

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СКЛОНАХ

Р.Ф. МУСТАФИН, доц. БГАУ, канд. с-х. наук⁽¹⁾,
А.А. АРСЛАНОВ, асп. БГАУ⁽¹⁾

azat-arсланov@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»
450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

На территории Российской Федерации горные леса (леса, произрастающие на горных склонах) составляют около 40 % покрытой лесной растительностью площади. Эти леса выполняют важнейшую экологическую функцию: регулируют сток воды, защищают почвы от эрозии, регулируют ветровой режим, препятствуют движению сверху вниз холодных масс воздуха, предотвращают сели, снежные лавины, оползни, изменяют циркуляцию атмосферного воздуха. Важная роль горных лесов вызывает необходимость разработки специальных систем лесоводственных мероприятий, обеспечивающих недопущение снижения их устойчивости и формирование насаждений, исключающих эрозию почвы. Корневая система древесно-кустарниковых пород традиционно и общепринято считается одним из действующих факторов укрепления склонов, однако углубленным изучением специфики данной функции корней посвящено лишь незначительное количество научных и практических изысканий. В связи с этим разработка методов расчета и их последующее внедрение в производство проектных, изыскательных и строительных работ, опираясь на опыт существующих методик и расчетов, предоставит обоснованную и необходимую научную информацию широкому кругу заинтересованных лиц и организаций. Сопrotивляемость корней учитывается путем искусственного увеличения удельного сцепления грунта в верхнем пронизанном корнями слое (толщиной 2±0,5 м). Величина его устанавливается по результатам обследования растительности на склоне.

Ключевые слова: склон, древесно-кустарниковая растительность, расчет, удельное сцепление.

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), 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 [2, 3]. 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 инженер-

ной защите территорий СП 116.13330.2012 [1] агролесомелиорация рассматривается как одно из важнейших противооползневых мероприятий. 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 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 количес-

Типичные отношения объема корневой системы к объему ствола дерева, % [7]

Typical root volume connection to the volume of a tree trunk,% [7]

Средний диаметр стволов деревьев на рассматриваемом участке, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$V_{\text{корн}} / V_{\text{ств}}^*, \%$	30	20	15	10	7

* – $V_{\text{корн}} / V_{\text{ств}}$ – отношение объема корней дерева к объему его ствола, %

твенного 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.).

Основные предпосылки оценки устойчивости склонов, покрытых растительностью [2, 3]

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 оползневый 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 формирования 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-коревой слой в двух местах: на гребне и у подножья склона.

Корневая система древесно-кустарниковой растительности при оползневых процессах создает дополнительную удерживающую силу, величина которой определяется насыщенностью корнями верхних 1,5–2 м (грунтово-корневого слоя). Эту насыщенность (и соответственно сопротивляемость сдвигающим нагрузкам) можно приближенно оценивать по результатам обследования надземной части растительности на склоне [5, 6].

Дополнительная информация, получаемая при инженерных изысканиях

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 м²;
- средний диаметр деревьев в зоне предполагаемого оползня;
- преобладающая порода деревьев в зоне предполагаемого оползня.

Для приближенной оценки объема корневой системы по объему надземной части дерева (в условиях отсутствия более точных сведений о конкретных лесных угодьях) рекомендуется пользоваться табл. 1.

При сборе сведений о ранее происходивших оползнях в данной местности следует по возможности точно выяснять, какая

Т а б л и ц а 2

Степень насыщения корнями грунтово-корневого слоя $K_{оп}$
(доля объема корней в процентах в общем объеме слоя)
The degree of root saturation of the soil and root layer
(fraction of the volume of roots in percent in the total volume of the layer)

Средний диаметр стволов деревьев, м	Доля объема корней в общем объеме грунтово-корневого слоя в процентах (%), при среднем расстоянии между деревьями, м				
	2	3	4	5	6
0,1	0,3	0,13	0,07	0,05	0,03
0,2	1,2	0,42	0,24	0,15	0,10
0,3	—	0,87	0,48	0,31	0,22
0,4	—	1,25	0,70	0,45	0,31
0,5	—	—	0,85	0,55	0,38

Примечание: «—» соответствует маловероятным сочетаниям

Т а б л и ц а 3

Приращение удельного сцепления для толщины грунтово-корневого слоя 2 м
The increment of the specific adhesion to the thickness of the soil and root layer of 2 m

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

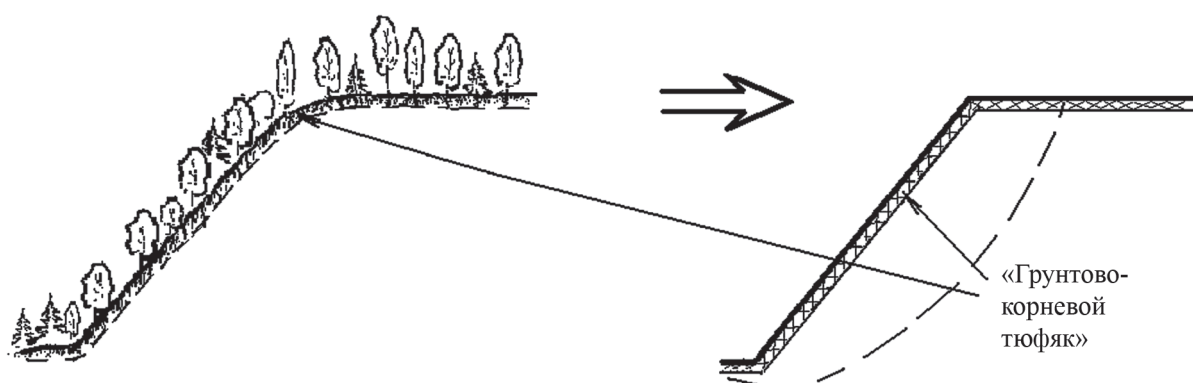


Рис. 1. Схема расположения «грунтово-корневого тюфяка»
 Fig. 1. Scheme of arrangement of the «soil-root mattress»

растительность была на склонах в момент оползня.

Методика расчета устойчивости склона с учетом древесно-кустарниковой растительности

Армирующее действие корневой системы древесно-кустарниковой растительности рекомендуется учитывать путем фиктивного увеличения прочности грунта верхнего «грунтово-корневого слоя» («грунтово-корневого тюфяка»), покрывающего склон (рисунки). Этот слой следует рассматривать

как отдельный инженерно-геологический элемент ИГЭ (или расчетно-грунтовый элемент РГЭ).

Толщину грунтово-корневого слоя рекомендуется принимать равной $2,0 \pm 0,5$ м. В случае преобладания пород деревьев с неглубоким проникновением корней (береза, липа, пихта, ель обыкновенная и др.) рекомендуется принимать минимальную толщину такого слоя (1,5 м), при преобладании пород с глубокими корнями (дуб, сосна обыкновенная, ель сибирская и др.) – максимальную толщину (2,5 м).

**Распределение фитомассы частей деревьев
в сосново-дубовых и елово-пихтовых насаждениях**
Distribution of the biomass of parts of trees in pine-oak and spruce-fir plantations

Возраст, лет	Порода	Число деревьев на 1000 м ²	Средние показатели		Всего фитомассы в сухом виде, т / 1000 м ²	В том числе на 1000 м ²	
			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
	Всего	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
	Всего	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
	Всего	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	<u>1,58</u> 48,2	<u>0,48</u> 14,6
	Всего	564			3,76	<u>1,77</u> 47,1	<u>0,75</u> 15,0

Т а б л и ц а 5

**Средний уровень насыщенности корнями грунтового-корневого слоя
в сосновых насаждениях (на 1000 м²)**

The average level of root saturation of the soil and root layer of pine plantations (per 1000 m²)

Возраст, годы	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м ³	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

Т а б л и ц а 6

**Средний уровень насыщенности корнями грунтового-корневого слоя
в сосново-дубовых насаждениях (на 1000 м²)**

The average level of root saturation of the soil and root layer in pine-oak plantations (per 1000 m²)

Возраст, годы	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м ³	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

**Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя
в елово-пихтовых насаждениях (на 1000 м²)**

The average level of root saturation of the soil and root layer in spruce-fir plantations (per 1000 m²)

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

**Дополнительные удерживающие силы $P_{уд}$ в грунтово-корневом слое
(наиболее типичные случаи) [9]**

Additional retaining forces $P_{уд}$ in the soil and root layer (the most typical cases) [9]

Толщина грунтово-корневого слоя, м	Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями %	Площадь пересечения корней с поверхностью скольжения, см ²			Дополнительная удерживающая сила, кН		
		$\beta = 0$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 60^\circ$	$\beta = 0$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 60^\circ$
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	0,05	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

Увеличение его прочности (по сравнению с грунтом, не содержащем корней) обеспечивается принятием повышенных значений удельного сцепления грунта «с» в зависимости от K – степени насыщенности корнями этого слоя.

Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями K определяется в зависимости от результатов обследования

надземной части растительности по таблицам приложения. Для наиболее типичных случаев (при толщине грунтово-корневого слоя 2 м) при невозможности получения более точных сведений допустимо пользоваться табл. 2.

Расчетное значение степени насыщенности корнями грунтово-корневого слоя K следует определяться по формуле

$$K = K_{\text{оп}} / \gamma_t$$

где $K_{\text{оп}}$ – степень насыщения грунта корнями, определенная путем визуальной оценки склона в момент изысканий с использованием при необходимости вспомогательных таблиц (табл. 2),

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

Для промежуточных значений следует пользоваться интерполяцией.

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

$$c_{\text{з-к}} = c_{\text{станд}} + c_{\text{доп}},$$

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

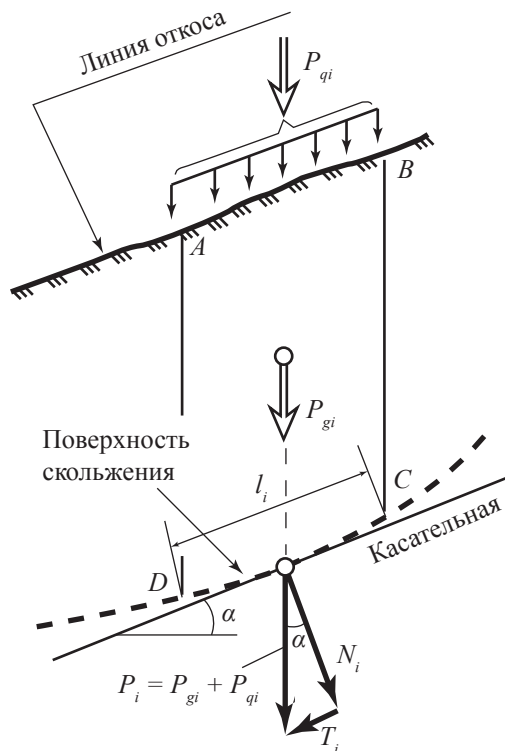


Рис. 2. Схема действующих сил в пределах каждого блока: P_g – собственный вес грунта, P_q – внешняя нагрузка

Fig. 2. The scheme of forces within each unit: P_g – weight of soil, P_q – external load

$c_{\text{доп}}$ – дополнительная часть удельного сцепления, определяемая в зависимости от установленной степени насыщенности корнями [8].

Оценка устойчивости склона с древесно-кустарниковой растительностью может производиться любым традиционным методом расчета (теории предельного равновесия, 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.

При установленном значении удерживающей силы $P_{\text{уд}}$ дополнительная часть удельного сцепления определяется по формуле

$$c_{\text{доп}} = P_{\text{уд}} / l_i$$

где $P_{\text{уд}}$ – удерживающая сила, образующаяся в грунтово-корневом слое (в i -м блоке), l_i – длина основания рассматриваемого блока (рисунок).

Библиографический список

1. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП-22-02-2003.
2. Калинин, М.И. Формирование корневой системы деревьев / М.И. Калинин. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 152 с.
3. Калинин, М.И. Корневедение / М.И. Калинин. – М.: Экология, 1991. – 173 с.
4. 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. – Москва, 2015. – С. 21–25.
5. Рыжков, И.Б. Влияние корневой системы древесной растительности на устойчивость склонов / И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин, А.А. Арсланов // Вестник МГСУ. – Т. 1. – 2011.
6. 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(17).
7. Арсланов, А.А. Оценка степени насыщенности грунтово-корневого тьюфа корнями / А.А. Арсланов, И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин // Вестник РАСХН, 2012.
8. Арсланов, А.А. Рекомендации по учету древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов / А.А. Арсланов, Р.Ф. Мустафин // Вестник СГАСУ, 2013.
9. Арсланов, А.А. Пространственное взаимопроникновение корневых систем / А.А. Арсланов, Р.Ф. Мустафин // Научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения С.Ф. Аверьянова. – М.: Природобустройство, 2013.

EFFICIENCY OF THE WOOD AND SHRUBBY VEGETATION ON SLOPES

Mustafin R.F., Assoc. Prof. BGAU, Ph. D. (Agricultural) ⁽¹⁾; Arslanov A.A., pg. BGAU⁽¹⁾

azat-arslanov@mail.ru

⁽¹⁾ Bashkir State Agrarian University, 50-letiya Oktyabrya St., 34, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450001

Mountain forests (i.e. forests growing on mountain slopes) on the territory of the Russian Federation constitute about 40 percent of the area covered with forest vegetation. These forests fulfill an essential ecological function: they regulate water runoff, prevent soil erosion, control wind regime, obstruct cold air mass moving from the bottom upwards, preclude mudslides, snow avalanches, landslides, change atmospheric circulation. The key role of mountain forests calls for the development of special systems of silvicultural measures providing for prevention of the decline in their sustainability, and planting trees, which eliminates the risk of soil erosion. Although it is generally accepted that the root system of tree and shrub species is one of the operative factors of slope stabilization, only a small number of scientific and empirical research works are devoted to a profound study of the above mentioned root function. In this respect the development of calculation methods and their subsequent introduction into the execution of project-oriented, exploratory and construction work, drawing on the expertise of the existing methods and calculations will provide valid and necessary information to a wide range of individuals and entities. Root resistance power is taken into account by the artificial increase of the specific soil adhesion in the upper layer of the ground penetrated by roots ($2 \pm 0,5$ m in thickness). The range of the increase is defined upon results of vegetation inspection on the slope.

Keywords: slope, tree and shrub vegetation, calculation, specific soil cohesion.

Reference

1. *Inzhenernaya zashchita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP-22-02-2003* [Engineering protection of territories, buildings and structures from hazardous geological phenomena. Fundamental principles. Revised edition. Construction Norms & Regulations-22-02-2003].
2. Kalinin M.I. *Formirovanie kornevoy sistemy derev'ev* [Shaping of the tree root system]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1983, pp. 152.
3. Kalinin M.I. *Kornevedenie* [Root study]. Moscow: Ecology, 1991, pp. 173.
4. Ryzhkov I.B., Arslanov A.A., Mustafin R.F. *O kolichestvennom uchete drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti pri raschetakh ustoychivosti sklonov* [On quantitative accounting of tree and shrub vegetation when calculating slope stability]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Basis, Foundation and Slope Engineering' magazine], Moscow, 2015, pp. 21-25
5. Ryzhkov I.B., Mustafin R.F., Arslanov A.A. *Vliyaniye kornevoy sistemy drevesnoy rastitel'nosti na ustoychivost' sklonov*, T. 1 [The influence of tree root system on slope stability]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering, V. 1], Moscow, 2011.
6. Ryzhkov I.B., Mustafin R.F., Arslanov A.A. *Issledovanie vliyaniya kornevoy sistemy drevesnoy rastitel'nosti na ustoychivost' sklonov* [The study of the influence of tree root system on slope stability], Vestnik BGAU [Proceedings of Bashkir State Agrarian University], V. 1(17), Ufa, 2011.
7. Ryzhkov I.B., Mustafin R.F., Arslanov A.A. *Otsenka stepeni nasyshchennosti gruntovo-kornevogo tyufyaka kornyami* [The evaluation of root saturation degree of ground and root bed]. Vestnik RASKHN [Proceedings of the Russian Academy of Agricultural Sciences], Moscow, 2012.
8. Arslanov A.A., Mustafin R.F. *Rekomendatsii po uchetu drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti pri raschetakh ustoychivosti sklonov* [Guidelines on accounting tree and shrub vegetation when calculating slope stability]. Vestnik SGASU [Proceedings of Samara State University Of Architecture And Civil Engineering], Samara, 2013.
9. Arslanov A.A., Mustafin R.F. *Prostranstvennoye vzaimoproniknoveniye kornevykh sistem* [Extensional interpenetration of root systems], Nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya S.F. Aver'yanova [Research and practice conference marking the centenary of the birth of Aver'yanov S.F.], Moscow: Prirodoobustroystvo [Environmental Engineering], 2013.