

УДК 630:631.6.02

Роль древесной растительности при оценке устойчивости склонов

А. А. Арсланов – Башкирский государственный аграрный университет, аспирант кафедры природообустройства, строительства и гидравлики, Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Р. Ф. Мустафин – Башкирский государственный аграрный университет, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой природообустройства, строительства и гидравлики, Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, azat-arсланov@mail.ru

В статье изложены методы количественной оценки учёта влияния древесной растительности на устойчивость склонов, которые можно использовать при проектно-изыскательских работах. Приводятся научное обоснование эколого-эрозионной устойчивости склонов и результаты апробации методики расчета удельного сцепления грунта корнями древесной растительности в корнеобитаемом слое толщиной $2,0 \pm 0,5$ м.

Ключевые слова: *грунтово-корневой тьюфак, древесная растительность, удельное сцепление грунта, расчёт укрепления склонов.*

Для ссылок:

Арсланов, А. А. Роль древесной растительности при оценке устойчивости склонов [Электронный ресурс] / А. А. Арсланов, Р. Ф. Мустафин // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2016. – № 2. – С. 58–64. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Обеспечение устойчивости склонов и откосов – типичная задача, с которой сталкиваются специалисты по природообустройству, ведущие работы в условиях сложного рельефа. Проблема устойчивости откосов имеет тысячелетнюю историю. Однако существующие методы расчетов не всегда учитывают многие важные факторы. Влияние некоторых из них зачастую оценивается только на основе накопленного инженерного опыта. В наибольшей мере это относится к учету влияния древесной растительности на эрозионную устойчивость склонов. И это несмотря на то, что широко известна способность растущих на склонах деревьев и кустарников снижать опасность возникновения оползней [1–6].

Практически во всех регионах нашей страны можно найти примеры, когда уничтожение растительности приводило к обрушению склонов, которые до этого многие десятилетия сохраняли устойчивость. Агроресомелиоративные мероприятия и посадка на склонах древесно-кустарниковой растительности рассматриваются как одно из важнейших противооползневых мероприятий [4, 5, 7]. Такого же мнения придерживаются и ученые зарубежных стран. Однако ни в нашей стране, ни за рубежом количественные критерии оценки влияния древесно-кустарниковой растительности на устойчивость склонов не установлены.

В настоящее время при определении устойчивости склонов наличие или отсутствие древесно-кустарниковой растительности в инженерных расчетах не учитывается. Посадка деревьев на склонах обычно рассматривается как природоохранное (экологическое) мероприятие без какой-либо количественной оценки. Исследования данного вопроса, проводившиеся в Башкирском государственном аграрном университете (БГАУ) совместно с институтом БашНИИстрой, показали, что при оценке устойчивости склонов количественная оценка учета древесно-кустарниковой растительности представляется вполне разрешимой задачей [7–10].

Нами разработаны методы количественной оценки учета влияния древесной растительности

на устойчивость склонов, которые можно использовать при существующем уровне проектно-изыскательских работ, изыскательском оборудовании, методах расчета, программных комплексах. Результаты исследований апробированы при проведении изыскательских работ объекта строительства «Санно-бобслейная трасса» в Сочи и анализе состояния дорожного полотна в Уфе.

Рассмотрим методику определения армирующего действия корневых систем деревьев. Грунтово-корневой тьюфак, покрывающий склон, следует рассматривать как отдельный инженерно-геологический элемент.

Толщину грунтово-корневого слоя принимаем в пределах $2,0 \pm 0,5$ м. В случае преобладания древесных пород с неглубокой корневой системой (береза, липа, пихта, ель обыкновенная и др.) толщину следует принимать равной 1,5 м, а при преобладании пород с глубокой корневой системой (дуб, сосна обыкновенная, ель сибирская и др.) – 2,5 м.

Увеличение прочности грунта (по сравнению с прочностью грунта, не содержащего корней) устанавливается путем принятия повышенных значений удельного сцепления грунта (c) [7–9].

Расчетную степень насыщенности грунта корнями (K) устанавливают по результатам обследования надземной части растительности и определяют по формуле:

$$K = K_{\text{оп}}/\gamma_t,$$

где:

$K_{\text{оп}}$ – степень насыщенности грунта корнями, определенная путем визуальной оценки в момент изысканий;

γ_t – коэффициент надежности, учитывающий густоту размещения деревьев, определяемую по среднему возрасту древесной растительности: до 30 лет – $\gamma_t = 1,0$; 60 лет – $\gamma_t = 1,2$; более 60 лет – $\gamma_t = 1,4$.

Дополнительная удерживающая сила, образующаяся в грунтово-корневом слое различной толщины, отобрана в табл. 1.

В расчетах устойчивости склона удельное сцепление (в пределах грунтово-корневого

Таблица 1. Дополнительная удерживающая сила $P_{уд}$ в грунтово-корневом слое [7–9]

| Толщина грунтово-корневого слоя, м | Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями, % | Площадь пересечения корней с поверхностью скольжения, см ² | | | Дополнительная удерживающая сила, кН | | |
|------------------------------------|---|---|------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|------------------|
| | | $\beta=0^\circ$ | $\beta=45^\circ$ | $\beta=60^\circ$ | $\beta=0^\circ$ | $\beta=45^\circ$ | $\beta=60^\circ$ |
| 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 | 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 | 61,0 | 87,4 |
| 3,0 | 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 |

Примечание. β – угол между корнем дерева и поверхностью скольжения почвогрунта склона.

слоя) принимается в виде эквивалентной величины $c_{г-к}$:

$$c_{г-к} = c_{станд} + c_{доп}$$

где:

$c_{станд}$ – удельное сцепление, определенное стандартным методом при инженерно-геологических изысканиях без учёта корней, кПа;

$c_{доп}$ – дополнительная часть удельного сцепления, определяемая по установленной степени насыщенности корнями, кПа.

Пример расчета удельного сцепления для толщины грунтово-корневого слоя 2 м:

| | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Степень насыщенности слоя корнями, % | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,50 | 1,00 |
| Дополнительная часть удельного сцепления, $c_{доп}$, кПа | 3,5 | 7,0 | 10,2 | 14,0 | 17,5 | 35,0 | 70,0 |

Оценка устойчивости склона с древесно-кустарниковой растительностью может проводиться любым традиционным методом расчета (методами теории предельного равновесия, методом круглоцилиндрических поверхностей, ломаных поверхностей и т. д.) без каких-либо изменений алгоритма, т. е. при установленном значении удерживающей силы ($P_{уд}$) дополнительную часть удельного сцепления ($c_{доп}$) следует определять по формуле:

$$c_{доп} = P_{уд}/l_1,$$

где:

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

l_1 – длина основания рассматриваемого блока, м.

При апробации методики расчета устойчивости склона с учетом древесной растительности нами получены данные по распределению фито-

массы в сосново-дубовых и елово-пихтовых насаждениях (табл. 2) и данные о среднем уровне насыщенности корнями грунтово-корневого слоя в сосновых, сосново-дубовых и елово-пихтовых насаждениях (табл. 3).

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

- ✓ наличие деревьев или кустарников в зоне гребня и в нижней части оползневого склона;
- ✓ густота деревьев в зоне предполагаемого оползня – среднее количество деревьев на 1 га;
- ✓ средний диаметр стволов деревьев в зоне предполагаемого оползня;
- ✓ преобладающая древесная порода в зоне предполагаемого оползня.

Апробация методики показала, что устойчивость склонов, на которых растут деревья

Таблица 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ В СОСНОВО-ДУБОВЫХ И ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

| ВОЗРАСТ, ЛЕТ | ПОРОДА | ЧИСЛО ДЕРЕВЬЕВ, ШТ./ ГА | СРЕДНИЕ | | ФИТОМАССА В СУХОМ ВИДЕ | | |
|--------------|--------|-------------------------|--------------------|-----------|------------------------|--------------|-------------|
| | | | ДИАМЕТР СТВОЛА, СМ | ВЫСОТА, М | ВСЕГО, Т/ГА | В ТОМ ЧИСЛЕ* | |
| | | | | | | СТВОЛОВ | КОРНЕЙ |
| 6 | Дуб | 5 020 | 1,7 | 0,93 | 0,91 | 0,23 / 25,3 | 0,40 / 43,9 |
| | Сосна | 4 280 | 4,1 | 1,98 | 9,4 | 2,6 / 27,7 | 0,8 / 8,5 |
| | Итого | 9 300 | - | - | 10,3 | 2,8 / 27,2 | 1,2 / 11,7 |
| 13 | Дуб | 4 040 | 4,7 | 5,2 | 126 | 6,1 / 48,6 | 4,6 / 36,6 |
| | Сосна | 3 400 | 8,9 | 7,95 | 503 | 30,4 / 60,4 | 7,5 / 15,0 |
| | Итого | 7 440 | - | - | 629 | 36,5 / 58,0 | 12,2 / 19,4 |
| 90 | Дуб | 20 | 31,1 | 25,0 | 52,9 | 38,7 / 73,2 | 7,4 / 13,9 |
| | Сосна | 220 | 42,3 | 28,4 | 284 | 220,7 / 77,7 | 36,8 / 13,0 |
| | Итого | 240 | - | - | 336,9 | 259,4 / 77,0 | 44,3 / 13,1 |
| 18 | Ель | 820 | 6,5 | 5,3 | 4,8 | 1,9 / 39,6 | 0,8 / 16,7 |
| | Пихта | 4 820 | 6,5 | 5,4 | 32,8 | 15,8 / 48,2 | 4,8 / 14,6 |
| | Итого | 5 640 | - | - | 37,6 | 17,7 / 47,1 | 7,5 / 15,0 |

* Числитель – т/га; знаменатель – %

Таблица 3. СРЕДНИЙ УРОВЕНЬ НАСЫЩЕННОСТИ КОРНЯМИ ГРУНТОВО-КОРНЕВОГО СЛОЯ [7, 8]

| ВОЗРАСТ, ЛЕТ | ЧИСЛО ДЕРЕВЬЕВ, ШТ./ГА | СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ДЕРЕВЬЯМИ, М | СУММАРНЫЙ ОБЪЕМ КОРНЕЙ, М ³ /ГА | СОДЕРЖАНИЕ (ОБЪЕМНОЕ) КОРНЕЙ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ГРУНТА ТОЛЩИНОЙ 2,5 М, % |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|--|
| <i>Сосновые насаждения</i> | | | | |
| 14 | 4420 | 1,5 | 19,2 | 0,070 |
| 23 | 2850 | 1,9 | 21,2 | 0,085 |
| 41 | 1480 | 2,6 | 26,8 | 0,107 |
| 90 | 220 | 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 | 240 | 6,4 | 55,3 | 0,221 |
| <i>Елово-пихтовые насаждения</i> | | | | |
| 18 | 5640 | 1,3 | 9,4 | 0,038 |

или кустарники, повышается по следующим причинам:

- ✓ растительность препятствует размыву поверхности склона в период снеготаяния, обеспечивает равномерное перемещение талых вод и их впитывание в грунт;

- ✓ деревья способны удерживать сползающие массы грунта при покровных оползнях небольшой глубины (до 1,5–2,0 м);

- ✓ корневая система деревьев способна оказывать армирующее действие на оползневый склон;

- ✓ корневая система древесно-кустарнико-

вой растительности при оползневых процессах создает дополнительную удерживающую силу, величина которой определяется насыщенностью корнями верхних 1,5–2,0 м грунтово-корневого слоя;

- ✓ насыщенность и, соответственно, сопротивляемость сдвигающим нагрузкам можно приближенно оценивать по надземной части растительности, произрастающей на склоне;

- ✓ корневые системы обуславливают формирование грунтово-корневого тюфяка толщиной 1,5–2,0 м, покрывающего поверхность склона, его гребень и нижнюю часть [7–10].

Список использованной литературы

1. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП-22-02-2003. – М., 2012. – 65 с.
2. Калинин, М. И. Формирование корневой системы деревьев. – М. : Лесн. пром-сть, 1983. – 152 с.
3. Калинин, М. И. Корневедение. – М. : Экология, 1991. – 173 с.
4. Жидков, А. Н. Фиторемедиация полигонов складирования сульфата кальция в целях рационального использования земель для лесовыращивания / А. Н. Жидков, Л. Л. Коженков // Проблемы воспроизводства лесов в Российской Федерации. – Пушкино, ВНИИЛМ, 2015. – С. 61–69.
5. Кураев, В. Н. Почвенно-экологические исследования ВНИИЛМ: достижения и перспективы // ВНИИЛМ – 80 лет научных исследований. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2014. – С. 155–165.
6. Мартынюк, А. А. Экологические проблемы в исследованиях ВНИИЛМ / А. А. Мартынюк, А. Н. Жидков, Л. Л. Коженков // ВНИИЛМ – 80 лет научных исследований. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2014. – С. 143–154.
7. Рыжков, И. Б. О количественном учете древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов / И. Б. Рыжков, А. А. Арсланов, Р. Ф. Мустафин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 2015. – С. 21–25.
8. Рыжков, И. Б. Влияние корневой системы древесной растительности на устойчивость склонов / И. Б. Рыжков, Р. Ф. Мустафин, А. А. Арсланов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 1. – С. 210–214.
9. Рыжков, И. Б. Исследование влияния корневой системы древесной растительности на устойчивость склонов / И. Б. Рыжков, Р. Ф. Мустафин, А. А. Арсланов // Вестник БГАУ. – 2011. – № 1. – С. 64–68.
10. Арсланов, А. А. Рекомендации по учету древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов / А. А. Арсланов, Р. Ф. Мустафин // Вестник СГАСУ. – 2013. – № 1. – С. 76–80.

References

1. Inzhenernaya zashhita territorij, zdaniy i sooruzhenij ot opasnyx geologicheskix processov. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP-22-02-2003. – M., 2012. – 65 s.
2. Kalinin, M. I. Formirovanie kornevoj sistemy derev'ev. – M. : Lesn. prom-st', 1983. – 152 s.
3. Kalinin, M. I. Kornevedenie. – M. : Ekologiya, 1991. – 173 s.
4. Zhidkov, A. N. Fitoremediacziya polygonov skladirovaniya sul'fata kal'cziya v czelyax raczional'nogo ispol'zovaniya zemel' dlya lesovyrashhivaniya / A. N. Zhidkov, L. L. Kozhenkov // Problemy vosproizvodstva lesov v Rossijskoj Federaczii. – Pushkino, VNIILM, 2015. – S. 61–69.
5. Kuraev, V. N. Pochvenno-ekologicheskije issledovaniya VNIILM: dostizheniya i perspektivy // VNIILM – 80 let nauchnyx issledovanij. – Pushkino : VNIILM, 2014. – S. 155–165.
6. Martynyuk, A. A. Ekologicheskije problemy v issledovaniyax VNIILM / A. A. Martynyuk, A. N. Zhidkov, L. L. Kozhenkov // VNIILM – 80 let nauchnyx issledovanij. – Pushkino : VNIILM, 2014. – S. 143–154.
7. Ryzhkov, I. B. O kolichestvennom uchete drevesno-kustarnikovej rastitel'nosti pri raschetax ustojchivosti sklonov / A. A. Arslanov, R. F. Mustafin // Osnovaniya, fundamenty i mexanika gruntov. – M., 2015. – S. 21–25.
8. Ryzhkov, I. B. Vliyanie kornevoj sistemy drevesnoj rastitel'nosti na ustojchivost' sklonov / I. B. Ryzhkov, R. F. Mustafin, A. A. Arslanov // Vestnik MGSU. -2011. – № 1. – S. 210–214.
9. Ryzhkov, I. B. Issledovanie vliyaniya kornevoj sistemy drevesnoj rastitel'nosti na ustojchivost' sklonov / I. B. Ryzhkov, R. F. Mustafin, A. A. Arslanov // Vestnik BGAAU. -2011. – № 1. – S. 64–68.
10. Arslanov, A. A. Rekomendaczii po uchetu drevesno-kustarnikovej rastitel'nosti pri raschetax ustojchivosti sklonov / A. A. Arslanov, R. F. Mustafin // Vestnik SGASU. – 2013. – № 1. – S. 76–80.

The Role of Trees in the Evaluation of Slope Stability

A. Arslanov – Bashkir State Agricultural University, Graduate student of chair of an environmental engineering, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

R. Mustafin – Bashkir State Agricultural University, Associate Professor, Head of the department of an environmental engineering, construction and hydraulics, Candidate of Agricultural Sciences, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Keywords: soil and root mattress, trees, specific adhesion of soil, slope stabilization calculation.

In the Russian Federation a significant proportion of the territory is mountainous forests (over 40%), and trees and shrubs slopes, carrying out environmental and safety functions. They regulate the flow of water, protect the soil against erosion, regulate the wind mode, prevent downward movement of cold air masses, prevent mudslides, avalanches, landslides, changing air circulation. This circumstance is caused by the need to develop silvicultural practices to ensure the prevention of decrease in their stability and the formation of plants, excluding erosion.

Because the root system of trees and shrubs is traditionally considered one of the most effective means to strengthen the slopes, the development of appropriate calculation methods and their subsequent implementation in the design, development and construction, to provide reasonable and necessary information to a wide range of stakeholders and organizations.

Specific adhesion of ground roots of trees and shrubs was taken into account by the authors in the root layer of thickness $2,0 \pm 0,5$ m. The degree of this increase is set by the results of a survey of vegetation on the slope.