# Расчет потенциального смыва почв от талой и ливневой эрозии на территории бассейна р. Упа

*Цыпленков Анатолий, atsyplenkov@gmail.com*

## Модели эрозии почв

### RUSLE

Для расчета потенциальной эрозии от дождевых осадков за счет плоскостной и ручейковой эрозии на территории исследуемых бассейнов использовалось универсальное уравнение эрозии почв (RUSLE) [Renard et al., 1997]:

, (1)

где *Y* – смыв почвы с единицы площади в т·га−1; *R* – фактор осадков, представляющий собой среднемноголетнее значение эрозионного потенциала осадков, характеризующего эрозионную способность дождей, МДж·мм·ч−1·га−1·год−1; *K –* фактор эродируемости (смываемости) почвы, численно равный модулю смыва с площадки длиной 22.1 м и уклоном 9%, содержащейся по бессменному пару и отнесенный к величине эрозионного потенциала осадков, т·час·МДж−1·мм−1*; L –* фактор длины склонов, представляющий собой отношение смыва со склона некоторой длины к смыву со склона длиной 22.1 м при прочих равных условиях, безразмерный; *S –* фактор уклона, представляющий собой отношение смыва со склона некоторой крутизны к смыву со склона уклоном 9% при прочих равных условиях, безразмерный*; C –* индекс, отражающий влияние землепользования, который зависит от растительного покрова, безразмерный*; P* – фактор эффективности противоэрозионных мер, представляющий собой отношение смыва с поля, на котором применяются противоэрозионные меры к смыву с поля, на котором противоэрозионные меры не применяются, а обработка почвы и посев ведутся вдоль склона, безразмерный.

## Параметры моделей

### Рельеф

Для всех моделей использовалась глобальная цифровая модель рельефа (ГЦМР) ALOS World 3D (AW3D30) Version 2.2 (<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>) с пространственным разрешением 1×1 сек, что эквивалентно пространственному разрешению 30×30 м. ЦМР данного пространственного разрешения считается достаточной для моделирования эрозии почв [Wu, Li, Huang, 2005]. Была произведена ее гидрологическая коррекция при помощи алгоритма *Fill Sinks* [Wang, Liu, 2006] реализованным в QGIS 3.6.2, минимальный уклон, при котором возможен сток был оставлен по умолчанию равным 0.01°.

Расчет фактора *LS* из уравнения 2 производился в QGIS 3.6.2 с использованием модуля *LS field-based* из SAGA GIS [Conrad et al., 2015], в соответствии с рекомендациями [Panagos, Borrelli, Meusburger, 2015]. Данный алгоритм основан на уравнении, предложенном [Desmet, Govers, 1996]:

, (2)

где *LS* – фактор длины и крутизны склона из уравнения 1, безразмерный; *U* – вышележащая водосборная площадь, отнесенная к ширине потока, м2/м; *L0 ,S0* – длина и крутизна стандартной стоковой площадки Уишмейера-Смита [Wischmeier, Smith, Uhland, 1958] (22.1м и 0.09°); β – крутизна склона, °; *m* (0.4-0.6) и *n* (1.0-1.3) – эмпирические параметры, зависящие от превалирующего типа эрозии (плоскостной или ручейковой).

Максимальный уклон, для которого определялся фактор LS составляет 26.6° [Griffin et al., 1988; Wilson, 1986]. Однако, доля такой территории очень мала (0.18 км2 или 0.01% территории) и, в основном связана с ошибками (артефактами) в ГЦМР. Данные области были исключены в дальнейшем из расчета, так как потенциально могут завысить общий смыв почв. Основной недостаток данного метода в том, что он не учитывает антропогенные линейные объекты, которые обычно не отображены на ГЦМР, однако которые прерывают линии тока [Panagos, Borrelli, Meusburger, 2015].

### Фактор С

В общем случае влияние **растительности** на поверхностный смыв сводится к задержанию кронами деревьев осадков, защите почвы от непосредственного воздействия дождевых капель, снижению скорости стекания воды, механическому скреплению почвы корнями и влиянию на физико-химические свойства почвы, которые определяют ее противоэрозионную устойчивость [Куксина, Алексеевский, 2016]. Интенсивность формирования величины смыва почв в зависимости от этого фактора определяет параметр *С* в уравнении (1-3).

Значения фактора *С* используемые в моделях, основанных на *RUSLE*, зачастую определяются по таблицам [Benavidez et al., 2018]. Мы использовали данные собранные в [Benavidez et al., 2018; Panagos et al., 2015] для определения почвозащитного коэффициента подстилающей поверхности (см. **табл. 1**).

**Таблица 1** – Значения фактора С для различных типов землепользования и подстилающей поверхности

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс | Тип подстилающей пов-ти | % площади | С | Источник |
| 1 | Водоемы |  | 0 | — |
| 2 | Леса, кустарники |  |  |  |
| 3 | Пашня |  |  |  |
| 4 | Луга |  |  |  |
| 5 | Населенные пункты вместе с отвалами, карьерами, участками широких автодорог и др. антропогенными объектами |  |  |  |
| 6 | Отстойники сахарного завода |  |  |  |

### Почвенные ресурсы

Пространственное распределение почвенных ресурсов определялось при помощи карты масштаба 1:2 500 000 [Единый государственный реестр почвенных ресурсов России]. Согласно ему, на территории бассейна р. Упа выделяются 4 основных типа почв: Черноземы оподзоленные, Темно-серые лесные, Лугово-черноземные выщелоченные и Черноземы выщелоченные (см. **табл. 2**). Расчет коэффициента эродируемости почвы производился при помощи следующих уравнений [Williams, 1995]:

, (3)

, (4)

, (5)

, (6)

, (7)

где *ms* - содержание песка, %; *msilt* - содержание илистых частиц, %; *mc* - содержание глины, %; *orgC* - содержание органического углерода, %. Эти данные были получены из Единого Государственного Реестра Почвенных Ресурсов России [Единый государственный реестр почвенных ресурсов России].

**Таблица 2** – Основные почвы территории бассейна р. Упа и их механический состав

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Название почвы | Площадь, км2 (%) | Сорг, % | Песок (1 – 0.01 мм) | Ил (0.01 – 0.001 мм) | Глина (<0.001 мм) | Фактор К, т·час·МДж−1·мм−1 |
| Черноземы оподзоленные | 410 (30) | 4.7 | 38 | 22 | 31 | 0.154 |
| Темно-серые лесные | 242 (18.4) | 4.3 | 50 | 24 | 22 | 0.164 |
| Лугово-черноземные выщелоченные | 48 (3.6) | 3.6 | 7 | 64 | 29 | 0.319 |
| Черноземы выщелоченные | 650 (48) | 7 | 38 | 22 | 31 | 0.154 |

### Фактор R. Эрозионный потенциал осадков

# Литература

1. Куксина Л.В., Алексеевский Н.И. ЭРОЗИОННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ // География И Природные Ресурсы. – 2016. – Т. 2. – С. 132-141.

2. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://atlas.mcx.ru/materials/egrpr/content/1sem.html.

3. Benavidez R., Jackson B., Maxwell D., Norton K. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates // Hydrology and Earth System Sciences. – 2018. – Vol. 22. – № 11. – P. 6059-6086. https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018.

4. Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 // Geoscientific Model Development. – 2015. – Vol. 8. – № 7. – P. 1991-2007. https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015.

5. Desmet P., Govers G. A GIs procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units // Journal of Soil and Water Conservation. – 1996. – Vol. 51. – № 5. – P. 427-433.

6. Griffin M.L., Beasley D.B., Fletcher J.J., Foster G.R. Estimating soil loss on topographically non-uniform field and farm units // Journal of soil and water conservation. – 1988. – Vol. 43. – № 4. – P. 326-331.

7. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water // Geosciences. – 2015. – Vol. 5. – P. 117-126. https://doi.org/10.3390/geosciences5020117.

8. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale // Land Use Policy. – 2015. – Vol. 48. – P. 38-50. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021.

9. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // Agricultural Handbook No. 703. – 1997. – P. 404. https://doi.org/DC0-16-048938-5 65–100.

10. Wang L., Liu H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling // International Journal of Geographical Information Science. – 2006. – Vol. 20. – № 2. – P. 193-213. https://doi.org/10.1080/13658810500433453.

11. Williams J.R. Chapter 25: The EPIC model. // Computer models of watershed hydrology / ed. Singh V.P. – Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications, 1995. – P. 909-1000.

12. Wilson J.P. Estimating the topographic factor in the universal soil loss equation for watersheds // Journal of soil and water conservation. – 1986. – Vol. 41. – № 3. – P. 179-184.

13. Wischmeier W.H., Smith D.D., Uhland R.E. Evaluation of factors in the soil loss equation // Agricultural Engineering. – 1958. – Vol. 39. – № 8. – P. 458-462.

14. Wu S., Li J., Huang G. An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models // Environmental Modeling & Assessment. – 2005. – Vol. 10. – № 1. – P. 33-42. https://doi.org/10.1007/s10666-004-6595-4.