

**Р.Р. Зубаиров, И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин, З.З. Рахматуллин**

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ УЧЕТА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ**

**Ключевые слова:** оценка устойчивости склонов, учет древесно-кустарниковой растительности, инженерные изыскания, размыв берегов рек.

*Предлагается практический метод оценки устойчивости склонов с учетом древесно-кустарниковой растительности, растущей на этом склоне. Ранее проводившиеся исследования (анализ работ в сфере лесоводства и корневедения) показали, что корневая система деревьев распространяется преимущественно в горизонтальном (радиальном) направлении. Корни соседних деревьев переплетаются, срастаются, образуя у поверхности земли слой повышенной прочности (грунтово-корневой слой). Этот слой обычно имеет толщину 2...2,5 м. Он покрывает склон (в общем случае от гребня до подошвы) и служит фактором, препятствующим обрушению этого склона. При оползне этот слой должен быть перерезан в зоне гребня и зоне подошвы склона. «Удерживающая способность» грунтово-корневого слоя зависит от густоты и возраста древесно-кустарниковой растительности на рассматриваемом склоне. Это должно быть оценено расчетом по предлагаемой методике. Дополнительная информация, необходимая для таких расчетов, получается в процессе инженерных изысканий путем оценок густоты надземной части растительности. Такие оценки основаны на определении среднего диаметра стволов деревьев и среднего расстояния между соседними деревьями, что не требует применения специального оборудования или дорогостоящих измерительных операций.*

**R. Zubairov, I. Ryzhkov, R. Mustafin, Z. Rakhmatullin**

## **PRACTICAL METHODS OF WOODY VEGETATION ACCOUNTING FOR CALCULATIONS OF THE SLOPES STABILITY**

**Keywords:** assessment of slope stability, accounting for trees and shrubs, engineering surveys, erosion of river banks.

*A practical method is proposed for assessing the stability of slopes taking into account trees and shrubs growing on this slope. Previous studies (analysis of works in the field of forestry and root management) showed that the root system of trees spreads mainly in the horizontal (radial) direction. The roots of neighboring trees intertwine, grow together, forming a layer of increased strength at the surface of the earth ("soil-root layer"). This layer usually has a thickness of 2 ... 2.5 m. It covers the slope (generally from the crest to the bottom) and serves as a factor preventing the collapse of this slope. In the event of a landslide, this layer should be cut in the area of the ridge and the area of the bottom of the slope. The "holding capacity" of the soil-root layer depends on the density and age of the trees and shrubs on the slope in question. This should be estimated by calculating the proposed methodology. Additional information required for such calculations is obtained in the process of engineering surveys by assessing the density of the above-ground part of vegetation. These estimates are based on the determination of the average diameter of tree trunks and the average distance between adjacent trees, which does not require the use of special equipment or expensive measuring operations.*

**Зубаиров Руслан Радикович**, старший преподаватель кафедры природообустройства, строительства и гидравлики; e-mail: rrzubairov@gmail.com

**Ruslan R. Zubairov**, Senior Lecturer, Chair of Environmental Engineering, Construction and Hydraulics; e-mail: rrzubairov@gmail.com

**Рыжков Игорь Борисович**, профессор кафедры природообустройства, строительства и гидравлики

*Igor B. Ryzhkov, Professor, Chair of Environmental Engineering, Construction and Hydraulics*

**Мустафин Радик Флюсович**, доцент кафедры природообустройства, строительства и гидравлики

*Radik F. Mustafin, Associate Professor, Chair of Environmental Engineering, Construction and Hydraulics*

**Рахматуллин Загир Забинович**, доцент кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна

*Zagir Z. Rakhmatullin, Associate Professor, Chair of Forestry and Landscape Design*

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

*Bashkir State Agrarian University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation*

**Введение.** С древних времен известно, что наличие растительности на склонах способно повышать их устойчивость к воздействиям оползневых процессов, однако попытки *количественной* оценки этого фактора до последнего времени не давали положительного результата [3-6, 8, 12, 13]. Лишь полтора-два десятилетия тому назад появились конкретные предложения по учету корневой системы древесно-кустарниковой растительности при оценке устойчивости склонов [7, 9, 10, 11]. Тем не менее эти предложения пока отличаются неполнотой и для практического применения представляются недоработанными. Приведение их к виду, пригодному для применения в практике ландшафтного и строительного проектирования, по-прежнему остаются актуальной задачей.

Рассматриваемые вопросы имеют прямое отношение и к размыву берегов рек [13, 14]. Такой размыв обычно включает два процесса:

- постепенное вымывание частиц грунта и медленное смещение береговой линии в сторону суши;
- периодические (повторяющееся через годы) обрушения грунтовых масс в сторону реки (локальные оползни) и последующий размыв этих масс.

Все приводимые выше сведения об устойчивости склонов полностью относятся к размыву берегов (к упомянутому выше второму процессу).

**Целью** настоящей работы было создание практического метода количе-

ственного учета наличия и густоты древесно-кустарниковой растительности на склоне при оценке устойчивости такого склона. Для достижения этой цели решались две задачи:

- поиск наиболее простого и надежного способа получения исходных данных о густоте растительности на склоне;
- уточнение методики расчета устойчивости склона с древесно-кустарниковой растительности.

Работы проводились в ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, при этом широко использовались результаты исследований этого вопроса, ранее проводившихся институтом БашНИИстрой [10].

**Методика исследований.** Специалисты Башкирского государственного аграрного университета исследовали влияние древесной растительности на устойчивость склонов, включая береговые склоны равнинных рек [8, 9, 13]. Проведенная работа включала анализ публикаций и архивных материалов специалистов по лесоводству и корневедению, изучение материалов инженерных изысканий на оползнеопасных территориях, отчетов по обследованию произошедших оползней, изучению публикаций специалистов по лесоводству и корневедению, визуальные наблюдения и теоретические исследования. Выявлялись закономерности, которые могли использоваться при разработке методики расчета сопротивляемости корневой системы разрыву или срезу. Особое внимание уделялось изучению взаимосвязи между элементами над-

земной и подземной частей деревьев (т.е. между объемами их корневой системы и надземной части в зависимости от возраста этих деревьев, диаметра их стволов, густоты посадки и т.д.). Такие закономерности устанавливались эмпирически, путем анализа материалов лесоводов. Теоретически анализировалась связь между объемом корневой системы и дополнительными усилиями, которые эта система способна воспринять при смещениях верхних слоев грунта. На основании полученных результатов составлялись соответствующие таблицы и графики, необходимые для практических расчетов.

**Результаты исследований.** Анализ публикаций в сфере лесоводства и корневедения показал, что корневая система древесно-кустарниковой растительности в большинстве случаев распространяется в горизонтальном (радиальном) направлении, причем на значительные расстояния [5, 6, 12]. Корни переплетаются и даже могут срачиваться друг с другом, образуя, так называемый, «грунтово-корневой слой», обладающий повышенной сопротивляемостью срезающим усилиям. Он обычно распространяется на глубину до 2...2,5 м. При оползне этот слой должен быть перерезан в зоне гребня и зоне подошвы склона. Покрывая склон от гребня до подошвы, такой слой существенно повышает устойчивость оползневого массива. В предлагаемом методе расчета грунтово-корневой слой выделяется в отдельный инженерно-геологический элемент (ИГЭ), прочность которого увеличивается путем увеличения удельного сцепления «с». Это увеличение принимается в зависимости от среднего диаметра древесных стволов и расстояния между соседними стволами. В остальном расчет ведется любым традиционным методом (т.е. методом круглоцилиндрических поверхностей, горизонтальных сил, поверхности скольжения в виде ломаной и т.д.), по любой компьютерной программе.

Было установлено, что корневая система древесно-кустарниковой растительности способна как бы «армировать» та-

кие склоны, создавая дополнительные удерживающие силы, препятствующие возникновению оползней. Анализ работ специалистов по лесоводству позволил сделать вывод, что корни большинства деревьев развиваются преимущественно в горизонтальном направлении. Они обычно пронизывают верхние слои грунта на глубину, не превышающую 2,0...2,5 м. Горизонтальная проекция корневой системы дерева обычно по своей площади в несколько раз превышает крону дерева, в связи с чем корни близко растущих деревьев переплетаются и даже способны срачиваться. Создаются условия, при которых в верхних слоях склона с древесной растительностью формируется, так называемый, «грунтово-корневой слой», представляющий собой пронизанный корнями слой грунта (толщиной 2,0...2,5 м), обладающий повышенной сопротивляемостью срезающим усилиям.

**Обсуждение полученных результатов.** На основании таких представлений было предложено при расчетах устойчивости склонов учитывать наличие упомянутого «грунтово-корневого слоя» путем выделения верхнего слоя грунта (толщиной  $2 \pm 0,5$  м) в самостоятельный инженерно-геологический элемент с *искусственно повышенными прочностными характеристиками*. Такое повышение предлагалось устанавливать индивидуально, для каждого конкретного случая в зависимости от вида и густоты имеющейся на склоне растительности. Иными словами, верхний слой грунта мысленно заменяется эквивалентным грунтом, прочность которого должна быть такой же, как и у грунта, пронизанного корнями. Сама же методика расчета устойчивости склона остается прежней, т.е. любая из существующих компьютерных программ расчета склонов приемлема в такой же мере, как и при склонах, лишенных растительности.

Прочность дисперсных (нескальных) грунтов, как известно, характеризуется двумя параметрами: «углом внутреннего трения» ( $\varphi$ ), отражающим рост сопротивления срезу при увеличении нормальных

напряжений, и «удельным сцеплением» ( $c$ ), которое не зависит от нормальных напряжений. Очевидно, что влияние корней не должно зависеть от нормальных напряжений, в связи с чем логично армирующую роль корней учесть путем принятия повышенного удельного сцепления –

увеличения его на величину  $c_{доп}$ . Примерная доля корней (в процентах) от общего объема слоя грунта (степень насыщения корнями грунтово-корневого слоя) приведена на рисунке 1 в виде зависимости от интенсивности растительности на оползневом склоне.

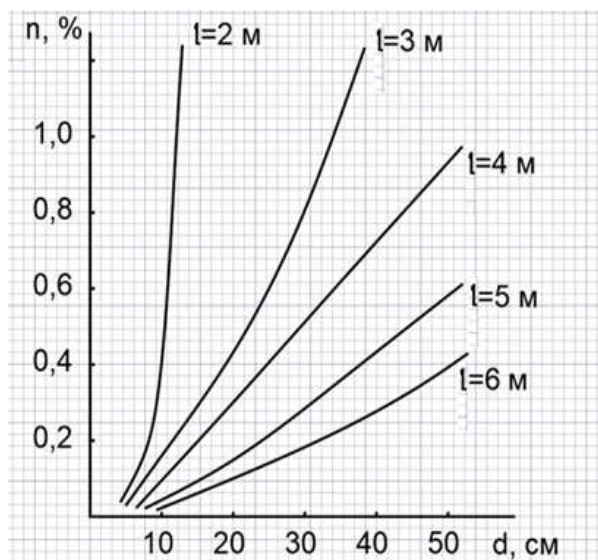


Рисунок 1. Зависимость степени насыщения корнями грунтово-корневого слоя  $n$  (в процентах) от среднего диаметра стволов деревьев,  $d$ , м на оползневом участке и от среднего расстояния между соседними деревьями,  $l$ , м этом участке

Все эти рекомендации выглядят достаточно просто, пока не предпринимаются попытки их использования на практике. Реальные же условия зачастую оказываются столь многообразными и специфичными, что могут поставить в затруднительное положение даже опытного проектировщика или изыскателя. Это относится, в первую очередь, к установлению

степени насыщения корнями грунтово-корневого слоя. Такая задача решалась путем анализа публикаций специалистов по лесоводству и корневедению [4, 5].

При наиболее типичной толщине грунтово-корневого слоя 2 м могут приниматься приращения удельного сцепления  $c_{доп}$ , в соответствии с таблицей 1 (таблица построена по данным [2, 5]).

Таблица 1 – Влияние наличия корней в грунте на его прочность

Степень насыщения корнями грунтово-корневого слоя, $n$ , %	0,03	0,10	0,15	0,20	0,25	0,50	1,0
Приращения удельного сцепления в грунтово-корневом слое, $c_{доп}$ , кПа	1,8	7,0	10,2	14,0	17,5	35,0	70

Предлагаемый подход наиболее эффективен при оценке устойчивости береговых склонов равнинных рек [1, 2, 3, 4].

Что же касается практических способов оценки растительности, то был принят следующий порядок действий. Для уста-

новления среднего диаметра стволов деревьев и среднего расстояния между соседним и деревьями на оползневом склоне (включая гребень) выделялся участок площадью в 1...2 тыс. м<sup>2</sup>, и необходимые оценки проводились на нем.

Для определения среднего диаметра стволов было предложено измерять диаметры всех находящихся на *выделенном участке* деревьев и подсчитывать средний диаметр.

Для определения среднего расстояния между соседними деревьями необходимо сначала вычислять площадь, приходящуюся в среднем на одно дерево (т.е. площадь участка делится на число деревьев на нем). Квадратный корень из полученной площади можно считать приближенным значением среднего расстояния между соседними деревьями.

Например, выделяем на гребне склона площадку размером  $80 \times 20$  м (т.е. площадью  $1600 \text{ м}^2$ ) и оцениваем находящиеся на нем деревья. Допустим, что на этой площадке растет 65 деревьев, т.е. на одно дерево приходится площадь  $1600/65 \approx 24 \text{ м}^2$ , что будет означать, что среднее расстояние между соседними деревьями составит примерно  $4,9 \text{ м}$  ( $\sqrt{24} = 4,9 \text{ м}$ ). По этой величине и по среднему диаметру стволов определяется приращение удельного сцепления  $c_{\text{доп}}$ . Так, при диаметре  $d = 0,1 \text{ м}$  и полученном среднем расстоянии  $4,9 \text{ м}$   $c_{\text{доп}} = 3,4 \text{ кПа}$ , при  $d = 0,15 \text{ м}$   $c_{\text{доп}} = 7 \text{ кПа}$ , при  $d = 0,20 \text{ м}$   $c_{\text{доп}} = 10 \text{ кПа}$ . Если бы деревьев на упомянутой площадке было бы не 65, а, допустим, 45, среднее расстояние между соседними деревьями составило бы  $6 \text{ м}$ , в связи с чем приращение удельного сцепления уменьшилось бы. При среднем диаметре стволов  $d = 0,20 \text{ м}$  оно бы возросло лишь на величину  $c_{\text{доп}} = 7 \text{ кПа}$ .

Если в зоне гребня деревьев нет, но они имеются у подошвы склона, грунтово-корневой слой будет располагаться только в нижней части склона. В верхней части (у гребня) удельное сцепление не будет увеличиваться. И наоборот, если деревья находятся только на гребне склона, грунтово-корневой слой будет размещаться только в верхней части.

Приведенные рассуждения относятся к существующей древесной растительности, у которой корневая система уже сформировалась и окрепла. Посадка же

новых деревьев в виде саженцев должна давать тот же эффект, но с «отложенным» сроком действия. Корневая система должна окрепнуть, прийти в «работоспособное» состояние, для чего необходимо, по крайней мере, 3...5 лет. В этой связи посадка деревьев должна рассматриваться, в первую очередь, как *профилактическое мероприятие*, обеспечивающее устойчивость склонов при ожидаемом усложнении условий их эксплуатации (возведение зданий и сооружений на склоне или вблизи его, при угрозе суффозии и т.д.). Она может быть также дополнительным средством повышения эффективности дорогостоящих защитных сооружений (подпорных стен, шпонок и т.д.). Иными словами, для проведения *противооползневых лесомелиоративных мероприятий* нужна уверенность, что склон (откос) не потеряет устойчивости до формирования необходимых армирующих качеств корневой системы. Следует при этом учитывать, что прогнозирование поведения склона обычно оказывается весьма приближенным как при наличии растительности, так и без нее. Это связано с тем, что сведения об отложениях склона во многих случаях не полные, а сами методы оценки устойчивости склона высокой точностью не отличаются.

Исходя из опыта проведения противооползневых в условиях РБ, можно рекомендовать проведение защитных лесопосадок при пониженном коэффициенте устойчивости склона  $k_{\text{st}}$  (меньшем нормируемого значения  $[k_{\text{st}}]$ ), но не меньшем единицы.

**Практические примеры.** В качестве примера ситуации, когда посадка деревьев достаточно эффективна и не требуется каких-либо дополнительных конструктивных (строительных) мероприятий, можно привести участок берега реки Ашкадар с. Каралачик, Федоровский район РБ (рис. 2).

Коэффициенты устойчивости рассматриваемого склона  $k_{\text{st}}$ , полученные разными методами (программа SLOPE), приведены в таблице 2.

**Таблица 2** – Коэффициент устойчивости склонов при наличии на них древесной растительности

Наличие древесной растительности	Минимальные значения коэффициента устойчивости $K_{st}$		
	по Г. Крею	по К.Терцаги	По методу «весового давления»
Отсутствие растительности	0,93	0,92	1,01
Деревья, посаженные по сетке 3×3 м, $d = 5$ см	0,94	0,94	1,04
То же $d = 8$ см,	0,97	0,96	1,06
То же $d = 10$ см,	1,03	1,02	1,16
То же $d = 15$ см,	1,2	1,18	1,29

Высота склона принималась равной 8 м, заложение 6 м. Рассматривалось состояние склона без древесной раститель-

ности, а также с деревьями, посаженными по сетке 3×3 м, имеющими диаметр, соответственно, 5 см, 8 см и 15 см.



Рисунок 2. Береговой склон р. Ашкадар (РБ, Федоровский район, с. Каралачик):  
а – общий вид берегового склона; б – корневая система травяной растительности на гребне склона

Различие в диаметре можно рассматривать как отражение разного возраста посаженных деревьев, т.е. таблице 2, приблизительно характеризует периоды, когда проявятся защитные свойства посаженных саженцев. Интенсивность роста диаметра саженца (и, соответственно, его корневой системы) зависит от многих факторов. В первую очередь, это порода дерева, почвенные условия, рельеф местности и даже технология посадки саженцев. При отсутствии необходимых сведений приблизительно можно считать, что в первые 10...12 лет диаметр ствола в сантиметрах примерно равен его воз-

расту в годах, т.е. диаметр 5 см означает, что дереву примерно 5 лет, 10 см – примерно 10 лет и т.д.

Анализируя с этой точки зрения таблицу 1, можно сказать, что в первые два-три года защитный эффект от посадки деревьев (саженцев) практически не проявится. Он станет существенным во втором десятилетии их жизни. Это подтверждает правильность приведенного выше мнения, что защитные лесопосадки на оползневых склонах – это профилактическая мера. Когда проявляются первые признаки надвигающегося оползня, высаживать деревья уже поздно, они не успеют

удержать склон.

На основании изложенного можно сделать следующие **выводы**:

1. Проведенные работы показали, что разработанные теоретические представления о роли древесно-кустарниковой растительности на оползнеопасных склонах вполне могут служить основой для решений практических задач, связанных с защитой конкретных территорий и сооружений от оползневой опасности.

2. Основная идея предлагаемого метода учета древесно-кустарниковой растительности при расчете устойчивости склонов состоит в том, что корневая система такой растительности развивается преимущественно в горизонтальном (радиальном) направлении, образуя у поверхности земли слой грунта (2...2,5 м), пронизанный корнями и обладающий повышенной прочностью (грунтово-корневой слой). При расчете этот слой рассматривается как отдельный инженерно-геологический элемент с повышенной прочностью (за счет искусственного повышения удельного сцепления «с»).

3. Повышение удельного сцепления «с» устанавливается в зависимости от среднего диаметра и среднего расстояния между соседними деревьями, для чего при инженерно-геологических изысканиях необходимо получение соответствующей дополнительной информации. В связи со сравнительно невысокой точностью предлагаемого расчета такая оценка растительности не требует особой точности и может выполняться на выделенном участке визуально.

4. Предлагаемый расчет устойчивости склонов отличается от существующих (традиционных) расчетов лишь выделением дополнительного инженерно-геологического элемента (грунтово-корневого слоя) с увеличенной прочностью грунта. Все остальные части расчета остаются неизменными, так что расчет может выполняться с помощью существующих компьютерных программ (или «вручную»).

### Библиографический список

1. Зубаиров Р.Р. Выявление необходимости комплексного обустройства водосборов различных ландшафтных групп на примере притоков реки Белая // Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Уфа, 2013. – С. 34-35
2. Зубаиров Р.Р. Установление геохимического ряда фаций ландшафтной катены водосбора среднего течения реки Белая на территории Уфимского района // Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы; материалы V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа, 2012.-С. 68-71.
3. Исангулов Ф.С., Габдрахимов К.М. Формирование устойчивых насаждений на облесенных крутосклонах Белебейевской возвышенности // Лесное хозяйство. 2011. № 2.
4. Оползни и инженерная практика / под ред. Э.Б. Эккеля. Сокр. пер. с англ. М.Н. Гольдштейна. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 268 с.
5. Калинин М.И. Формирование корневой системы деревьев. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 152 с.
6. Калинин М.И. Корневедение. – М.: Экология, 1991. – 173 с.
7. Мищенко А.Е. Стабильность эрозионно опасного склона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. – Вып. №5 (43). – С.17-20.
8. Мустафин Р.Ф., Рыжков И.Б., Арсланов А.А. О количественном учете древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2014. – №3. – С. 21-25.
9. Погорелов А.В., Шевела С.Ю. Высота местности как фактор структуры лесной растительности // Геология, география, глобальная энергия. – 2013. – № 1(48). – С. 190-200.
10. Рекомендации по учету древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов. – Уфа: БГАУ, 2014.
11. Рыжков И.Б., Разяпова З.М. О влиянии корневой системы древесной растительности на устойчивость склонов // Сборник научных трудов БашНИИИстрой. Вып. 75. – Уфа: БашНИИИстрой, 2007. – С.27-37.

12. Рыжков И.Б., Мустафин Р.Ф., Арсланов А.А. Влияние корневой системы древесной растительности на устойчивость склонов // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». – 2011. – Т1. – №1. – С. 210-214.

13. Рыжков И.Б., Мустафин Р.Ф., Абдуллина А.Ф. Влияние корневой системы деревьев на интенсивность размыва берегов рек // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции 23-24 сент. 2016 г. «Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства». Часть II. – Уфа: БГАУ, 2016. – С. 70-73.

14. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Мониторинг состояния берегов и режима использования водоохранных зон // Природообустройство. – 2014. – №4. – С. 6-11.

1. Zubairov R.R. Identification of the need for complex arrangement of watersheds of various landscape groups on the example of tributaries of the Belaya River. Proc. of the II All-Russian Sci. and Pract. Conf. with Int. Participation "State and prospects of increasing the production of high-quality agricultural products". Ufa. 2013. pp. 34-35 [in Russian]

2. Zubairov R.R. Establishing the geochemical series of facies of the landscape catena of the catchment area of the middle course of the Belaya River on the territory of the Ufa district. Proc. V All-Russian Sci. and Pract. Conf. of Young Scientists. Ufa. 2012. pp. 68-71 [in Russian]

3. Isangulov F.S., Gabdrakhimov K.M. Formation of stable plantings on forested steep slopes of the Belebeyva upland. *Lesnoe khozyistvo*. 2011. No. 2 [in Russian]

4. Landslides and engineering practice. Ed. by E.B. Eckel; Transl. from Eng. M. N. Goldstein. Moscow. *Transzheldorizdat*. 1960. 268 p. [in Russian]

5. Kalinin M.I. Formation of the root system of trees. Moscow. *Lesnaya promyshlennost*. 1983. 152 p. [in Russian]

6. Kalinin M.I. *Korrevevedenie*. Moscow. *Ecologiy*. 1991. 173c. [in Russian]

7. Mishchenko A.E. Stability of erosion-prone slope. Proc. of Orenburg State Agrarian University. 2013. Issue 5 (43). pp. 17-20 [in Russian]

8. Mustafin R.F. Ryzhkov I.B., Arslanov A.A. On quantitative accounting of dry-spring-shrubby vegetation in calculations of slope stability. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2014. No 3. pp. 21-25 [in Russian]

9. Pogorelov A.V., Shevela S. Yu. The height of the terrain as a factor of the structure of forest growth. *Geologiya, geografiya, globalnaya energiya*. 2013. No 1(48). pp. 190-200 [in Russian]

10. Recommendations for accounting for tree and shrub vegetation in slope stability calculations. BGAU Publishing House. 2014 [in Russian]

11. Ryzhkov I.B., Razyapova Z.M. On the influence of the root system of tree vegetation on the stability of slopes. Vol. 75. Ufa BashNIIstroy. 2007. pp. 27-37 [in Russian]

12. Ryzhkov I.B. Mustafin R.F. Arslanov A.A. The influence of the root system of woody vegetation on the stability of slopes. *Vestnik MGSU*. 2011. No 1. pp. 210-214 [in Russian]

13. Ryzhkov I.B. Mustafin R.F., Abdullina A.F. Influence of the root system of trees on the intensity of river bank erosion. Proc. VI All-Russian Sci. and Pract. Conf. on September 23-24, 2016. "The state and prospects of increasing the production of high-quality agricultural products". Part II. Ufa. BGAU. 2016. pp. 70-73 [in Russian]

14. Shabanov V.V., Markin V.N. Monitoring of the state of the banks and the regime of use of water protection zones. *Prirodobustroystvo*. 2014. No 4. pp. 6-11 [in Russian]