

НАСАЖДЕНИЯ НА СКЛОНАХ ПРИ ОЦЕНКЕ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕК**Р.Ф. Мустафин, К.М. Габдрахимов, И.Б. Рыжков, А.Р. Раянова**

ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34

mustafin-1976@mail.ru

Описаны процессы размыва склонов берегов рек и влияние древесно-кустарниковой растительности на устойчивость склонов. Отмечено, что водная эрозия причиняет большой вред сельскохозяйственным угодьям и хозяйственным постройкам и сооружениям. Особенно заметны последствия боковой эрозии на берегах рек и ручьев. Древесно-кустарниковой растительности отводится особая роль в борьбе с водной эрозией. Леса, расположенные в водоохранных зонах, выполняют функции предотвращения загрязнения, засорения, заиления водных объектов и истощения их вод, укрепления берегов рек, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. Дополнительная удерживающая сила грунтово-корневого слоя учитывается путем искусственного повышения прочностного показателя грунта — удельного сцепления с в верхней зоне грунта. Увеличение удельного сцепления устанавливается в зависимости от среднего диаметра стволов деревьев и среднего расстояния между деревьями. Размыв берегов обусловлен строением этих берегов, морфологией речных долин, водностью рек, особенностями протекания русловых процессов. Размываемость глинистых грунтов зависит от их структурно-текстурных особенностей, от их дисперсности. Размывающие скорости в грунтах с ненарушенным сложением в 3–6 раз выше, чем при нарушенном сложении. Сопrotивляемость размыву возрастает при преобладании частиц 0,001–0,05 мм, а также при уменьшении пористости. Сопrotивляемость размыву водонасыщенных грунтов выше, чем воздушно-сухих, так как водонасыщенные грунты меньше впитывают в себя воду. Вымывание глинистого грунта из зоны, пронизанной корнями, должно идти медленнее, чем вымывание песка. Предложенная оценка устойчивости берегов рек экологически безопасна. Она соответствует естественному процессу восстановлению деградированных земель.

Ключевые слова: насаждения, склон, древесно-кустарниковая растительность, грунты, корни, размываемость, липкость, удельное сцепление

Ссылка для цитирования: Мустафин Р.Ф., Габдрахимов К.М., Рыжков И.Б., Раянова А.Р. Насаждения на склонах при оценке размыва берегов рек // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 2. С. 78–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-78-83

Устойчивость берегов малых рек зависит от ряда факторов, трудно поддающихся количественной оценке. Таковым, например, является влияние прибрежной растительности. Практика показывает, что берега, имеющие насаждения при прочих равных условиях более устойчивы к размыву, чем берега без такой растительности. Однако такие вопросы специалисты по лесостроительству вынуждены решать, опираясь лишь на личный практический опыт и «инженерную интуицию». Несмотря на солидную изученность прибрежных лесов, в российской и мировой практике пока не предложено методики расчетов, позволяющих количественно оценивать защитные свойства прибрежной растительности. С этой точки зрения целесообразно рассмотреть принципы расчета, изложенных в работе Рыжкова и др. [1–5], где устойчивость склонов предлагается оценивать с учетом армирующего действия корневой системы древесной растительности, растущей на этом склоне. Корни деревьев распространяются преимущественно в горизонтальном (радиальном) направлении, проникая на глубину примерно 2–2,5 м. При этом площадь корневой системы в несколько раз превышает площадь горизонтальной проекции кроны дерева. При расстояниях между деревьями 5–6 м корни могут

переплетаться, и у поверхности земли образуется так называемый грунтово-корневой слой, т. е. слой грунта 2–2,5 м, пронизанный многочисленными корнями. Такой слой, естественно, обладает повышенной сопротивляемостью сдвиговым или разрывным деформациям.

Этот грунтово-корневой слой покрывает склон от подошвы до гребня, и оползающий массив грунта должен преодолевать не только внутреннее сопротивление грунта внутри склона, но и дополнительное сопротивление упомянутого слоя, который нужно срезать в двух местах: сверху — на гребне склона и внизу — у его подошвы. Дополнительная удерживающая сила грунтово-корневого слоя учитывается путем искусственного повышения прочностного показателя грунта — удельного сцепления с в верхней зоне грунта (до глубины 2–2,5 м).

Цель работы

Цель работы — исследование методики расчета степени насыщенности грунтово-корневого слоя корнями.

Материалы и методы

Исследования методики расчета степени насыщенности грунтово-корневого слоя корнями состоят в том, что такое увеличение удельного сцепления

устанавливается в зависимости от среднего диаметра стволов сосны и среднего расстояния между деревьями (в зоне предполагаемого оползня). Предложены соответствующие таблицы, облегчающие процедуру такого расчета. В процессе инженерно-геологических изысканий устанавливаются упомянутые выше дополнительные данные — средний диаметр стволов и среднее расстояние между соседними деревьями. Как показывает практика оценка диаметров стволов деревьев и расстояний между деревьями с точностью $\pm 10\%$ является приемлемой, что позволяет проводить такие оценки визуально. При большом количестве деревьев на выделенном участке получение исходных данных может проводиться выборочным методом.

После определения средних значений диаметров стволов и расстояний между деревьями определяется степень насыщения грунтово-корневого слоя корнями (доля корней в общем объеме слоя). Для этого можно использовать табл. 1, составленную применительно для смешанных насаждений к наиболее типичной толщине слоя почвы — 2 м.

По полученной доле объема корней определяется искомое приращение удельного сцепления по табл. 2 (тоже составленной применительно к толщине грунтово-корневого слоя 2 м).

Удельное сцепление грунта в пределах грунтово-корневого слоя принимается в виде величины $c_{г-к}$

$$c_{г-к} = c_{станд} + c_{доп}$$

где $c_{станд}$ — удельное сцепление, определенное стандартным методом (без учета корневой системы деревьев); $c_{доп}$ — дополнительная часть удельного сцепления, определяемая в зависимости от насыщенности этого слоя корнями по табл. 2.

Дальнейшие действия по оценке устойчивости склона протекают в рамках «обычного» подхода. Используется любой известный метод расчета устойчивости склонов (т. е. метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, метод ломаных поверхностей и т. п.), реализуемый «вручную» или с помощью компьютерных программ. При этом приемлем ряд программных методов расчета, как Midas Civil, используемых при традиционной оценке склонов без учета растительности. Иными словами, различие предлагаемого подхода от традиционных расчетов проявляется лишь на этапе подготовки исходных данных, т. е. в принятии уточненных характеристик прочности грунта в верхнем слое (2–2,5 м).

Методика исследований

Методика расчетов показывает, что влияние растительности проявляется в наибольшей мере при небольших склонах (высотой до 10–15 м), в грунтах невысокой прочности (в мягко- и текуче-пластичных глинистых грунтах, в рыхлых песках). Практика вполне подтверждает такие выводы.

Изложенные представления должны быть применимы и к оценке устойчивости речных берегов. Однако следует учесть, что условия работы береговых склонов имеют свою специфику и требуют учета множества дополнительных факторов [6–10]. Исследования гидрологов показывают, что размыв берегов зависит от строения этих берегов, морфологии речных долин, водности рек, особенностей протекания русловых процессов [11, 12]. Составлены карты, отображающие различные условия размыва речных берегов во всех регионах России.

Т а б л и ц а 1

Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями сосны

Degree of saturation of root-inhabited layer by roots, % of volume

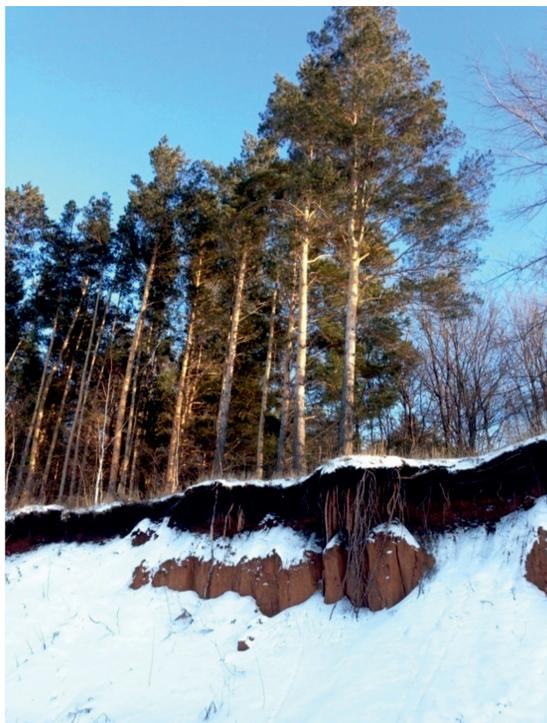
Средний диаметр деревьев сосны, см	Доля объема корней в общем объеме грунтово-корневого слоя, %, при среднем расстоянии между деревьями, м				
	2	3	4	5	6
8–12	0,3	0,13	0,07	0,05	0,03
16–24	1,2	0,52	0,30	0,19	0,13
28–32	–	1,16	0,65	0,42	0,29
36–44	–	1,88	1,05	0,67	0,47
48–52	–	–	1,22	0,78	0,54

Т а б л и ц а 2

Удельное сцепление в пределах грунтово-корневого слоя

Relative adhesion within the root-inhabited layer

Степень насыщенности корнями, %	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,50	1,00	2,0
Приращение удельного сцепления $c_{доп}$, кПа	3,5	7,0	10,2	14,0	17,5	35,0	70	140



Возникновение подрезки берегового склона вследствие его подмыва
Pruning forming of bank slope as a result of its erosion

Тем не менее, несмотря на все многообразие условий переработки берегов, определяющим процессом во всех случаях остается обрушение грунтовых масс, их соскальзывание в сторону реки, т. е. периодические оползни. Именно такие оползни определяют скорость размыва берегов, которая обычно лежит в диапазоне от нескольких сантиметров до десятков метров в год. Собственно размыв грунта у береговой линии протекает медленно и поэтому не является главным разрушительным фактором. Однако он всегда активизирует оползневые процессы, которые многократно ускоряют такое разрушение. Они вызывают подрезку склонов, которая очень сильно снижает их устойчивость (см. рисунок).

К таким оползням может быть применен изложенный выше способ учета армирующего действия корневой системы древесной растительности. Следует только уточнить влияние особенностей прибрежной растительности — наличие кустарника, камышей и др. Однако возникает другой важный вопрос: влияет ли растительность и на саму интенсивность такого размыва? В отечественных и зарубежных публикациях каких-либо сведений по этому вопросу нет. Тем не менее, исследования процесса размываемости грунтов без увязки его с растительностью ведутся уже давно [13]. Согласно работам Машенко и других авторов [14–16] для характеристик и размываемости грунтов используются два показателя:

– размывающая скорость водного потока, представляющая собой среднюю скорость водного потока, при которой начинается отрыв отдельных частиц и агрегатов и волочение их по потоку (м/с);

– интенсивность размыва — отношение средней толщины размываемого слоя грунта при данной скорости размыва к длительности размыва (мм/мин).

Эти показатели определяются индивидуально, для каждого конкретного случая расчетным или опытным путем. Используются специальные гидравлические лотки, результаты натурных наблюдений на существующих водотоках и водоемах. Обычно для илов размывающая скорость равна примерно 0,3 м/с, для мелких песков 0,4 м/с, для крупных песков 0,8 м/с, для глин (в зависимости от плотности) 0,8–2,1 м/с, для гравия 0,9–1,4 м/с, для пористого известняка 3,7 м/с.

Результаты и обсуждение

Размываемость глинистых грунтов зависит от их структурно-текстурных особенностей, от их дисперсности. Размывающие скорости в грунтах с ненарушенным сложением в 3–6 раз выше, чем при нарушенном сложении. Сопrotивляемость размыву возрастает при преобладании частиц 0,001–0,05 мм, а также при уменьшении пористости. Сопrotивляемость размыву водонасыщенных грунтов выше, чем воздушно-сухих, так как водонасыщенные грунты меньше впитывают в себя воду.

Если рассматривать размывание грунта в зоне береговой линии, то необходимо выделить два процесса. Во-первых, это процесс отрыва и увлечения водным потоком мелких частиц грунта, приводящий к постепенному соскабливанию поверхностного слоя грунта. Во-вторых, это образование трещин размыва, отрыв и вынос отдельных блоков грунта.

Не вызывает сомнений, что второй процесс зависит от наличия корней в грунте, которые удерживают образующиеся блоки отрыва. Что же касается первого процесса, то здесь определенности значительно меньше. По-видимому, должно иметь значение сцепление грунта с корнями береговой растительности. Способность грунта прилипнуть к различным материалам обычно характеризуется свойством, именуемым липкостью [17, 18]. Липкость определяется усилием, необходимым для отрыва прилипшего предмета от грунта при различных его влажностях. Липкость песков и супесей ничтожна по сравнению с липкостью глинистых грунтов, где она может достигать 50–55 кПа. Величина липкости зависит от материала, к которому грунт прилипает. Экспериментально установлено, что глинистые грунты сильнее всего прилипают к деревянным предметам (по сравнению с металлом), т. е. сцепление с корнями у глин должно быть значительным. Песчаные грунты, заторфованные грунты, наоборот, проявляют большую липкость к металлам [19, 20]. Таким образом, вымывание глинистого грунта из зоны, пронизанной корнями, должно (при прочих равных условиях) идти медленнее, чем вымывание песка.

Выводы

Устойчивость береговых склонов рек и интенсивность размыва их подножия (образование подрезки) зависят от наличия насаждений на этих склонах.

Вышеперечисленное требует подробного изучения. В целом для разработки методики расчета устойчивости береговых склонов с учетом насаждений необходимо решить следующие задачи:

– разработать методику прогнозирования изменений конфигурации берегового склона после ожидаемого размыва его подошвы (на период 20–30 лет);

– уточнить методику оценки удерживающего влияния корневой системы древесной растительности применительно к береговым склонам, т. е. методику установления прочностных характеристик грунтово-корневого слоя;

– разработать и проверить методику расчета устойчивости берегового склона с учетом размыва его подошвы и армирующего действия корневой системы древесно-кустарниковой растительности.

Список литературы

- [1] Рыжков И.Б., Арсланов А.А., Мустафин Р.Ф. О количественном учете древесно-кустарниковой растительности при расчете устойчивости склонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2014. № 3. С. 21–25.
- [2] Рыжков И.Б., Мустафин Р.Ф., Арсланов А.А. Оценка степени насыщенности грунтово-корневого туюяка корнями // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2012. № 4. С. 31–33.
- [3] Мустафин Р.Ф., Рахматуллин З.З., Райнова А.Р. Древесно-кустарниковая растительность при оценке устойчивости берегов рек // Природообустройство, 2016. № 5. С. 108–114.
- [4] Горячев В.С., Абдрахманов Р.Ф., Гареев А.М., Мустафин Р.Ф., Валитов С.А. Состояние реки Яманелги в районе куста нефтедобывающих скважин // Межведомственный сборник материалов / отв. ред. В.С. Горячев. Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. С. 34–36.
- [5] Хабиров И.К., Мустафин Р.Ф., Искандарова А.М., Райнова А.Р. Зависимость продуктивности лесов от запаса снежного покрова на лесных участках Уфимского района Республики Башкортостан // Пермский аграрный вестник, 2017. № 3. С. 155–159.
- [6] Арсланов А.А., Мустафин Р.Ф. Рекомендации по учету древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов // Градостроительство и архитектура, 2013. № 1 (9). С. 71–80.
- [7] Аношкин А.В. Оценка естественных размывов берегов средних рек в пределах урбанизированных территорий (на примере г. Биробиджана) // Региональные проблемы, 2005. № 6–7. С. 54–59.
- [8] Дерюгин А.А., Моисеев Б.Н. Водорегулирующая функция леса и ее изменение под влиянием рубок // Лесохозяйственная информация. 2004. № 9. С. 41–50.
- [9] Исангулов Ф.С., Габдрахимов К.М. Формирование устойчивых насаждений на облесенных крутосклонах Белебеевской возвышенности // Лесное хозяйство, 2011. № 2. С. 38–39.
- [10] Габдрахимов К.М. Лесорастительные свойства почв и продуктивность насаждений Предуралья. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Воронеж: Воронежский государственный университет, 1990. 22 с.
- [11] Загитова Л.Р. Оценка антропогенных изменений стока в бассейне реки Белой. Дисс. ... канд. геогр. наук. Пермь: ПермГТУ, 2004. 119 с.
- [12] Загитова Л.Р., Мустафин Р.Ф. Особенности загрязнения реки Зиган объектами нефтедобычи // Межведомственный сборник материалов, посвященных Всемирному дню водных ресурсов. Уфа: РИЦ БашГУ, 2012. С. 63–66.
- [13] Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов. М.: Научный мир, 2005. 504 с.
- [14] Машенко А.Б., Пономарев А.Б., Сычкина Е.Н. Специальные разделы механики грунтов и механики скальных грунтов. Пермь: ПНИПУ, 2014. 176 с.
- [15] Смирнов А.И. Площадная эрозия рек на территории Республики Башкортостан // Геологический сборник. Информационные материалы ИГ УНЦ РАН. Уфа: Ди-зайн Пресс, 2013. № 10. С. 34–36.
- [16] Перельмутер М.А., Федоровский В.Г. Откос. Анализ устойчивости откосов и склонов. М.: SCAD Structure, 2007. 15 с.
- [17] Katzenach R., Werner A. The use of trees and shrubs roots as reinforcement elements / Proc. of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Spain, Madrid, 24–27 September 2007 / Ed. V. Cuéllar, E. Dapena. Rotterdam, The Netherlands: Millpress Science Publishers, pp. 1485–1490.

- [18] Onuchin A.A. GIS as a tool for identification of forest water // Protection areas published in Sibirski Ekologicheski Zhurnal, 2008, vol. 15, no. 3, pp. 451–455.
- [19] Zhang Chao Bo, Chen Li Hua, Jiang Jing Vertical root distribution and root cohesion of typical tree species on the Loess Plateau, China // Arid Land, 2014, no. 6, pp. 601–611.
- [20] Hemmati S., Gatmiri B., Cui Y.J., Vincent M. Validation d'un modèle d'extraction d'eau par des racines d'arbre implanté dans θ -stoc // Comptes Rendus du XVII^{ème} Congrès international de mécanique des sols et d'ingénierie géotechnique. Alexandrie, Egipte, 5–9 October, 2009. Amsterdam: IOS Press, pp. 890–915.

Сведения об авторах

Мустафин Радик Флюсович — канд. с.-х. наук, декан факультета природопользования и строительства ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, mustafin-1976@mail.ru

Габдрахимов Камиль Махмутович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства и ландшафтного дизайна, директор Института рационального природопользования ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, gabdrahimov@mail.ru

Рыжков Игорь Борисович — д-р техн. наук, профессор кафедры природообустройства, строительства и гидравлики, ig-ryzhk@yandex.ru

Раянова Анжелика Рамисовна — аспирант кафедры природообустройства, строительства и гидравлики ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, anzhelika.rayanova@mail.ru

Поступила в редакцию 18.12.2018.

Принята к публикации 24.01.2019.

VEGETATION ON THE SLOPES IN THE ESTIMATION OF RIVER BANKS EROSION

R.F. Mustafin, K.M. Gabdrakhimov, I.B. Ryzhkov, A.R. Rayanova

Bashkir State Agrarian University, 34, 50 years of October st., 450001, Ufa, Russia

mustafin-1976@mail.ru

The article describes the processes of erosion slopes, banks of rivers and the impact of tree and shrub vegetation on slope stability. Observed that water erosion causes great harm to agricultural Hugo-dam and commercial buildings and structures. Especially notable is the effect of lateral erosion on the banks of rivers and streams. Trees and shrubs can play a special role in the fight against water erosion. The woods located in the water protection zones perform functions of prevention of pollution, a contamination, instruction of water objects and exhaustion of their waters, and also preservations of the habitat of water biological resources and other objects of an animal and flora, and also strengthening of coast of the rivers. The padding confining force of a ground and root layer is considered by simulated increase in a strength index of a soil — specific coupling «with» in the top zone of a soil. Increase in specific coupling is established depending on effective diameter of trunks of trees and average distance between trees. Washout of coast depends on a structure of these coast, morphology of river valleys, water content of the rivers, features of course of channel processes. The erosion of clay soils depends on their structural and textural features, on their dispersion. The washing-away speeds in soils with undisturbed addition in 3–6 times, than at the broken addition. Resilience to washout increases at a dominance of particles 0,001–0,05 mm, and also at porosity decrease. Resilience to washout of water-saturated soils is higher, than air-dried as water-saturated soils absorb in themselves water less. Washing away of a clay soil from the zone penetrated by roots has to go more slowly, than sand washing away. The offered assessment stability of coast of the rivers ecologically safe. It corresponds to natural process to restitution of the degraded lands.

Keywords: plantings, slope, tree and shrub vegetation, soils, roots, erosion, stickiness, specific adhesion

Suggested citation: Mustafin R.F., Gabdrakhimov K.M., Ryzhkov I.B., Rayanova A.R. *Nasazhdeniya na sklonakh pri otsenke razmyva beregov rek* [Vegetation on the slopes in the estimation of river banks erosion]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 78–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-78-83

References

- [1] Ryzhkov I.B., Arslanov A.A., Mustafin R.F. *O kolichestvennom uchete drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti pri raschete ustoychivosti sklonov* [On quantitative accounting of trees and shrubs in the calculation of slope stability]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Bases, foundations and soil mechanics], 2014, no. 3, pp. 21–25.
- [2] Ryzhkov I.B., Mustafin R.F., Arslanov A.A. *Otsenka stepeni nasyshchennosti gruntovo-kornevogo tyufyaka kornyami* [Estimation of the degree of saturation of the soil-root mattress with roots]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2012, no. 4, pp. 31–33.

- [3] Mustafin R.F., Rakhmatullin Z.Z., Rayanova A.R. *Drevesno-kustarnikovaya rastitel'nost' pri otsenke ustoychivosti beregov rek* [Tree-shrub vegetation in assessing the sustainability of river banks]. *Prirodooobustroystvo* [Environmental Management], 2016, no. 5, pp. 108–114.
- [4] Goryachev V.S., Abdrakhmanov R.F., Gareev A.M., Mustafin R.F., Valitov S.A. *Sostoyanie r. Yamanelgi v rayone kusta nefte dobyvayushchikh skvazhin* [State river Yamanelga in the area of oil producing wells]. *Mezhvedomstvennyy sbornik materialov*. Ed. V.S. Goryachev. Ufa: RITs BashGAU, 2013, pp. 34–36.
- [5] Khabirov I.K., Mustafin R.F., Iskandarova A.M., Rayanova A.R. *Zavisimost' produktivnosti lesov ot zapasa snezhnogo pokrova na lesnykh uchastkakh Ufimskogo rayona Respubliki Bashkortostana* [Dependence of forest productivity on the snow cover in forest areas of the Ufa district of the Republic of Bashkortostan]. *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm Agrarian Journal], 2017, no. 3, pp. 155–159.
- [6] Arslanov A.A., Mustafin R.F. *Rekomendatsii po uchetu drevesno-kustarnikovykh rastitel'nosti pri raschetakh ustoychivosti sklonov* [Recommendations on the accounting of trees and shrubs in calculating the sustainability of slopes]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2013, no. 1 (9), pp. 71–80.
- [7] Anoshkin A.V. *Otsenka estestvennykh razmyvov beregov srednikh rek v predelakh urbanizirovannykh territoriy (na primere g. Birobidzhan)* [Assessment of natural erosion of the banks of medium rivers within urbanized areas (using the example of Birobidzhan)]. *Regional'nye problemy* [Regional problems], 2005, no. 6–7, pp. 54–59.
- [8] Deryugin A.A., Moiseev B.N. *Vodoreguliruyushchaya funktsiya lesa i ee izmenenie pod vliyaniem rubok* [Water regulating function of a forest and its change under the influence of logging]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2004, no. 9, pp. 41–50.
- [9] Isangulov F.S., Gabdrakhimov K.M. *Formirovanie ustoychivyykh nasazhdeniy na oblesennykh krutosklonakh Belebевskoy vozvyshehnosti* [Formation of sustainable plantations on forested steep slopes of the Belebев Upland]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2011, no. 2, pp. 38–39.
- [10] Gabdrakhimov K.M. *Lesorastitel'nye svoystva pochv i produktivnost' nasazhdeniy Predural'ya* [Forest Properties of soils and productivity of plantings of the Urals]. *Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Abstract of the thesis for the degree of Cand. Sci. (Biological)]. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, 1990, 22 p.
- [11] Zagitova L.R. *Otsenka antropogennykh izmeneniy stoka v bassejne r. Beloy* [Assessment of anthropogenic changes in runoff in the Belaya river basin]. *Diss. ... kand. geogr. nauk* [Thesis for the degree of Cand. Sci. (Geographical)]. Perm': PermGTU, 2004, 119 p.
- [12] Zagitova L.R., Mustafin R.F. *Osobennosti zagryazneniya reki Zigan ob'ektami nefte dobychi* [The Peculiarities of pollution of the river Zigan objects of oil production]. *Mezhvedomstvennyy sbornik materialov, posvyashchennykh Vsemirnomu dnyu vodnykh resursov* [Interdepartmental collection of materials on world water day]. Ufa: RITs BashGAU, 2012, pp. 63–66.
- [13] Voronkevich S.D. *Osnovy tekhnicheskoy melioratsii gruntov* [Fundamentals of technical soil reclamation]. Moscow: Nauchnyy mir [Scientific world], 2005, 504 p.
- [14] Mashchenko A.B., Ponomarev A.B., Sychkina E.N. *Spetsial'nye razdely mekhaniki gruntov i mekhaniki skal'nykh gruntov* [Special topics of soil mechanics and rock mechanics soil]. Perm': PNIPU, 2014, 176 p.
- [15] Smirnov A.I. *Ploshchadnaya eroziya rek na territorii Respubliki Bashkortostan* [Area erosion of rivers in the territory of the Republic of Bashkortostan]. *Geologicheskii sbornik. Informatsionnye materialy IG UNTs RAN* [Geological collection. Information materials UNC RAS]. Ufa: Dizayn Press [Design Press], 2013, no. 10, pp. 34–36.
- [16] Perel'muter M.A., Fedorovskiy V.G. *Otkos. Analiz ustoychivosti otkosov i sklonov*. [The Slope. The analysis of stability of slopes and slopes]. Moscow: SCAD Structure, 2007, 15 p.
- [17] Katzenach R., Werner A. The use of trees and shrubs roots as reinforcement elements / Proc. of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Spain, Madrid, 24–27 September 2007. Ed. V. Cuéllar, E. Dapena. Rotterdam, The Netherlands: Millpress Science Publishers, pp. 1485–1490.
- [18] Onuchin A.A. GIS as a tool for identification of forest water. Protection areas published in *Sibirski Ekologicheski Zhurnal*, 2008, vol. 15, no. 3, pp. 451–455.
- [19] Zhang Chao Bo, Chen Li Hua, Jiang Jing Vertical root distribution and root cohesion of typical tree species on the Loess Plateau, China. *Arid Land*, 2014, no. 6, pp. 601–611.
- [20] Hemmati S., Gatmiri B., Cui Y.J., Vincent M. Validation d'un modèle d'extraction d'eau par des racines d'arbre implanté dans θ -stoc. *Comptes Rendus du XVII^{ème} Congrès international de mécanique des sols et d'ingénierie géotechnique*. Alexandrie, Egipte, 5–9 October, 2009. Amsterdam: IOS Press, pp. 890–915.

Authors' information

Mustafin Radik Flusovich — Cand. Sci. (Agriculture), Dean of the faculty of natural resources and the construction of the Bashkir State Agrarian University, mustafin-1976@mail.ru

Gabdrakhimov Kamil Makhmutovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of forestry and landscape design, Director of the Institute of environmental management of the Bashkir State Agrarian University, gabdrahimov@mail.ru

Ryzhkov Igor Borisovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the department of environmental engineering, construction, and hydraulics Bashkir State Agrarian University, ig-ryzhk@yandex.ru

Rayanova Angelica Romasovna — post graduate of the Department of environmental engineering, construction and hydraulics of the Bashkir State Agrarian University, anzhelika.rayanova@mail.ru

Received 18.12.2018.

Accepted for publication 24.01.2019.