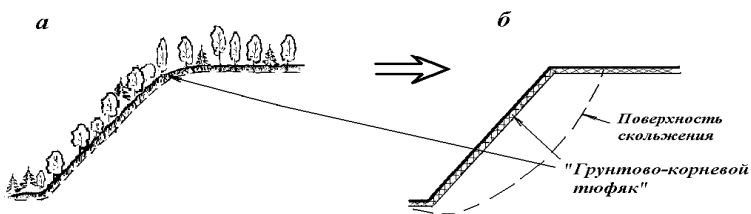


Рис. 1. Схема расположения и мест разрушения «грунтово-корневого туюфа»: а – рассматриваемый склон, б – расчетная схема

Для возникновения в склоне оползневых деформаций поверхность скольжения должна «перерезать» грунтово-корневой слой («туюфак») в двух местах – на гребне склона и у его подошвы, как это показано на рис. 1. На всей остальной части поверхности

скольжения деформации среза грунта должны происходить так же, как и при отсутствии древесно-кустарниковой растительности. В связи с тем, что у подошвы склона часто растительность отсутствует, удерживающий эффект во многих случаях будет сводиться к сопротивлению грунтово-корневого тьюфяка только на гребне склона.

В таблице 1 приводятся сведения о насыщенности корнями верхнего слоя грунта в лесопосадках различных деревьев по данным М.И. Калинина [1, 2].

Не противоречат этим данным и принятые в лесоводстве нормы определения промышленных запасов корневой древесины в процентах от «стволовой» древесины (объема стволов деревьев) приведенные в таблице. 2. Такие данные могут использоваться и для оценки площади пересекаемых поверхностью скольжения корневых ответвлений.

Большинство существующих методов расчета устойчивости склонов основано на разбиении оползневого массива на блоки и рассмотрении статической устойчивости этих блоков. При наличии грунтово-корневого тьюфяка разбиение на блоки должно производиться таким образом, чтобы верхний блок (а иногда и самый нижний блок у подошвы) относились к грунтово-корневому тьюфяку. Именно в этих блоках и следует учитывать наличие корней.

Таблица 1. Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя в сосновых насаждениях (на 1 га) по данным [1]

Возраст годы	Число деревьев, шт.	Среднее рас- стояние между деревьями, м	Суммар- ный объем корней, м ³	Содержание (объем- ное) корней в верх- нем слое грунта тол- щиной 2,5м, %
<i>Сосновые насаждения</i>				
14	4426	1,5	19,2	0,07
23	2850	1,9	21,2	0,085
41	1480	2,6	26,8	0,107
90	216	6,8	68,2	0,272
<i>Сосново-дубовые насаждения</i>				
6	9300	1,0	1,5	0,006
13	7440	1,2	15,2	0,061
90	242	6,4	55,3	0,221
<i>Елово-пихтовые насаждения</i>				
18	5640	1,3	9,4	0,038

Таблица 2 Нормативы объемов корневой древесины относительно объемов стволовой древесины на 1 га древостоев [1]

Возраст, лет	Средний диаметр, см	Объем корневой древесины в процентах от объема стволов, %	
		всего	промышленные запасы
14	8,5	30,2	27,8
23	12,0	16,0	14,6
40	18,0	14,7	12,7
90	37,0	14,3	12,6

Удерживающий эффект корневой системы можно учитывать либо путем ввода дополнительной удерживающей силы (при рассмотрении равновесия соответствующего блока), либо путем искусственного увеличения прочности грунта в грунтово-корневом слое путем увеличения удельного сцепления «с», т.е. той части сопротивления грунта срезу, который не зависит от нормальных напряжений. При использовании компьютерных программ последний подход представляется более удобным, так как он позволяет в программу никаких корректировок не вносить, а корректировать лишь вводимые исходные данные. В таких случаях при расчетах устойчивости склона удельное сцепление (в пределах грунтово-корневого слоя) должно приниматься в виде увеличенной величины $c_{г-к}$, равной

$$c_{г-к} = c_{станд} + c_{доп}, \quad (1)$$

где $c_{станд}$ – удельное сцепление, определенное стандартным методом при инженерно-геологических изысканиях (без учета корней), $c_{доп}$ – дополнительная часть удельного сцепления, эквивалентная сопротивляемости корней.

Произведенные расчеты, применительно к наиболее типичным углам наклона поверхности скольжения позволили установить следующие приближенные значения приращений удельных сцеплений $c_{доп}$:

при степени насыщенности слоя корнями 0,05%	$c_{доп} = 3,5 \text{ кПа}$,
то же	0,10% $c_{доп} = 7,0 \text{ кПа}$,
— » —	0,15% $c_{доп} = 10,2 \text{ кПа}$,
— » —	0,20% $c_{доп} = 14,0 \text{ кПа}$,
— » —	0,25% $c_{доп} = 17,5 \text{ кПа}$,

сущность предлагаемого подхода может быть проиллюстрирована на следующем примере.

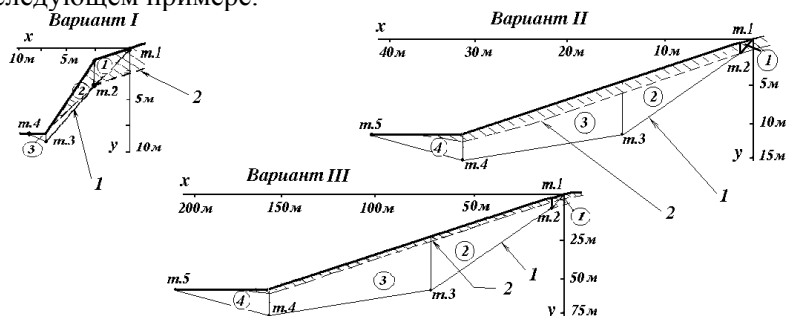


Рис. 2. Схемы расчета устойчивости склонов к примерам:

1 – линия скольжения, 2 – нижняя граница грунтово-корневого слоя; $m1$, $m2$, $m3$, $m4$ – номера точек, принятые в расчете; цифры в кружочках – номера блоков (элементов), принятые в расчете

На рис. 2 представлены схемы трех склонов (откосов) различных размеров. Во всех трех случаях склоны слагаются литологически однородными грунтами – аллювиальными глинами мягкопластичной консистенции.

Вариант I представляет склон малой величины, в котором на 1 м ширины (в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа) приходится примерно $7 м^3$ сползающего грунта. Вариант II представляет склон несколько больших размеров: на 1 м ширины оползневого тела приходится около $200 м^3$ сползающего грунта. В обоих вариантах ожидаемые оползни по своей масштабности должны относиться к «небольшим». Вариант III представляет значительно больший склон, в котором возможны оползни «средние» (десятки тысяч $м^3$ сползающего грунта) или даже к «большие» (сотни тысяч $м^3$). На 1 м ширины оползневого тела приходится около $3500 м^3$ сползающего грунта, т.е. при ширине в несколько десятков метров оползень вполне может иметь объем, исчисляемый не только десятками, но и сотнями тысяч $м^3$.

Считаем, что грунт на всю глубину оползня однороден и имеет следующие характеристики:

- удельный вес $18 кН/м^3$,
- угол внутреннего трения $\varphi = 10^0$,

- удельное сцепление $c = 7 \text{ кПа}$.

Толщину грунтово-корневого слоя считаем равной 2,5 м, степень насыщенности его корнями принимаем 0,1%. На рис. 2 расположение грунтово-корневого слоя показано штриховкой. Считаем, что поверхность скольжения пересекает грунтово-корневой слой только один раз (сверху), т.е. у подошвы склона растительность отсутствует.

Расчет производим методом, основанным на принятии линии скольжения в виде ломаной. Оползневое тело разбиваем на блоки (элементы). В варианте I делаем разбивку на три блока, в вариантах II и III – на четыре, как это показано на рис. 2. Верхний блок во всех вариантах располагается в грунтово-корневом слое. Так как для варианта III коэффициент устойчивости получается нетипично низким, выполняем для убедительности дополнительный расчет для более прочного грунта с характеристиками:

- удельный вес $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$,
- угол внутреннего трения $\varphi = 16^\circ$,
- удельное сцепление $c = 14 \text{ кПа}$.

Во всех вариантах производим расчеты для двух случаев:

- грунтово-корневой слой отсутствует (не принимается во внимание),
- грунтово-корневой слой присутствует и покрывает гребень и поверхность склона до его подошвы, но до конца «языка» оползня он не доходит.

Величину удельного сцепления в грунтово-корневом слое (во всех вариантах это блок №1) принимаем повышенной, увеличивая ее в соответствии с формулой (1). Как указывалось выше, при степени насыщенности корнями грунтово-корневого слоя 0,1 дополнительная часть удельного сцепления может быть принята равной $c_{дон} = 0,7 \text{ кПа}$. В данном случае величина $c_{станд}$ должна быть принята (в основных расчетах) 7 кПа , а для дополнительного расчета в III варианте 14 кПа , «эквивалентное» удельное сцепление $c_{г-к}$ в грунтово-корневом слое будет равно:

$$c_{г-к} = c_{станд} + c_{дон} = 7 + 7 = 14 \text{ кПа}$$

для дополнительного расчета в варианте III:

$$c_{г-к} = 14 + 7 = 21 \text{ кПа}$$

Остальные характеристики грунтово-корневого слоя (γ , φ) оставляем такими же, как и в нижележащем грунте.

Результаты расчета представлены в таблице 3. В последнем столбце этой таблицы приводится процент повышения коэффициента устойчивости склона k_{st} , при учете сопротивляемости грунтово-корневого слоя по сравнению с этим же коэффициентом k_{st} , рассчитанным без учета этого слоя.

Таблица 3 Результаты расчетов устойчивости склонов при наличии или отсутствии деревьев

№ варианта	Площадь продольного сечения оползневого тела, m^2	Характеристики грунта	Толщина грунтово-корневого слоя, m	Величина пригрузки гребня склона, $кПа$	Коэффициент запаса устойчивости, k_{st}	Процент повышения k_{st}
I	8	$\varphi = 10^0, c = 7 кПа,$ $\gamma = 18 кН/м^3$	0	0	0,956	—
	— « —		2,5	— « —	1,232	29%
	— « —		2,5	20	0,97	—
II	196	— « —	0	0	1,089	—
	— « —		2,5	— « —	1,126	4%
III	3484	$\varphi = 16^0, c = 14 кПа,$ $\gamma = 18 кН/м^3$ — « —	0	— « —	0,591	—
	— « —		2,5	— « —	0,593	0,3%
	— « —		0	— « —	0,986	—
	— « —		2,5	— « —	0,987	0,1%

Как видно из таблицы 3, коэффициент запаса устойчивости склона k_{st} , при наличии грунтово-корневого слоя может оказываться значительно выше, чем при отсутствии такого слоя. При этом влияние грунтово-корневого слоя на повышение k_{st} , зависит от размеров оползня. У больших склонов доля участка, на котором поверхность скольжения пересекает грунтово-корневой слой, составляет, как правило, очень малую величину в общей площади этой поверхности скольжения. В то же время у небольших склонов эта доля может быть достаточно большой. По этой причине в варианте I повышение коэффициента запаса устойчивости составило 29%, а в варианте III оно оказывалось равным 0,3% и даже 0,1% при более прочных грунтах.

Очевидно, что при наличии растительности и у подошвы склона повышение коэффициента устойчивости было бы бóльшим.

В целом проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Благоприятное влияние древесно-кустарниковой растительности на устойчивость склонов может оцениваться количественно, для чего могут использоваться существующие методы расчета с значительными поправками.

Удерживающее действие древесно-кустарниковой растительности возникает благодаря образованию на поверхности склона и на его гребне «грунтово-корневого тюфяка» – слоя толщиной 2...2,5м [4], состоящего из грунта, пронизанного переплетающимися корневыми ответвлениями и обладающего повышенной сопротивляемостью срезу.

Удерживающее действие древесно-кустарниковой растительности проявляется наиболее заметно для склонов небольшой высоты (до 10...11м), где коэффициент запаса устойчивости может повышаться, по-видимому, до 20...30% [5]. Для больших склонов, высота которых исчисляется десятками метров, такое повышение будет пренебрежимо малым (менее 0,5%), а положительное влияние растительности ограничится лишь уменьшением эрозии поверхности и обеспечении более благоприятного гидрогеологического режима.

Дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлении уточнения методики оценки процентного содержания корней в грунтово-корневом слое, уточнения толщины этого слоя, уточнения характера разрушения корней и особенно в области экспериментальной проверки достоверности предлагаемых методов расчета.

Работа в данном направлении продолжается. Результаты исследования будут представлены в последующих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Калинин, М.И. Корневедение / М.И. Калинин. – М.: Экология, 1991. –173 с.
2. Косоуров, Ю.Ф. Мелиоративно-хозяйственное освоение эродированных овражно-балочных и крутосклонных земель в Башкирии. – Уфа: Минлесхоз РБ, 1996. – 168 с.