

## А.А. АРСЛАНОВ

аспирант кафедры природообустройства, строительства и гидравлики  
Башкирский государственный аграрный университет

## Р.Ф. МУСТАФИН

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой природообустройства, строительства и гидравлики  
Башкирский государственный аграрный университет

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЧЕТУ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

GUIDANCE ON ACCOUNTING FOR TREES AND SHRUBS IN THE CALCULATION OF SLOPE STABILITY

*Предлагается методика определения доли корней в объеме грунтового слоя как основа для расчета устойчивости склонов, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, при проектно-изыскательных работах.*

**Ключевые слова:** *грунтовой-корневой слой, древесно-кустарниковая растительность, устойчивость склонов, объем корневой древесины, противооползневые мероприятия.*

Обеспечение устойчивости склонов и откосов является одной из наиболее типичных задач, с которыми сталкивается специалист по природообустройству, ведущий работы в условиях сложного рельефа. Несмотря на то, что проблема устойчивости откосов изучается со времен Ш. Кулона (1773 г.), существующие методы расчетов в этой области пока имеют довольно ограниченные возможности и плохо приспособлены к учету многих факторов. Влияние некоторых из таких факторов плохо поддается схематизации и зачастую оценивается лишь интуитивно на основе накопленного инженерного опыта. В наибольшей мере это относится к учету древесно-кустарниковой растительности на изучаемых склонах, хотя сама способность растущих на склонах деревьев и кустарника снижать опасность оползней является хорошо известным фактом.

Практически во всех регионах нашей страны можно найти примеры, когда уничтожение растительности приводило к обрушению склонов, которые до этого многие десятилетия сохраняли устойчивость. Напротив, наличие растительности в ряде случаев удерживало от обрушения склоны, которые по всем расчетам должны были бы обрушиться. В нормах по инженерной защите территорий СНиП 22-02-2003 [1] агролесомелиорация рассматривается как одно из важнейших противооползневых меро-

*The authors suggest a method for defining the share of roots in the volume of ground layer as a basis for calculating the stability of slopes covered with tree-bush vegetation.*

**Keywords:** *ground-root layer, tree-bush vegetation, stability of slopes, volume of rooted wood.*

приятий. Аналогичное отношение к растительности на склонах характерно и для зарубежных норм. Тем не менее ни в нашей стране, ни за рубежом никаких *количественных критериев* для оценки влияния древесно-кустарниковой растительности на устойчивость склонов не установлено. По этой причине и в отечественных, и в зарубежных нормах наличие или отсутствие древесной растительности при расчетах устойчивости склонов вообще не учитывается. Посадка деревьев на склонах обычно рассматривается как мероприятие, обеспечивающее дополнительный «запас устойчивости» этих склонов без какой-либо количественной оценки этого «запаса». Тем не менее исследования данного вопроса, проводившиеся в Башкирском государственном аграрном университете (БГАУ) совместно с институтом БашНИИстрой, показали, что количественный учет растительности при оценке устойчивости склонов представляется вполне разрешимой задачей.

Настоящие рекомендации являются обобщением упомянутых результатов исследований. В них излагаются методы количественного учета древесно-кустарниковой растительности, которые можно использовать при существующем уровне проектно-изыскательских работ (т.е. при существующем изыскательском оборудовании, существующих методах расчета, применяемых программных комплексах и

т.д.). Очевидно, что подобная проблема не может быть сразу решена применительно ко всему диапазону природных условий нашей страны, поэтому желательна ее корректировка непосредственно на практике в различных регионах.

Настоящие рекомендации предназначены для специалистов изыскательских и проектных организаций, ведущих работы, связанные со строительным освоением территорий со сложным рельефом, на которых приходится учитывать опасность склоновых (в первую очередь оползневых) процессов. При этом инженерно-геологические изыскания и проектирование противооползневых мероприятий должны выполняться в соответствии с действующими нормативными документами с выполнением дополнительных операций, излагаемых в настоящих рекомендациях.

Областью применения настоящих рекомендаций являются оценка устойчивости склонов с древесно-кустарниковой растительностью, сложенных глинистыми или песчаными грунтами, как литологически однородными, так и имеющими инородные включения (прослойки) – скальные или органические (торфы, илы).

Устойчивость склонов, на которых растут деревья или кустарники, повышается по следующим причинам:

- растительность препятствует размыву поверхности склона в период снеготаяния, обеспечивает равномерное перемещение талых вод, равномерное впитывание их в грунт;
- стволы деревьев способны удерживать сползающие массы грунта при покровных оползнях небольшой глубины (до 1,5...2 м);
- корневая система деревьев способна оказывать армирующее действие на оползневой склон.

Армирующее действие корней деревьев определяется строением их корневой системы, которая (в зависимости от породы деревьев и почвенно-грунтовых условий) распространяется в большинстве случаев на глубину 1,5...2,0 м, но в плане охватывает большую площадь, в 3...4 раза превосходящую площадь кроны.

Наличие корневой системы обуславливает формирование грунтово-корневого слоя («тюфяка») толщиной 1,5...2 м, покрывающего поверхность склона, его гребень и нижнюю часть (подножье или «подошву»). Поверхность скольжения должна в общем случае перерезать грунтово-корневой слой в двух местах: на гребне и у подножия склона.

Корневая система древесно-кустарниковой растительности при оползневых процессах создает дополнительную удерживающую силу, величина которой определяется насыщенностью корнями верхних слоев 1,5...2 м (грунтово-корневого слоя). Эту насыщенность (и соответственно сопротивляемость сдвигающим нагрузкам) можно приблизительно оценивать по результатам обследования надземной части растительности на склоне.

Для выполнения расчетов устойчивости склонов, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, в процессе инженерных изысканий должна быть получена следующая дополнительная информация:

- наличие деревьев или кустарника в зоне гребня и в нижней части оползневого склона;
- густота стволов деревьев в зоне предполагаемого оползня: среднее количество деревьев на 1000 м<sup>2</sup>;
- средний диаметр деревьев в зоне предполагаемого оползня;
- преобладающая порода деревьев в зоне предполагаемого оползня.

При сборе сведений о ранее происходивших оползнях в данной местности, следует по возможности выяснить, какая растительность была на склонах в момент оползня.

Армирующее действие корневой системы древесно-кустарниковой растительности учитывается путем фиктивного увеличения прочности верхнего слоя грунта («грунтово-корневого тюфяка»), покрывающего склон (рис. 1). Толщину этого слоя рекомендуется принимать равной 1,5...2,5 м, увеличение прочности обеспечивать принятием повышенных значений удельного сцепления грунта «с» в зависимости от степени насыщенности корнями этого слоя.

Оценка устойчивости склона с древесно-кустарниковой растительностью может производиться любым традиционным методом расчета (методами теории предельного равновесия, методом круглоцилиндрических поверхностей, ломаных поверхностей и т.д.) без каких-либо изменений методики (алгоритма) таких расчетов, так как армирующее действие корней отражается лишь на вводимых исходных данных.

Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями определяется в зависимости от результатов обследования надземной части растительности по табл. 1-5.

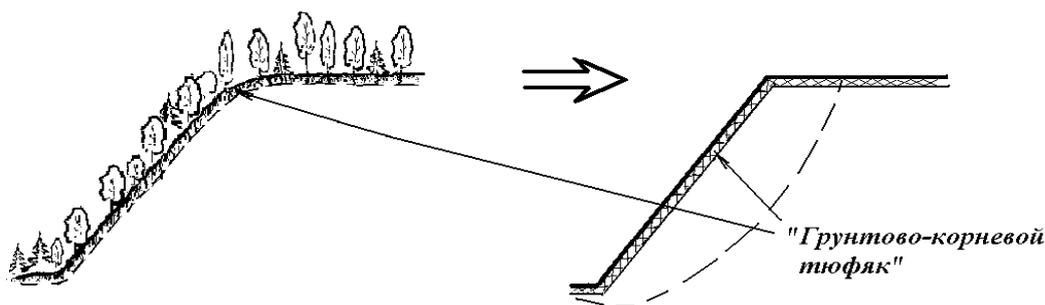


Рис. 1. Схема расположения «грунтово-корневого тьюфак»

В расчетах устойчивости склона удельное сцепление (в пределах грунтово-корневого слоя) принимается в виде эквивалентной величины  $c_{\varepsilon-к}$ :

$$c_{\varepsilon-к} = c_{станд} + c_{дон}$$

где  $c_{станд}$  – удельное сцепление, определенное стандартным методом при инженерно-геологических изысканиях (без учета корней);

$c_{дон}$  – дополнительная часть удельного сцепления, определяемая в зависимости от установленной степени насыщенности корнями.

Для толщины грунтово-корневого слоя 2 м могут приниматься следующие приращения удельного сцепления:

при степени насыщенности слоя корнями

	0,05 %	$c_{дон} = 3,5 \text{ кПа}$ ,
то же	0,10 %	$c_{дон} = 7,0 \text{ кПа}$ ,
— » —	0,15 %	$c_{дон} = 10,2 \text{ кПа}$ ,
— » —	0,20 %	$c_{дон} = 14,0 \text{ кПа}$ ,
— » —	0,25 %	$c_{дон} = 17,5 \text{ кПа}$ .

Исходные данные для определения степени насыщенности грунтово-корневого слоя корнями показаны в табл. 1-5<sup>1</sup>.

Таблица 1

Распределение фитомассы частей деревьев в сосново-дубовых и елово-пихтовых насаждениях

Возраст, лет	Порода	Число деревьев на 1000 м <sup>2</sup>	Средние показатели		Всего фитомассы в сухом виде, т / 1000 м <sup>2</sup>	В том числе на 1000 м <sup>2</sup>	
			диаметр ствола, см	высота, м		стволов, т/%	корней, т/%
6	Дуб	502	1,7	0,93	0,091	<u>0,023</u> 25,3	<u>0,040</u> 43,9
– «–	Сосна	428	4,1	1,98	0,094	<u>0,26</u> 27,7	<u>0,08</u> 8,5
	<b>Всего</b>	930			0,103	<u>0,28</u> 27,2	<u>0,120</u> 11,7
13	Дуб	404	4,7	5,2	1,26	<u>0,61</u> 48,6	<u>0,46</u> 36,6
– «–	Сосна	340	8,9	7,95	5,03	<u>3,04</u> 60,4	<u>0,75</u> 15,0
	<b>Всего</b>	744			6,29	<u>3,65</u> 58,0	<u>1,22</u> 19,4
90	Дуб	2	31,1	25,0	5,29	<u>3,87</u> 73,2	<u>0,74</u> 13,9
– «–	Сосна	22	42,3	28,4	28,4	<u>22,07</u> 77,7	<u>3,68</u> 13,0
	<b>Всего</b>	24			33,69	<u>25,94</u> 77,0	<u>4,43</u> 13,1
18	Ель	82	6,5	5,3	0,48	<u>0,19</u> 39,6	<u>0,08</u> 16,7
	Пихта	482	6,5	5,4	3,28	1,58 48,2	<u>0,48</u> 14,6
	<b>Всего</b>	564			3,76	<u>1,77</u> 47,1	<u>0,75</u> 15,0

<sup>1</sup> Данные приняты по монографиям: Калинин М.И. Формирование корневой системы деревьев. М.: Лесная промышленность, 1983. 152 с., Калинин М.И. Корневедение. М.: Экология, 1991. 173 с.

Таблица 2  
Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя в сосновых насаждениях (на 1000 м<sup>2</sup>)

Возраст, лет	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м <sup>3</sup>	Содержание (объемное) корней в верхнем слое грунта толщиной 2,5 м, %
14	442	1,5	1,92	0,07
23	285	1,9	2,12	0,085
41	148	2,6	2,68	0,107
90	22	6,8	6,82	0,272

Таблица 3  
Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя в сосново-дубовых насаждениях (на 1000 м<sup>2</sup>)

Возраст, годы	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м <sup>3</sup>	Содержание (объемное) корней в верхнем слое грунта толщиной 2,5 м, %
6	930	1,0	0,15	0,006
13	744	1,2	1,52	0,061
90	24	6,4	5,53	0,221

Таблица 4  
Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя в елово-пихтовых насаждениях (на 1000 м<sup>2</sup>)

Возраст, годы	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м <sup>3</sup>	Содержание (объемное) корней в верхнем слое грунта толщиной 2,5 м, %
18	564	1,3	0,94	0,038

Таблица 5  
Дополнительные удерживающие силы  $P_{уд}$  в грунтово-корневом слое (наиболее типичные случаи)

Толщина грунтово-корневого слоя, м	Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями, %	Площадь пересечения корней с поверхностью скольжения, см <sup>2</sup>			Дополнительная удерживающая сила, кН		
		$\beta=0$	$\beta=45^0$	$\beta=60^0$	$\beta=0$	$\beta=45^0$	$\beta=60^0$
1,5	0,05	7,5	10,5	15,0	5,2	7,4	10,4
	0,1	15,0	21,2	30,0	10,2	14,3	20,4
	0,15	22,5	31,7	45,0	15,8	22,0	31,6
	0,20	30,0	42,3	60,0	21,0	29,4	42,0
	0,25	37,5	52,9	75,0	26,2	36,8	52,4
2	0,05	10,0	14,0	20,0	7,0	9,8	14,0
	0,1	20,0	20,0	40,0	14,0	19,6	28,0
	0,15	30,0	30,0	60,0	21,0	29,4	42,0
	0,20	40,0	39,0	80,0	28,0	39,2	56,0
	0,25	50,0	49,0	100,0	35,0	49,0	70,0
2,5	0,05	12,5	17,6	25,0	8,8	12,4	17,6
	0,1	25,0	35,2	50,0	17,5	24,6	35,0
	0,15	37,5	52,8	75,0	26,5	37,4	53,0
	0,20	50,0	70,5	100,0	35,0	49,3	70,0
	0,25	62,5	88,1	124,0	43,7	61	87,4
3	0,05	15,0	21,0	30,0	10,2	14,8	20,8
	0,1	30,0	42,4	60,0	20,4	28,6	40,8
	0,15	44,0	63,4	90,0	31,6	44,0	63,2
	0,20	60,0	84,6	120,0	42,0	58,8	84,0
	0,25	72,0	105,8	150,0	52,4	73,6	104,8

При установленном значении удерживающей силы  $P_{уд}$  дополнительную часть удельного сцепления следует определять по формуле

$$c_{дон} = \frac{P_{уд}}{l_i},$$

где  $P_{уд}$  – удерживающая сила, образующаяся в грунтово-корневом слое (в  $i$ -м блоке);

$l_i$  – длина основания рассматриваемого блока (рис. 2).

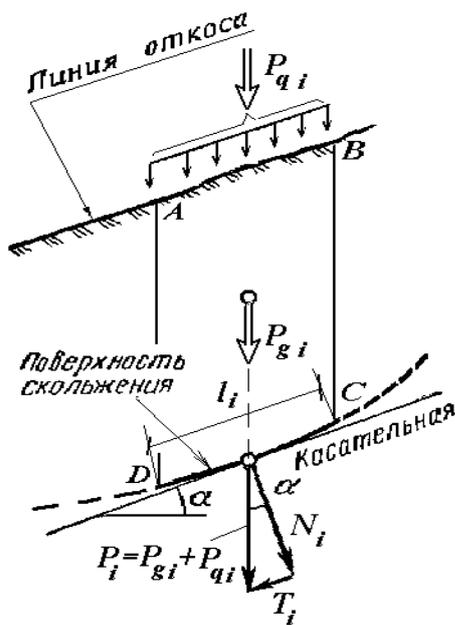


Рис. 2. Схема действующих сил в пределах каждого блока:  
 $P_g$  – собственный вес грунта;  $P_q$  – внешняя нагрузка

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арсланов, А.А., Инновации в оценке устойчивости склонов, покрытых древесной растительностью [Текст] / А.А. Арсланов, И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин // Межд. форум по проблемам науки, техники и образования «Ш тысячелетие - новый мир». - М.: Изд-во «Академия наук о Земле», 2010.
2. Калинин, М.И. Формирование корневой системы деревьев [Текст] / М.И. Калинин. - М.: Лесная промышленность, 1983.
3. Калинин, М.И. Корневедение [Текст] / М.И. Калинин. - М: Экология, 1991.
4. Арсланов, А.А. Оценка степени насыщенности грунтового слоя корнями [Текст] / А.А. Арсланов, И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин // Вестник РАСХН. - М., 2012.

© Арсланов А.А., Мустафин Р.Ф., 2013