

УДК 631.432.32:58.051

**ВЛИЯНИЕ УКЛОНА МЕСТНОСТИ НА РАЗВИТИЕ
КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ И ЭРОЗИЮ ПОЧВЫ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ**

Гочияева З.У., Гедиев К.Т., Токова Ф.М.

*ФГБОУ ВО «Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия»,
Черкесск, e-mail: agrofb@yandex.ru*

Корни изменяют свойства почвы в непосредственной близости от места их расположения. Тонкие корневые волоски (<1 мм в диаметре) мало влияют на свойства почвы, но так как они составляют большую часть общей длины корней растения, они могут оказывать воздействие на эрозионную стойкость почвы. Корни в поверхностном слое почвы могут влиять на эрозионную стойкость почвы в различном направлении. Уклон местности, на которой произрастает растение, влияет на рост корней. Исследование проводилось в условиях горной зоны Карачаево-Черкесской Республики, с целью оценки взаимовлияния таких факторов, как уклон местности, развитие корней, водная эрозия почвы. Почва на всех трех участках – мицеллярно-карбонатный предкавказский тяжелосуглинистый чернозем. Для этого проводились исследования в трех типах землепользования: занятой пар (вика + овес на зеленый корм), посев зерновой культуры (озимая пшеница), естественная древесная растительность. Для изучения корней в процессе вегетации использовали метод монолитов и траншейный метод со стеклянной стенкой. Для измерения плотности и длины корней мы использовали площадку площадью 1 м². На таких же площадках исследовали особенности проникновения влаги к корневой системе, сток, смыв почвы и другие показатели. Было обнаружено, что коэффициент фильтрации увеличивается с уклоном, как под посевами, так и под паром. Наблюдается выраженная обратная зависимость между пространственной длиной корней и величиной уклона. Наиболее ярко эта зависимость наблюдалась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона показатель снизился более чем в два раза.

Ключевые слова: корни, корневые волоски, плотность корней, длина корней, уклоны, смыв почвы, эрозия

INFLUENCE OF THE SURFACE SLOPE ON THE DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM AND EARTH EROSION IN DEPENDENCE ON THE TYPE OF LAND USE

Gochiyeva Z.U., Gediev K.T., Tokova F.M.

North-Caucasian State Humanitarian-Technological Academy, Cherkessk, e-mail: agrofb@yandex.ru

Roots change the properties of the soil in the immediate vicinity of their location. Thin root hairs (<1 mm in diameter) have little effect on soil properties, but since they form a large part of the total length of the plant roots, they can affect the erosion resistance of the soil. Roots, in the surface layer of the soil, can affect the erosion resistance of the soil in a different direction. The slope of the terrain on which the plant grows affects the growth of roots. The study was carried out in the conditions of the mountainous zone of the Karachaevo-Cherkess Republic in order to assess the mutual influence of such factors as the slope of the terrain, the development of roots, and water erosion of the soil. The soil in all three sections is a micellar-carbonate pre-Caucasian heavy loam black soil. To this end, studies were conducted in three types of land use: busy steam (vetch + oats for green fodder), sowing of cereals (winter wheat), and natural tree vegetation. To study the roots during the growing season, the monolith method and the trench method with a glass wall were used. To measure the density and length of the roots, we used an area of 1 m². At the same sites, we studied the features of moisture penetration to the root system, runoff, flushing of soil and other indicators. It was found that the filtration coefficient increases with a slope, both under crops and under steam. There is a pronounced inverse relationship between the spatial length of the roots and the magnitude of the slope. Most clearly this dependence was observed in the variant with sowing of winter wheat. As the slope increased, the indicator fell more than twofold.

Keywords: roots, root hairs, root density, root length, slopes, soil erosion, erosion

Роли и функции различных частей корневой системы варьируются в зависимости от вегетационного периода и местонахождения корней в корневой системе и относительно локальной почвенной среды [1]. Корни выполняют множество функций: сбор воды и питательных веществ, необходимых для роста растений, фиксация растений, аккумуляция воды, питательных веществ и органических веществ – поступающих в корни из надземной части растения. Корни также изменяют физико-химические

свойства почвы в непосредственной близости (ризосфера) с помощью таких процессов, как высвобождение сложных органоминеральных соединений, взаимодействие с почвенной микрофлорой или дыхание. Поскольку рост корней индуцирует в ризосфере множество изменений в физических и химических свойствах почвы, считается, что корни влияют и на эрозионную стойкость почвы.

При уклонах поверхности почвы направление и ориентация роста корней игра-

ют важную роль в определении развития и выживания растений. Как следствие, величина уклона влияет на архитектуру корневой системы [2]. Так, ряд исследователей [2, 3] показали, что механическое напряжение, возникающее в корневой системе из-за надземной части растений метельника ситникового (*Spartium junceum* L.), растущих в контейнерах, установленных с углом наклона 100% (45°), вызвало увеличение общей длины корней по сравнению с растениями, выращенными в горизонтальных контейнерах, и что эта адаптация была связана с качественными и количественными изменениями содержания белка в клетках корней.

Цель исследований – выявить влияние корней на эрозию почвы и устойчивость почвы к смыву при различных уклонах местности. Мы также рассмотрели вероятную роль корней в борьбе с эрозией почв, сосредоточив внимание на развитии мелких корней вблизи поверхности почвы при различных способах землепользования и различных уклонах.

Материалы и методы исследования

Водосбор расположен недалеко от поселка Кавказский, Прикубанского района КЧР, место исследования (координаты Google 44,2633283, 42,2488331) в 800 м от п. Кавказский и в 300 м от Кубанского водохранилища на территории земле-

пользования учебно-опытного хозяйства СевКавГГТА (рис. 1).

Среднегодовое количество осадков составляет 650 мм/год, причем 70% осадков выпадает в течение вегетационного периода – с марта по ноябрь. Почва – мицеллярно-карбонатный предкавказский тяжелоуглинистый чернозем на лессовидных суглинках.

Корневой рост контролировался в трех местах: естественная древесная растительность, занятой пар и посев озимой пшеницы. Первое местоположение имело средний уклон 45% (24,23°) (вариации с 10 до 70%), второе – уклон 10% (5,71°) (вариации с 10 до 70%), третий участок – уклон 11% (6,28°) (вариации с 10 до 70%). Все участки расположены на высотах 610–620 м над уровнем моря. Для исследования развития корневой системы применялись два метода – метод траншеи и модифицированный метод почвенных монолитов (метод Н.А. Качинского) [4].

На исследуемых участках были установлены по два корневых окна (траншея, с одной стороны отделенная стеклом) до глубины почвы ~ 30 см. Рост корней отслеживался вручную, с помощью фотографирования. Верхняя часть окон была закрыта, в промежутки, между измерениями для предотвращения эффектов, вызванных фотофобией корня, крышкой из темного пластика.



Рис. 1. Водосбор Кубанского водохранилища

Изменения гранулометрического состава почвы с увеличением уклона

Наименование механических элементов	Посев и занятой пар						Древесная растительность		
	Угол наклона, (%)								
	10	25	40	55	70	10	45		
Тонкий ил, (%) (0,0001–0,0005 мм)	20,72 ± 1,49	21,6 ± 1,82	19,85 ± 1,37	21,51 ± 2,13	27,67 ± 1,92	28,53 ± 1,59	26,45 ± 1,62		
Грубый ил, (%) (0,0005–0,001 мм)	9,55 ± 0,75	7,84 ± 0,49	6,13 ± 0,58	4,99 ± 0,63	5,38 ± 1,05	9,48 ± 0,76	8,66 ± 0,84		
Мелкая пыль (0,001–0,005 мм)	11,8 ± 0,79	11,97 ± 0,89	23,76 ± 2,13	28,92 ± 1,98	24,74 ± 2,24	12,88 ± 0,96	6,65 ± 0,54		
Средняя пыль (0,005–0,01 мм)	6,72 ± 0,64	5,33 ± 0,68	6,94 ± 0,47	4,75 ± 0,41	9,81 ± 0,72	6,99 ± 0,79	4,51 ± 0,36		
Крупная пыль (0,01–0,05 мм)	23,08 ± 2,85	29,43 ± 3,11	27,62 ± 2,87	19,55 ± 1,65	7,26 ± 0,72	14,63 ± 1,07	6,03 ± 0,41		
Мелкий песок, (%) (0,05–0,25 мм)	13,7 ± 1,11	11,01 ± 0,98	6,32 ± 0,38	5,67 ± 0,48	6,67 ± 0,66	10,01 ± 0,94	10,65 ± 0,67		
Средний песок (0,25–0,5 мм)	2,4 ± 0,17	3,14 ± 0,12	1,98 ± 0,22	2,44 ± 0,13	1,66 ± 0,21	2,46 ± 0,23	1,61 ± 0,18		
Крупный песок, (%) (0,5–1 мм)	10,59 ± 1,05	9,07 ± 1,05	6,88 ± 0,60	10,13 ± 0,79	14,48 ± 1,51	12,77 ± 1,02	17,93 ± 1,14		
Гравий, (%) (1–3 мм)	1,44 ± 0,05	0,61 ± 0,12	0,52 ± 0,04	2,04 ± 0,11	2,33 ± 0,13	2,25 ± 0,19	17,51 ± 0,24		

Как для посевов озимой пшеницы, так и для посевов занятого пара (вико-овсяная смесь на зеленый корм) наблюдали рост корней при вариациях уклонов от 10 до 70%. Углы наклона, при которых брались монолиты, 10, 40 и 70%. Все монолиты были взяты в трех повторностях толщиной 5 см (0–5 см, исключая лесную подстилку в случае древесной растительности). Окна наблюдения за корневой системой были установлены под углами наклона 10, 25, 40, 55 и 70% (т.е. 5,7°, 14,04°, 21,80°, 28,81° и 34,99° соответственно). Всего было собрано и обработано 90 монолитов и осуществлено 60 измерений через корневые окна.

Корни тщательно отделялись от почвы с использованием специальной гидропневматической машины. После разделения корневые образцы хранили в разбавленной уксусной кислоте (5% раствор) при 6°C до тех пор, пока не будут измерены в лаборатории. Параметры, характеризующие рост корней, следующие: пространственное распределение длины корня, средний диаметр корня, масса воздушно-сухих корней и удельная длина корня.

Чтобы получить измерения длины и диаметра корней, сначала мы сканировали каждый вымытый образец корня с помощью планшетного сканера. Для этого корневые образцы помещались в стеклянный лоток той же ширины, что и окно сканера (размеры 210x300 мм) и глубиной около 30 мм. Перед каждым сканированием корневой образец осторожно переносили в лоток, наполовину заполненный водой.

Мониторинг инфильтрации, стока и смыва почвы. Для оценки стока и смыва почвы мы использовали учетные площадки размером 1 м². Каждая площадка состояла из металлической рамы, частично вставленной в почву, чтобы создать граничную площадь поверхности почвы 1x1 м. За учетной площадкой (ниже по склону) была установлена емкость объемом 100 л, углубленная в почву, в которую собирался сток и смыв почвы. Вода, собранная из емкости после каждого дождя, использовалась для оценки объема стока и концентрации осадка в сточной воде. Кумулятивное количество осадков, измеренное почвенным дождемером (WatchDog 1120), сочеталось с измерениями учетной площадки, для получения коэффициента стока и инфильтрации.

Что касается инфильтрации / стока, то содержание воды в почве контролировалось два раза в неделю с помощью почвенного влагомера Aquaterr. Фильтрационная влага собиралась на глубине 100 см.

Результаты исследования и их обсуждение

Плотность сложения почвы составляла в среднем 1,15 г/см³ под посевом и занятым паром и 1,22 г/см³ под древесной растительностью, без значимого изменения по склону. Все измеренные почвы по гранулометрическому составу соответствовали тяжелосуглинистым с преобладанием фракции физической глины (частицы менее 0,01 мм) от 42 до 68% (таблица).

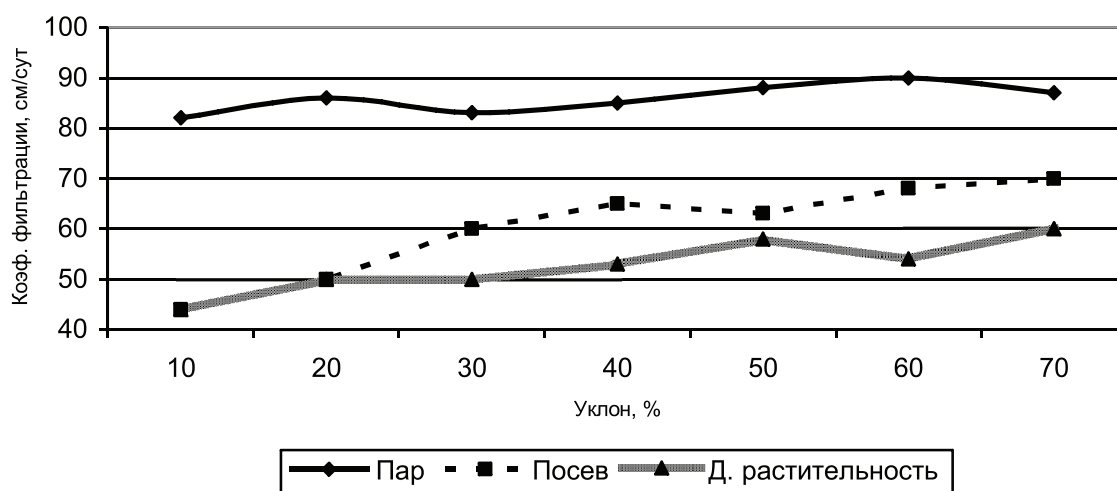


Рис. 2. Изменение коэффициента фильтрации (в слое 0–100 см) в зависимости от угла наклона в условиях посева, занятого пара и древесной растительности, (см/сут)

Не было существенной разницы в содержании средней и крупной фракций песка и гравия с увеличением величины уклона. Содержание тонкого ила и мелкой пыли имело достоверную тенденцию к росту (соответственно с $20,72 \pm 1,49$ до $27,67 \pm 1,92\%$ и с $11,8 \pm 0,79$ до $24,74 \pm 2,24\%$). Изменения в содержании грубого ила и средней пыли были незначительными (таблица).

Другие измеренные параметры почвы (органический углерод, общий N и отношение C/N), как правило, увеличивались с увеличением угла наклона под посевом, тогда как в условиях занятого пара наблюдалась противоположная тенденция.

Было обнаружено, что коэффициент фильтрации увеличивается с уклоном, как под посевами, так и под паром

(рис. 2). Наибольший коэффициент фильтрации ожидаемо наблюдался на занятом поле (колебания в зависимости от уклона 82–90 см/сут). Влияние уклона также отразилось на коэффициенте фильтрации в посевах озимой пшеницы и в условиях древесной растительности, однако в меньшей степени, чем в условиях пара. Наибольший коэффициент фильтрации был достигнут при наибольшем уклоне (70 см/сут в случае посева озимой пшеницы и 61 см/сут в случае древесной растительности).

Анализ монолитов, собранных в течение 5 месяцев исследования роста корней, показал значительные различия между пространственным распределением длины корней, в зависимости от типа землепользования (рис. 3).

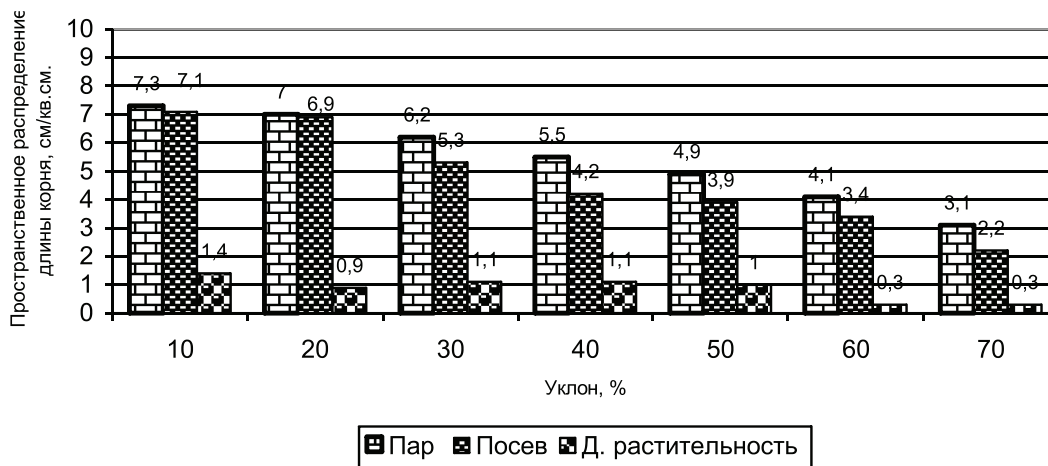


Рис. 3. Изменение пространственного распределения корней в зависимости от уклона и типа землепользования

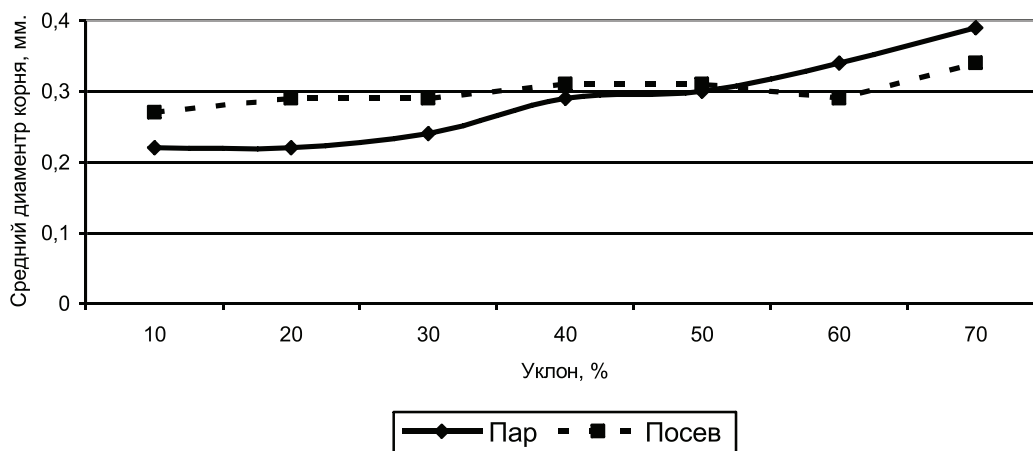


Рис. 4. Изменение среднего диаметра корня в зависимости от уклона местности

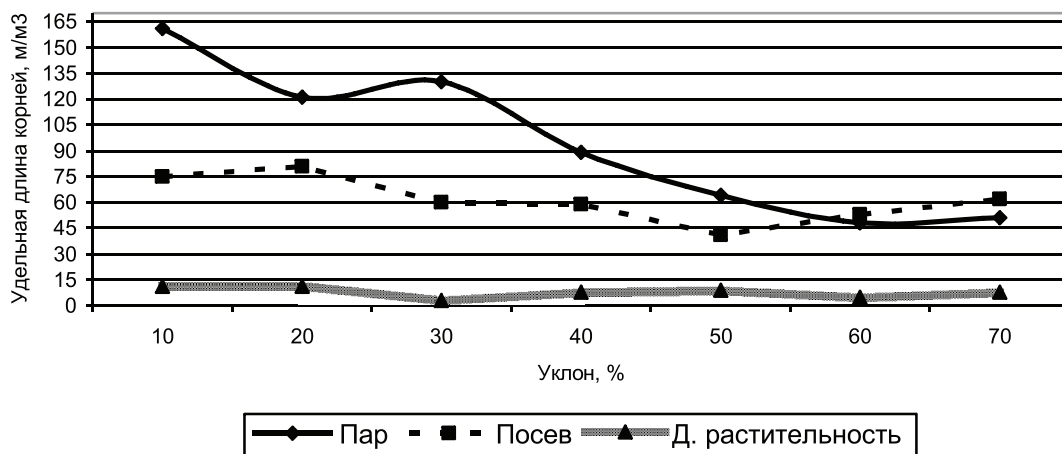


Рис. 5. Изменение удельной длины корня в зависимости от уклона местности

Наблюдается выраженная обратная зависимость между пространственной длиной корней и величиной уклона. Наиболее ярко эта зависимость наблюдалась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона с 10 до 70% показатель снизился с 7,3 до 3,1 см/см², или более чем в два раза. Аналогичная тенденция наблюдалась в варианте занятого пара – произошло снижение с 7,1 до 2,2 см/см². В случае древесной растительности такого выраженного эффекта не наблюдалось вплоть до уклона в 50% (показатели колебались от 1,4...1,0 см/см² – разница статистически недостоверна). Однако с дальнейшим увеличением уклона – до 70% – произошло резкое уменьшение длины корней в расчет на площадь корневого окна – до 0,3 см/см².

Диаметры корней и удельная длина корней. В посевах озимой пшеницы средний диаметр корня значительно ($p < 0,05$) увеличился с $0,27 \pm 0,034$ до $0,34 \pm 0,06$ мм (рис. 4) с увеличением угла наклона.

Эти тенденции были подтверждены средними измерениями длины корней (рис. 5), которые уменьшились с $77,04 \pm 48,22$ до $37,82 \pm 25,34$ м/м³ и $106,92 \pm 55,24$ до $36,41 \pm 19,66$ м/м³ в занятом паре и посевах озимой пшеницы соответственно, поскольку угол наклона увеличился от 10 до 70%.

Мы выявили, что однолетние (озимая пшеница) и многолетние виды (древесные растения) растений развивают плотные сети тонких волокнистых корней вблизи поверхности почвы, тогда как плотность укоренения обычно имеет тенденцию к уменьшению с увеличением глубины почвы, аналогичные результаты (максимальное нарастание корневой системы в слое почвы

0–20 см) были получены в исследованиях ряда ученых [5]. Увеличение уклона местности значительно влияет на гранулометрический состав, в частности происходит вымывание вниз по склону ряда фракций (крупный песок, тонкий ил), эти результаты коррелируют с данными Г.А. Ларионова, О.Г. Бушуевой и других ученых [1].

Наши исследования подтвердили, что тонкие корни локально связывают почву и, уменьшая эрозию почвы, повышают устойчивость верхнего слоя почвы. Данная функция корневой системы общеизвестна и находит подтверждение во многих исследованиях, например в работах В.Г. Гребенникова и И.А. Шипилова [2], Однако данное свойство корневой системы находится в сложной зависимости от типа почвы (чем тяжелее почвы, тем выраженнее противоэрозионное влияние корней) и видов растений (максимальный эффект наблюдается у посевов многолетних трав [2, 3], минимальный эффект – древесные растения), Поэтому увеличение плотности корневой системы может и не иметь выраженного влияния на устойчивость почвы к смыву в случае песчаных и супесчаных почв [6].

Выводы

Таким образом, уклон местности оказывает значительное влияние на гранулометрический состав почвы – имеется выраженная тенденция к накоплению физической глины и ила на участках с уклонами более 40%. Было обнаружено, что коэффициент фильтрации увеличивается с уклоном, как под посевами, так и под паром. Наибольший коэффициент фильтрации был достигнут при наибольшем уклоне. Наблюдается выраженная обратная

зависимость между пространственной длиной корней и величиной уклона. Наиболее ярко эта зависимость наблюдалась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона с 10 до 70% показатель снизился с 7,3 до 3,1 см/см², или более чем в два раза.

Список литературы

1. Влияние физических свойств почв на разрушение межагрегатных связей при эрозии почв / Г.А. Ларионов, О.Г. Бушуева, А.В. Горобец [и др.] // Эволюция эрозионно-русловых систем, её хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учёт. Доклады и сообщения Всероссийской научно-практической конференции и XXXII межвузовского координационного совещания. – М., 2017. – С. 162–164.

2. Гребенников В.Г., Шипилов И.А. Многолетние травы как фактор защиты почв от эрозии и повышения почвенного плодородия каштановых почв // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – Ставрополь. – 2010. – Т. 3. – № 1. – С. 68–71.

3. Мирхайдарова Г.С., Бекмурадова Ф.К.Б. Изменение некоторых показателей почв под воздействием эрозии и роль биомассы по защите почвы // Биоэкономика и экобиополитика. – 2016. – № 2 (3). – С. 105–107.

4. Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 51 с.

5. Травникова Л.С., Артемьева З.С., Сорокина Н.П. Распределение гранулоденсиметрических фракций в дерново-подзолистых почвах, подверженных плоскостной эрозии // Почвоведение. – 2010. – № 4. – С. 495–504.

6. Chiatante D., Sarnataro M., Fusco S., Di Iorio A., Scipra G.S. Modification of root morphological parameters and root architecture in seedlings of *Fraxinus ornus* L. and *Spartium junceum* L. growing on slopes. *Plant Biosystems*, 2003, no. 137, pp. 47–56.

References

1. Larionov G.A., Bushueva O.G., Gorobets A.V., Dobrovol'skaia N.G., Kiriukhina Z.P., Kiriukhina Z.P., Krasnov S.F., Litvin L.F. Vliianie fizicheskikh svoistv pochv na raz-

rushenie mezhagregatnykh svyazei pri erozii pochv [Influence of physical properties of soils on the destruction of inter-aggregate bonds in soil erosion]. *Evolutsiia erozionno-ruslovykh sistem, ee khoziaistvenno-ekonomicheskie i ekologicheskie posledstviia, prognozyne otsenki i uchet. Doklady i soobshcheniia Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii i XXXII mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniia* (g. Ufa, 3–6 oktiabria 2017 g.) [Proceedings of Evolution of erosion-channel systems, its economic, economic and environmental consequences, forecast estimates and accounting. Reports and reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference and the XXXII Interuniversity Coordination Meeting (Ufa, October 3–6, 2017)], *Aeterna*, 2017, pp. 162–164.

2. Grebennikov V.G., Shipilov I.A. Perennial herbs as a factor of soil protection from erosion and increase of soil fertility of chestnut soils [Mноголетnie travy kak faktor zashchity pochv ot erozii i povysheniia pochvennogo plodorodiia kashtanovykh pochv]. *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovtsevodstva i kozovodstva* – Collection of scientific works of the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Production, 2010, no. 3, pp. 68–71.

3. Mirkhaidarova G.S., Bekmuradova F.K.B. Change of some indicators of soils under the influence of erosion and the role of biomass on soil protection [Izmenenie nekotorykh pokazatelei pochv pod vozdeistviem erozii i rol' biomassy po zashchite pochvy]. *Bioekonomika i ekobiopolitika* – Bioeconomics and eco-biopolitics, 2016, no. 2, pp. 105–107.

4. Rozhkov V.A., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R. *Metody izucheniia kornevykh sistem rastenii v pole i laboratorii*. M.: GOU VPO MGUL, 2008. 51 p. [Methods of studying of root systems of plants in the field and laboratory]. Moscow, GOU VPO MGUL, 2008, 51.

5. Travnikova L.S., Artem'eva Z.S., Sorokina N.P. Distribution of granulodensimetric fractions in the cespitose and podsolc soils subject to a plane erosion [Raspredelenie granulodensimetriceskikh fraktsii v dernovo-podzolistykh pochvakh, podverzhennykh ploskostnoi erozii]. *Pochvovedenie* – Soil science, 2010, no. 4, pp. 495–504.

6. Chiatante D., Sarnataro M., Fusco S., Di Iorio A., Scipra G.S. Modification of root morphological parameters and root architecture in seedlings of *Fraxinus ornus* L. and *Spartium junceum* L. growing on slopes. *Plant Biosystems*, 2003, no. 137, pp. 47–56.