



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-2-192-203

УДК 556.5(1/9)

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ДЕМАРКАЦИИ МАНАБИ (ЭКВАДОР)

Кампос Седеньо Антонио Фермин (Эквадор)<sup>1</sup>, Е.К. Синиченко<sup>1</sup>, И.И. Грицук<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

<sup>2</sup> Институт водных проблем РАН  
ул. Губкина, 3, Москва, Россия, 119333

Водная эрозия — наиболее важная причина разрушения почв во всем мире. Так, в Азии из 747 млн гектаров земель, страдающих от эрозии, 60% соответствуют водной эрозии; в Африке из 497 млн — 46%; в Южной Америке из 243 млн — 51%; в Европе из 219 млн — 53%; 106 млн — в северной и центральной Америках (Бифани, 1984). Тот же автор указывает что, явление эрозии тесно связано с явлением оседания. Процесс эрозии под воздействием воды обычно измеряется по объему наносов. Реки Ганг, Брахмапутра, Хуанхэ ежегодно транспортируют 1451 млн, 726 млн и 1887 млн т наносов, соответственно, по сравнению с реками Миссисипи, Амазонка и Нила, которые переносят только 97, 63 и 31 тонн на квадратный километр бассейна (Хоулмен, 1968) [9].

Эрозия почв в Эквадоре представляет серьезную экологическую проблему, которая затрагивает большую часть страны в той или иной степени. Использование методов прогнозирования смыва поверхностного плодородного слоя почв от осадков не получила широкого применения, ввиду того, что многочисленные исследования были направлены на количественную оценку скорости эрозии для различных видов землепользования в прибрежных зонах речных бассейнов, а лишь немногие были сосредоточены на прогнозировании эрозионных процессов по всей территории. В 1986 году Эквадорский центр географических исследований (CEDIG) впервые провел ряд исследований, связанных со сбором общих данных о проблемах эрозии в стране [4].

В настоящей работе, на основе актуальных данных по дождевым осадкам за 51 год и составу почв, проведена оценка потенциальной водной эрозии гидрографической демаркации Манаби.

**Ключевые слова:** водная эрозия, демаркация Манаби, уравнение разрушения почвы, фактор R-USLE, фактор K-USLE, фактор LS-USLE

Гидрографическая демаркация Манаби одна из 9 в Республике Эквадор, имеющая площадь 11483,70 км<sup>2</sup>, которая составляет 4,5% всей территории страны. На западе омывается Тихим океаном и расположена на северо-западе Эквадора (рис. 1).

Водная эрозия — процесс разрушения почв, который тесно связан с объемом и интенсивностью дождевых осадков. Влияние энергии дождя на почву тем больше, чем меньше растительного покрова, с одной стороны. С другой стороны, состав грунта является еще одним важным фактором, участвующим в этом процессе.



**Рис. 1.** Расположение гидрографической демаркации Манаби  
[Fig. 1. Location hydrographic demarcation of Manabi]

При исследовании были использованы следующие данные:

- цифровая модель рельефа гидрографической демаркации Манаби разрешением 76 м [8];
- многолетние среднегодовые дождевые осадки 34-х метеорологических станций гидрографической демаркации Манаби, в период 1963—2013 годов [1; 2];
- гидрогеологическая карта Эквадора [8];
- всемирная карта классификации почв [7].

### Методологический подход

Для оценки *действительной водной эрозии* использовано универсальное уравнение разрушения почвы (USLE — Universal Soil Loss Equation), разработанное департаментом сельского хозяйства Службы охраны почв США (USDA SCS; сейчас Natural Resources Conservation Service, NRCS):

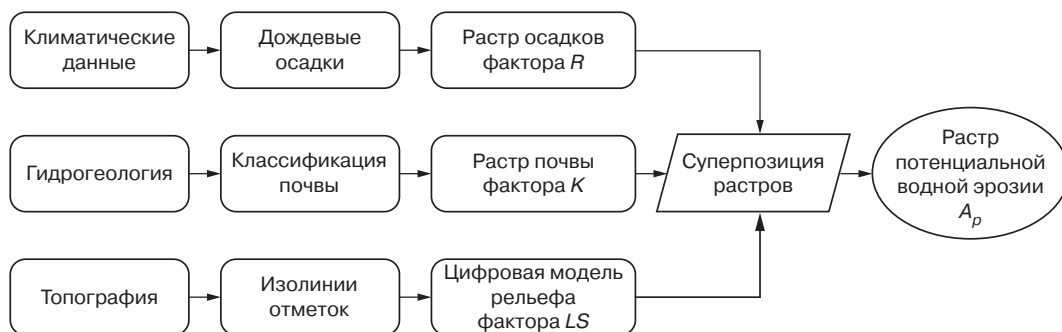
$$A = RKLSCP, \quad (1)$$

где  $A$  — годовая потеря почвы, т/га;  $R$  — фактор дождевых осадков, МДж·мм/(га·час);  $K$  — фактор размываемости почв, т·га·ч/(МДж·мм·га);  $L$  — фактор длины склона, о.е.;  $S$  — фактор уклона склона;  $C$  — коэффициент покрова почвы, о.е.;  $P$  — фактор практики сохранения почв, о.е.

При определении потенциальной водной эрозии, факторы  $C$  и  $P$  равны единице и уравнение (1) приобретает вид:

$$A_p = RKLS. \quad (2)$$

В рисунке 2 приведена структурная схема последовательности расчетов с помощью гидрографических информационных систем (ГИС).



**Рис. 2.** Структурная схема процесса получения растра потенциальной водной эрозии  
[Fig. 2. A block diagram of the process of obtaining the raster potential water erosion]

**Фактор дождевых осадков  $R$**  определяется в зависимости от максимальной интенсивности дождя за 30 мин и от ее кинетической энергии.

Важное место в расчетах имеет удельная кинетическая энергия, которая определяется для каждого интервала с равномерным значением интенсивности дождя, по формуле Wischmeier-Smith 1978 [5]

$$e = 0,1191 + 0,0873 \log_{10} I, \quad (3)$$

где  $I$  — интенсивность дождя для каждого рассчитанного интервала, мм/ч.

Энергия дождя будет

$$E = eP, \quad (4)$$

где  $P$  — дождевой осадок для каждого рассчитанного интервала, мм.

Сложение значений всех удельных энергии, умноженных на интенсивность дождя за 30 мин даст значения  $EI$  события. Годовой фактор  $R$  рассчитывается путем сложения всех значений  $EI$  имеющихся за год. На основе многолетних среднегодовых значений фактора  $R$  для гидрографической демаркации Манаби (табл. 1), с помощью ГИС, построен растр фактора  $R$  (рис. 3).

Таблица 1

**Многолетние среднегодовые значения фактора  $R$ -USLE**  
[Long-term average annual values of a factor of R-USLE]

№ п/п	Код метеостанции	Координаты UTM (WGS1984, 17S)		Многолетние среднегодовые осадки, мм	Фактор R-USLE, МДж·мм/(га·ч)
		X	Y		
1	M005	559523	9884982	528,0	77,07
2	M006	671167	9878373	2156,7	2042,40
3	M026	684860	9947353	2768,8	3587,50
4	M047	529608	9896745	397,2	38,41
5	M074	535232	9894995	270,2	14,53
6	M160	671939	9968948	2650,3	3251,41

Окончание табл. 1

№ п/п	Код метеостанции	Координаты UTM (WGS1984, 17S)		Многолетние среднегодовые осадки, мм	Фактор R-USLE, МДж·мм/(га·ч)
		X	Y		
7	M162	599186	9922067	1233,4	569,67
8	M163	588400	9937145	1190,7	525,18
9	M165	561350	9905400	454,1	53,40
10	M166	587791	9845734	1657,2	1122,19
11	M167	580800	9977125	778,8	194,88
12	M168	605098	9993552	1036,9	381,07
13	M169	540911	9836412	990,6	342,63
14	M171	566617	9823940	1308,6	652,99
15	M296	587159	9909725	847,6	237,90
16	M297	579744	9926307	705,8	154,41
17	M298	568607	9871041	859,8	246,03
18	M446	593441	9959038	767,5	188,30
19	M447	564710	9858637	1024,3	370,39
20	M448	541813	9872580	378,4	34,08
21	M449	545983	9860943	530,1	77,79
22	M450	521785	9875161	443,1	50,30
23	M451	551325	9836471	994,6	345,86
24	M452	605084	9896272	1472,6	856,52
25	M453	534613	9883481	609,9	109,03
26	M454	578716	9883443	891,3	267,69
27	M455	540758	9847496	459,0	54,83
28	M456	582963	9969540	480,3	61,23
29	M457	529325	9850844	416,0	43,07
30	M458	554628	9823913	1131,9	467,12
31	M459	545421	9825480	1671,5	1144,48
32	M462	588084	9896706	1058,6	399,87
33	M464	585361	9885407	1234,5	570,84
34	MA29	589006	9876563	1287,8	629,35
35	COMP	507285	9883367	579,00	96,24
36	COMP	549661	9795165	949,00	309,98
37	COMP	624697	10054669	2035,00	1790,55

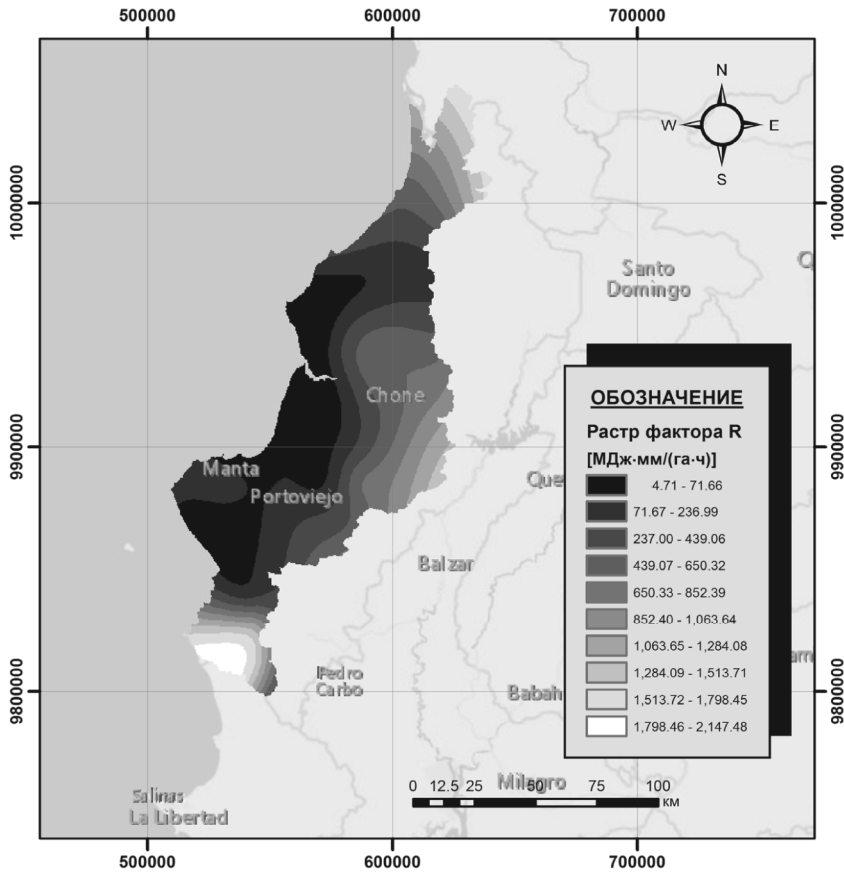


Рис. 3. Растр фактора R-USLE гидрографической демаркации Манаби  
 [Fig. 3. Raster of a factor of R-USLE of hydrographic demarcation of Manabi]

**Фактор размываемости почв K** (рис. 4). Существуют несколько методов для косвенной оценки фактора размываемости почвы. Среди них, распространено уравнение Шарпли—Виллиамс (1990) [3; 10]

$$K = 0,1317 f_{csand} f_{cl-si} f_{org} f_{hisand}, \quad (5)$$

откуда:

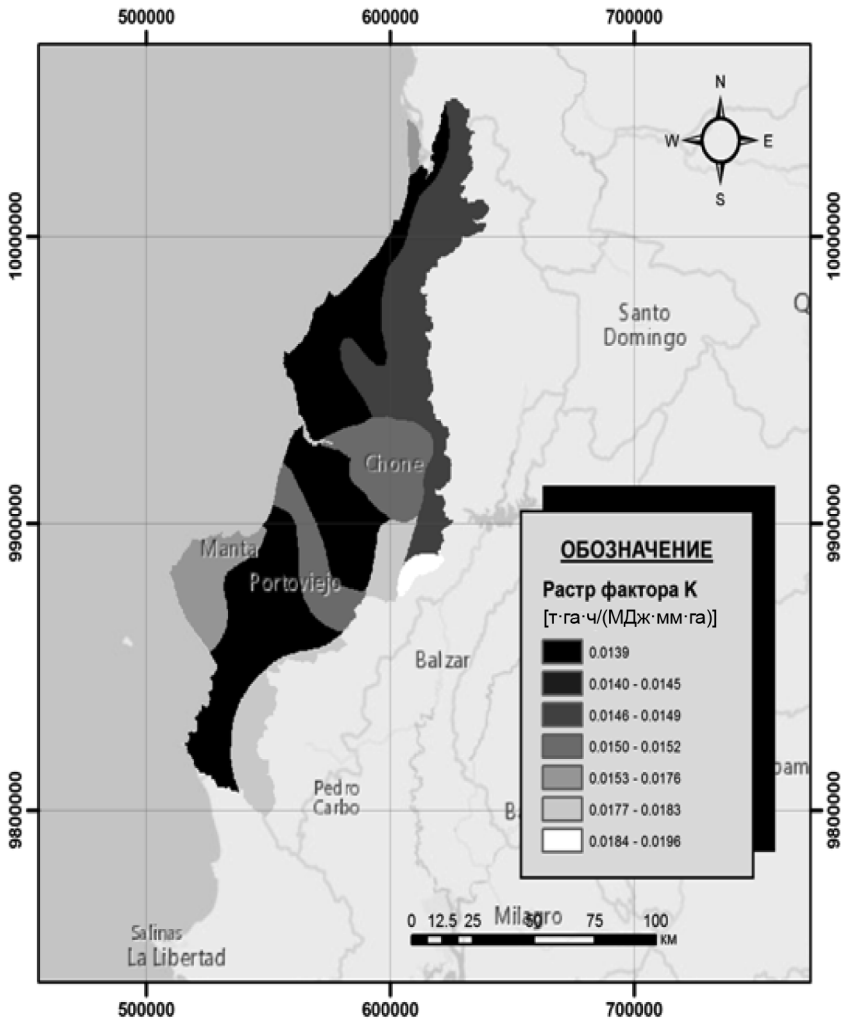
$$f_{csand} = \left\{ 0,2 + 0,3 \exp \left[ -0,0256 m_s \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right\}; \quad (6)$$

$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3}; \quad (7)$$

$$f_{orgC} = \left[ 1 - \frac{0,25 orgC}{orgC + \exp[3,72 - 2,95 orgC]} \right]; \quad (8)$$

$$f_{hisand} = \left[ 1 - \frac{0,70 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[ -5,51 + 22,9 \left( 1 + \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right], \quad (9)$$

где  $m_s$ ,  $m_{silt}$  и  $m_c$  — доля песка, ила и глины, содержащихся в почве, %;  $orgC$  — содержание органического углерода.



**Рис. 4.** Растр фактора К-USLE гидрографической демаркации Манаби  
**[Fig. 4.** Raster of a factor of K-USLE of hydrographic demarcation of Manabí]

Данные почвенных переменных взяты из мировой карты, разработанной Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных наций (FAO — Food and Agriculture Organization of the United Nations) [7].

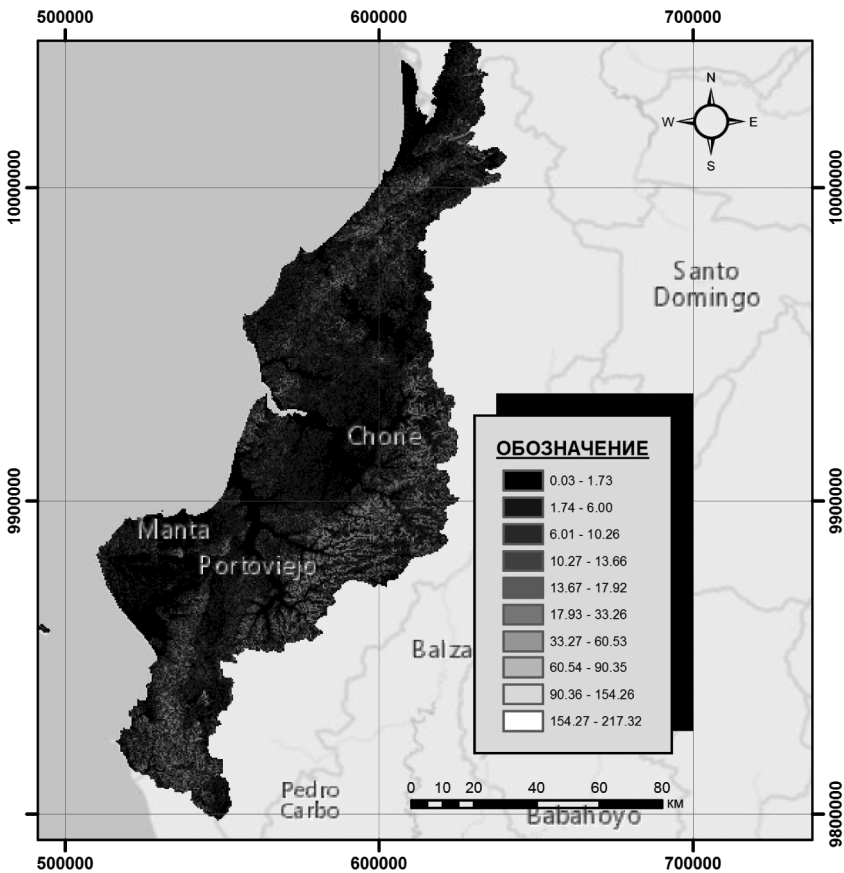
**Фактор рельефа LS.** Определение факторов  $L$  и  $S$  проводится посредством ГИС по формулам [6]:

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m; \quad m = \frac{F}{1+F}; \quad F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}. \quad (10)$$

При использовании в ГИС формула имеет вид:

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{(m+1)}}{x^m D^{m+2} (22,13)^m}, \quad (11)$$

где  $A_{(i,j)}$  — часть площади бассейна, пиксель;  $D$  — размер пикселя;  $x$  — фактор коррекции формы.



**Рис. 5.** Растр фактора LS-USLE гидрографической демаркации Манаби  
[Fig. 5. Raster of a factor of LS-USLE of hydrographic demarcation of Manabi]

Фактор  $S$  зависит от уклонов  $\beta$  склонов бассейна. Варианты определения  $\beta$  (McCool, 1987, 1989):

— при  $\tan \beta_{(i,j)} < 0,09$

$$S_{(i,j)} = 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03; \quad (12)$$

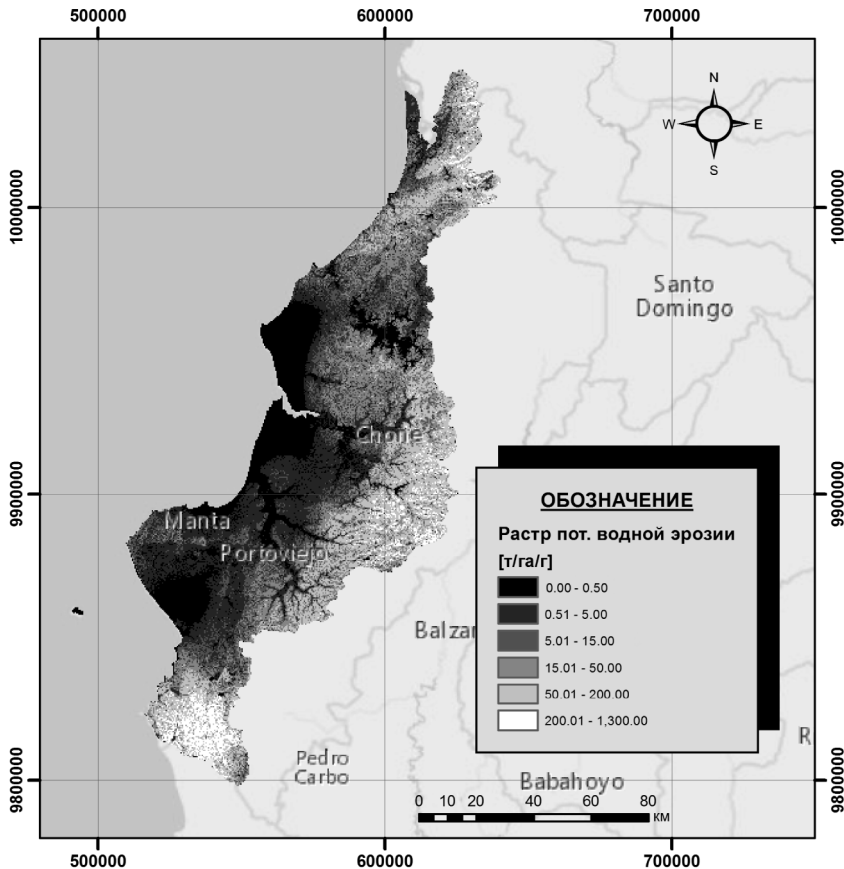
— при  $\tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09$

$$S_{(i,j)} = 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5. \quad (13)$$

Произведение растров  $L$  и  $S$  дает растр рельефа  $LS$  (рис. 5).

Согласно процессу (см. рис. 2), полученный растр соответствует потенциальной водной эрозии (рис. 6).

Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций (FAO) классифицирует водную эрозию определенным образом (табл. 2).



**Рис. 6.** Растр потенциальной водной эрозии гидрографической демаркации Манаби  
**[Fig. 6.** Raster of a potential water erosion of hydrographic demarcation of Manabí]

Таблица 2

**Классификация водной эрозии [FAO, 1980]  
 [Classification of a water erosion [FAO, 1980]]**

Уровень	Потеря почвы (т/га/г)	Тип эрозии	Уровень	Потеря почвы (т/га/г)	Тип эрозии
1	< 0,5	Нормальная	4	15—50	Сильная
2	0,5—5	Незначительная	5	50—200	Очень сильная
3	5—15	Умеренная	6	> 200	Катастрофическая



## Выводы

1. Фактор  $R$ , характеризующий процесс эрозии в зависимости от кинематической энергии дождей и колеблется в пределах 4,71—2147,48 МДж·мм/(га·ч). Наибольшие значения получены в южной и северной зонах демаркации.

2. Фактор  $K$ , выражающий потенциал размыва почв в зависимости от содержания песка, ила, глины и органического углерода варьируется в интервале 0,0139—0,0196 т·га·ч/(МДж·мм·га). Наибольшие значения получены на юго-востоке и на западе демаркации.

3. Фактор  $LS$ , выражающий состояние уклонов водосборного бассейна, изменяется в пределах 0,03—217,32. Наибольшие уклоны местности имеются на юге, на севере и на востоке демаркации.

4. Наиболее пострадавшие от потенциальной водной эрозии бассейны демаркации Манаби следующие: на юге — 15134, 15135 и 15136; на севере — 15191, 15192, 15193, 15194, 15195 и 15196; и на востоке — 15144, 15149, 15168, 15169, 15166 и 15162.

5. Потенциальная водная эрозия демаркация Манаби находится в пределах 0,00—1300,00 т/га/г. Согласно классификации FAO выделяются 6 типов водной эрозии (табл. 2) и потенциальная водная эрозия по указанным группам распределяется следующим образом (рис. 7).

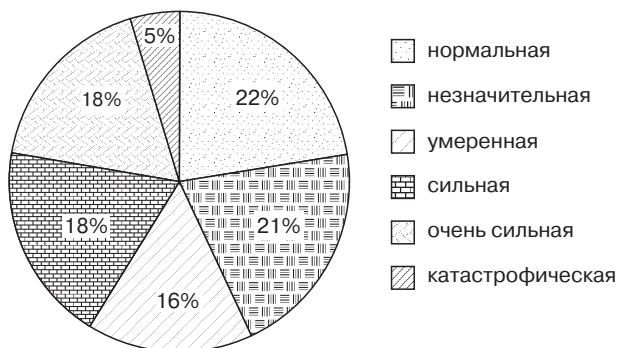


Рис. 7. Процентное распределение потенциальной водной эрозии, %  
[Fig. 7. Percentage distribution of potential water erosion]

6. Критические значения потенциальной водной эрозии (сильная, очень сильная и катастрофическая) в сумме составляют 41%, что охватывает существенную часть территории. Данное значение необходимо уменьшать за счет реализации соответствующих планов по восстановлению лесов и созданию экологических практик для защиты водосборных бассейнов, особенно на тех водосборах, где планируется проектирование и строительство гидротехнических сооружений для регулирования стока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кампос Седеньо Антонио Фермин, Сениченко Е.К., Грицук И.И. Структурный подход к оценке морфометрических характеристик бассейнов рек провинции Манаби (Эквадор) // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». 2015. № 1. С. 52—61.

- [2] *Кампос Седеньо Антонио Фермин*. Гидраграфическое обоснование контроля и оптимизации использования водных ресурсов гидраграфической демаркации Манаби (Эквадор). М.: РУДН, 2016. С. 79–86.
- [3] *Anache J., Vacchi C., Panachuki E., Alve Sobrinho T.* Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling // *Geociências*. 2015. Т. 34. №. 1. P. 32–40.
- [4] Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica. La erosión en el Ecuador / Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica // *Documentos de investigación*. 1986. № 6. 96 p.
- [5] *Correa Calle O.* Modelo dinámico para calificación de la amenaza pluvial y evaluación de la posibilidad de erosión en la sectorización geotécnica de oleoductos y su aplicación en la planeación y toma de decisiones. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia — Facultad de Ingeniería, 2003. 87 p.
- [6] *Diaz J.* Análisis de Erosión de suelo. Canada: Services in Geographic Information Systems (GIS), 2014. P. 6–7.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations — FAO. Digital Soil Map of the World — ESRI shapefile format [Электронный ресурс] / Food and Agriculture Organization of the United Nations — FAO. 2017. Access mode: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>
- [8] Instituto Geografico Militar del Ecuador. Geodescargas: Cartografia, Software, Manuales, Enlaces [Электронный ресурс] / Instituto Geografico Militar del Ecuador. 2017. Access mode: <http://www.geoportalign.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- [9] *Santacruz de León G.* Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México // *Aqua-LAC*. 2011. Т. 3. № 1. P. 45–54.
- [10] *Wawer R., Nowocień E., Podolski B.* Real and Calculated K USLE Erodibility Factor for Selected Polish Soils // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2005. Т. 14. № 5. P. 655–658.

© Кампос Седеньо А.Ф., Синиченко Е.К., Грицук И.И., 2017

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 28 февраля 2017

Дата принятия к печати: 14 марта 2017

#### **Для цитирования:**

**Кампос Седеньо Антонио Фермин, Синиченко Е.К., Грицук И.И.** Оценка потенциальной водной эрозии гидрографической демаркации Манаби (Эквадор) // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 2. С. 192–203.

#### **Сведения об авторах:**

*Кампос Седеньо Антонио Фермин* (Эквадор), аспирант департамента «Архитектуры и строительства» инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Сфера научных интересов:* гидравлика и инженерная гидрология. *Контактная информация:* e-mail: arcangelitok@yahoo.com

*Синиченко Евгений Константинович*, кандидат технических наук, доцент департамента «Архитектуры и строительства» инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Сфера научных интересов:* гидравлика и инженерная гидрология. *Контактная информация:* e-mail: sinichenko\_ek@pfur.ru

*Грицук Илья Игоревич*, кандидат технических наук, доцент департамента «Архитектуры и строительства» инженерной академии Российского университета дружбы народов. Старший научный сотрудник лаборатории «Динамики русловых потоков и ледотермики» Института водных проблем РАН. *Сфера научных интересов:* гидравлика, инженерная гидрология, ледотермика. *Контактная информация:* e-mail: gritsuk\_ii@pfur.ru

## EVALUATION OF POTENTIAL WATER EROSION OF HYDROGRAPHIC DEMARICATION OF MANABI, ECUADOR

Campos Cedeno Antonio Fermin (Ecuador)<sup>1</sup>, E.K. Sinichenko<sup>1</sup>, I.I. Gritsuk<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)

*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

<sup>2</sup> Water Problems Institute Russian Academy of Science

*Gubkina str., 3, Moscow, Russia, 119333*

Water erosion is the most essential reason of destruction of soils in the whole world. So, in Asia, from the 747 million hectares of earth suffering from erosion, 60% correspond to water erosion; in Africa from 497 million, 46%; in South America, from 243 millions, 51%; in Europe, from 219 million, 53%; 106 millions in a North and Central America, Bifani (1984). The same author specifies that, the phenomenon of erosion is closely related to the phenomenon of settling. The process of water erosion is usually measured on volume alluviums. The Rivers Ganges, Brahmaputra and Huang He, transport 1451, 726 and 1887 million tons annually, respectively, as compared to the rivers Mississippi, Amazon and Nile, that carry only 97, 63 and 31 tons on the square kilometer of basin (Holeman, 1968) [9].

Erosion of soil in Ecuador is a serious ecological problem that affects greater part of country in one or another degree. The use of methods of prognostication of washing off of superficial fertile layer of soils from fallouts did not get wide use, as numerous researches were directed to on a quantitative estimation speed of erosion for the different types of land-tenure in the off-shore zones of river basins, and only not many were concentrated on prognostication of erosive processes on all territory. In 1986 the Ecuadorian Center of Geographical Researches (CEDIG), for the first time conducted the row of the researches related to the capture of common data about the problems of erosion in a country [4].

In this paper, based on actual data on rainfall in 51 years and the composition of the soils, was carry out the estimation of potential water erosion for Hydrographic Demarcation of Manabi (Ecuador).

**Key words:** water erosion, Manabi demarcation, Universal Soil Loss Equation, R factor — USLE, K factor — USLE, LS factor — USLE

### REFERENCES

- [1] Kampos Sedeno A.F., Sinichenko Ye.K., Gritsuk I.I. Strukturnyy podkhod k otsenke morfometricheskikh kharakteristik basseynov rek provintsii Manabi (Ekvador) [A structured approach to the evaluation of the morphometric characteristics of the river basin demarcation of Manabi (Ecuador)]. *Vestnik RUDN. Seriya «Inzhenernye issledovaniya»*. 2015. № 1. Pp. 52—61.
- [2] Kampos Sedeno A.F. *Gidrologicheskoe obosnovanie kontrolya i optimizatsii ispolzovaniya vodnykh resursov Gidrograficheskoy demarkatsii Manabi (Ekvador)* [Hydrological study control and optimize the use of water resources of the hydrographic demarcation Manabi (Ecuador)]. M.: RUDN, 2016. Pp. 79—86.
- [3] Anache J., Bacchi C., Panachuki E., Alve Sobrinho T. Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling // *Geociências*. 2015. T. 34. № 1. Pp. 32—40.
- [4] Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica. *La erosión en el Ecuador* // Documentos de investigación. 1986. № 6. 96 p.
- [5] Correa Calle O. *Modelo dinámico para calificación de la amenaza pluvial y evaluación de la posibilidad de erosión en la sectorización geotécnica de oleoductos y su aplicación en la planeación y toma de dicisiones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia — Facultad de Ingeniería, 2003. 87 p.
- [6] Díaz J. *Análisis de Erosión de suelo*. Canada: Services in Geographic Information Systems (GIS), 2014. P. 6—7.

- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations — FAO. Digital Soil Map of the World — ESRI shapefile format [Электронный ресурс] / Food and Agriculture Organization of the United Nations — FAO. 2017. Access mode: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>
- [8] Instituto Geografico Militar del Ecuador. Geodescargas: Cartografia, Software, Manuales, Enlaces [Электронный ресурс] / Instituto Geografico Militar del Ecuador. 2017. Access mode: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- [9] Santacruz de León G. Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México/ German Santacruz de León // Aqua-LAC. 2011. T. 3. № 1. P. 45—54.
- [10] Wawer R., Nowocień E., Podolski B. Real and Calculated K USLE Erodibility Factor for Selected Polish Soils / R. Wawer and etc. // Polish Journal of Environmental Studies. 2005. T. 14. № 5. P. 655—658.

**Article history:**

Received: 28 February 2017

Accepted: 14 March 2017

**For citation:**

**Kamos Sedeno A.F., Sinichenko Ye.K., Gritsuk I.I. (2017) Evaluation of potential water erosion of hydrographic demarcation of Manabi, Ecuador. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(2), 192—203.**

**Bio Note:**

*Campos Cedeno Antonio Fermin (Ecuador)*, Graduate student of the Department “Architecture and Construction”, Engineering Academy, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* hydraulics and engineering hydrology. *Contact information:* e-mail: [arcangelitok@yahoo.com](mailto:arcangelitok@yahoo.com)

*Evgeniy K. Sinichenko*, Ph.D., Associate Professor of the Department “Architecture and Construction”, Engineering Academy, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* hydraulics and engineering hydrology. *Contact information:* e-mail: [sinichenko\\_ek@pfur.ru](mailto:sinichenko_ek@pfur.ru)

*Ilya I. Gritsuk*, Ph.D., Associate Professor of the Department “Architecture and Construction”, Engineering Academy, Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University). Senior researcher laboratory of “Channel flow dynamics and ice thermal conditions”, Russian academy of sciences Water problems institute. *Research interests:* hydraulics, engineering hydrology, ice thermal conditions. *Contact information:* e-mail: [gritsuk\\_ii@pfur.ru](mailto:gritsuk_ii@pfur.ru)