

УДК 551.3.053(282.255.21)
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-8-132-137

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ НАРЫН**

*Э.С. Дуулатов, С.К. Аламанов, Абдыжапар уулу Саламат,
С.С. Кожокулов, Г.Т. Таалайбекова*

Аннотация. В бассейне Верхнего Нарына, который находится во Внутреннем Тянь-Шане, проведены исследования по оценке потерь почвы на всей территории бассейна с использованием модели RUSLE (Универсальное уравнение потери почвы) в сочетании с географическими информационными системами и данными дистанционного зондирования земли. Рассчитаны средние значения эрозивности осадков (R), эрозивной способности почвы (K), длины склона и крутизны (LS), фактора управления растительным покровом (C) и фактора эффективности противоэрозионных мероприятий (P). Эти параметры играют важную роль в оценке и прогнозировании уровня эрозии почвы. Составлена карта эрозии почвы, в которой выделены пять классов. Она позволяет определить участки бассейна, которые подвержены эрозии, и классифицировать их по степени риска.

Ключевые слова: верховья р. Нарын; эрозия почвы; географические информационные системы; дистанционное зондирование земли; RUSLE.

**НАРЫН ДАРЫЯСЫНЫН ЖОГОРКУ АГЫМЫНДА ГЕОМААЛЫМАТТЫК
СИСТЕМАЛАРДЫ ЖАНА АРАЛЫКТАН ЗОНДДООНУ ПАЙДАЛАНУУ МЕНЕН
КЫРТЫШТЫН ЭРОЗИЯ ДАРАЖАСЫН АНЫКТОО**

*Э.С. Дуулатов, С.К. Аламанов, Абдыжапар уулу Саламат,
С.С. Кожокулов, Г.Т. Таалайбекова*

Аннотация. Ички Тянь-Шанда жайгашкан Жогорку Нарын бассейнинде географиялык маалыматтык системалар жана жерди аралыктан зонддоо менен айкалыштыруу аркылуу RUSLE (Кыртышты жоготуунун универсалдуу теңдемеси) моделин колдонуу менен бүткүл бассейн боюнча кыртыштын жоготууларын баалоо үчүн изилдөөлөр жүргүзүлдү. Жаан-чачындын эрозиясынын (R), кыртыштын эрозиялык сыйымдуулугунун (K), жантайыңкы узундугунун жана тиктигинин (LS), өсүмдүктөрдү башкаруу коэффициентинин (C) жана эрозияга каршы күрөшүү коэффициентиинин (P) орточо мааниси эсептелген. Бул көрсөткүчтөр кыртыштын эрозиясынын деңгээлин баалоодо жана алдын ала айтууда маанилүү роль ойнойт. Кыртыштын эрозиясынын картасы түзүлүп, анда беш класс аныкталган. Ал бассейндин эрозияга жакын аймактарын аныктоого, аларды тобокелдик даражасына жараша классификациялоого мүмкүндүк берет.

Түйүндүү сөздөр: Жогорку Нарын; кыртыштын эрозиясы; географиялык маалыматтык системалар; жерди аралыктан зонддоо; RUSLE.

**DETERMINATION OF THE DEGREE OF SOIL EROSION
USING GEOINFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING
IN THE UPPER REACHES OF THE NARYN RIVER**

*E.S. Duulatov, S.K. Alamanov, Abdyzhapar uulu Salamat,
S.S. Kozhokulov, G.T. Taalaibekova*

Abstract. The study was conducted in the Upper Naryn River Basin, located in the Inner Tian Shan region. The main objective of the research was to assess soil loss across the entire basin using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model in combination with Geographic Information Systems and remote sensing data. The study involved calculating the average values of rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope length and steepness (LS), vegetation cover management factor (C), and support practice factor (P). These parameters play a crucial role in evaluating and predicting the level of soil erosion. A soil erosion map was generated based on the results, dividing the basin into five classes. This map allows for identifying and classifying areas within the basin prone to erosion according to the degree of risk.

Keywords: Upper Naryn basin; soil erosion; Geographic Information Systems; Remote Sensing; RUSLE.

Введение. Почва – это уязвимый «покро́в» земли, который играет важную роль в поддержании устойчивости жизни на нашей планете [1]. Охрана почвы и ее рациональное использование имеют первостепенное значение для экономического и социального развития страны [2]. Объективная оценка текущего состояния почвенных ресурсов и их бережное использование способствуют повышению их плодородия.

Использование дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и географических информационных систем (ГИС) с моделью Универсального уравнения потери почвы (RUSLE) становится все более популярным в исследованиях эрозии почвы по всему миру [3, 4]. Цель данного исследования – оценка потерь почвы в бассейне Верхнего Нарына с использованием RUSLE в сочетании с ГИС и ДЗЗ. На основе полученных результатов можно выявить уязвимые участки бассейна, подверженные эрозии.

Область исследования. Бассейн Верхнего Нарына расположен во Внутреннем Тянь-Шане КР и занимает площадь 10474 км² (рисунок 1). Регион характеризуется распространением древних денудаций и выположенными поверхностями, окруженными горными хребтами Внутреннего Тянь-Шаня. Климат бассейна континентальный, с холодной и продолжительной зимой, и теплым и коротким летом. Средняя температура в январе составляет –15,2 °С, а в июле – 17,7 °С. Годовое количество осадков в среднем составляет 297 мм (станция Нарын). Почвенно-растительный покров в этом районе довольно разнообразен, на склонах гор наблюдается вертикальная поясность.

Материалы и методы. Для оценки среднегодовой эрозии почвы в бассейне Верхнего Нарына была использована модель RUSLE, которая широко применяется для прогнозирования долгосрочной скорости эрозии [5]:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P,$$

где A – среднегодовая потеря почвы на единицу площади, выраженная в тоннах/гектар в год.

Фактор эрозивности осадков (R). R -фактор был первоначально рассчитан как произведение кинетической энергии и силы осадков [6]. Поскольку величину средней интенсивности осадков сложно определить для больших территорий, коэффициент эрозии дождевых осадков был принят как среднегодовое количество осадков (P) [7]:

$$R = 0.04830 \times P^{1.61},$$

где P – среднегодовая сумма осадков (<850 мм).

Фактор эродруемости почвы (K). Фактор K определяет уязвимость почвы к эрозии и зависит от ее физических и химических свойств. Этот числовой показатель измеряет уязвимость почвы

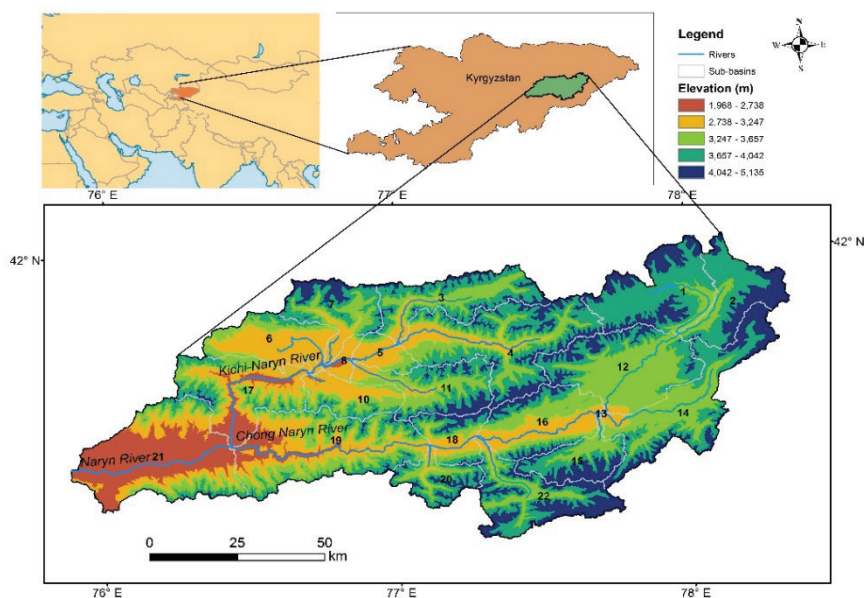


Рисунок 1 – Карта верховьев реки Нарын

Таблица 1 – Данные исследования

Факторы	Описание	Источник
R фактор	Атмосферные осадки (Метеостанции: Нарын и Тянь-Шань)	Кыргызгидромет
K фактор	Цифровая почвенная карта мира, v 3.6	Продовольственная и Сельскохозяйственная Организация (FAO)
LS фактор	Цифровая модель рельефа ASTER DEM, 30 м	USGS (http://earthexplorer.usgs.gov)
C фактор	Космические снимки Landsat 8 OLI, 30 м, path/row: 148/31, 149/31 (2013)	USGS (http://earthexplorer.usgs.gov)
P фактор	Землепользование и земельный покров GLOBELAND30, 30 м (2010)	http://globallandcover.com

к воздействию эрозионных осадков [6, 7]. Почвенные данные ФАО, цифровая почвенная карта мира (DSMW) версия 3.6 (таблица 1). В работе [8] предложено следующее уравнение:

$$K = \frac{1}{7.6} \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 SAN \left(1 - \frac{SIL}{100} \right) \right] \right\} \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0.3} \left(1 - \frac{0.75 SN}{SN + \exp(-5.51 + 22.9)} \right),$$

где $SN = 1 - SAN / 100$ и SAN % – содержание песка; SIL % – содержание ила; CLA % – содержание глины и OM % – содержание органического вещества.

Фактор длины и крутизны склона (LS). Слой LS был получен на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) ASTER 30 м (таблица 1). Для расчета фактора LS было использовано предложенное Вишмайером и Смитом [7] (1978), а также Морганом [9] (2009):

$$LS = (FA \times \frac{l}{22.13})^{0.5} \times (0.065 + 0.045 \times S + 0.0065 \times S^2),$$

где FA – накопление потока; l – длина склона; S – процент наклона.

Фактор управления растительным покровом (C). C фактор был оценен с использованием космических снимков Landsat 8 OLI (таблица 1). Для этого исследования был использован нормированный разностный вегетационный индекс (NDVI), который рассчитывается по формуле [10]:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red},$$

где Red – значение отражения в видимом красном диапазоне; NIR – значение отражения в ближнем инфракрасном диапазоне. Значения NDVI варьируются от -1 до 1 . Далее, для получения фактора C , было использовано уравнение [11]:

$$C = \exp \left(-\alpha \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)} \right),$$

где $\alpha = 2$ и $\beta = 1$ – параметры, регулирующие форму кривой коэффициента NDVI C .

Фактор эффективности противоэрозионных мероприятий (P). Фактор P учитывает эффективность применяемых практик землепользования, он был получен на основе карты землепользования (рисунок 2, f). Значения P -фактора варьировались от $0,5$ до $1,0$. P -фактор получен из [8].

Результаты. Среднегодовая эрозионная активность осадков (R) была оценена в диапазоне от 464 до 718 мДж мм/га час год. На рисунке 2, а показано распределение эрозивности осадков в бассейне Верхнего Нарына. Фактор эрозии почвы (K) количественно определяет связную природу категории почвы, которая зависит от ее физических и химических свойств. Почвенная эрозионная способность бассейна составляет от $0,0$ до $0,018$ т час/ мДж мм (рисунок 2, b). Значения коэффициента топографического фактора LS варьируются от $0,28$ до $38,71$ (рисунок 2, c). Пространственное распределение фактора C (фактор управления растительным покровом) представлено на рисунке 2, d. Значения фактора C в бассейне Верхнего Нарына варьировались от $0,017$ до $1,689$. Получен фактор эффективности противоэрозионных мероприятий (P), основанный на карте землепользования (рисунок 2, e).

На основе полученных результатов была составлена карта классификации эрозии почвы, которая позволила выделить пять классов риска эрозии. На рисунке 3 представлено пространственное распределение каждого класса. Результаты показывают, что около 41 % исследуемой территории классифицируется как с очень низким уровнем риска эрозии почвы, 34 % – с низким, 15 % – средним, 7 % – высоким, и 3 % – с очень высоким.

Выводы. Проведена количественная оценка среднегодовой эрозии почвы в бассейне Верхнего Нарына с использованием модели RUSLE, ГИС и ДЗЗ, учитывая осадки, почву, растительный покров, землепользование и топографические данные. Результаты подтверждают, что топография является

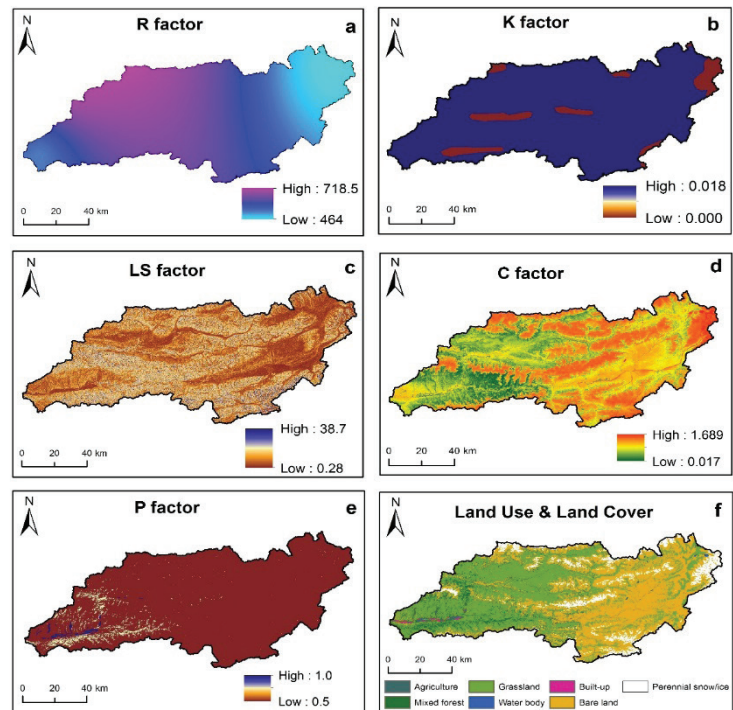


Рисунок 2 – Факторные карты RUSLE:
 а – R-фактор; б – K-фактор; в – LS-фактор; д – C-фактор; е – P-фактор;
 ф – землепользование и земельный покров

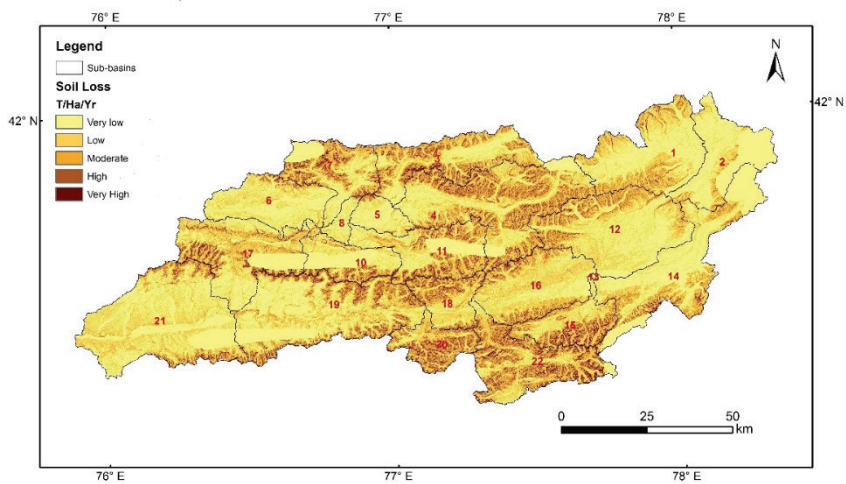


Рисунок 3 – Карта эрозии почв

основным фактором, влияющим на эрозию. Карта интенсивности эрозии показывает, что около 10 % бассейна подвержены высоким и очень высоким уровням эрозии. В таких областях необходимо внедрение эффективных методов сохранения почвы. Методология RUSLE, основанная на ГИС и ДЗЗ, показала свою эффективность для определения пространственного распределения эрозии почвы в бассейне Верхнего Нарына. Полученные результаты помогут землепользователям принимать соответствующие меры для борьбы с эрозией в областях с высоким риском.

Поступила: 30.06.23; рецензирована: 14.07.23; принята: 19.07.23.

Литература

1. *Pimentel D.* Soil erosion: a food and environmental threat / D. Pimentel // Environment, development and sustainability. 2006. Т. 8. № 1. С. 119–137.
2. *Duulatov E.* Current and Future Trends of Rainfall Erosivity and Soil Erosion in Central Asia / E. Duulatov, X. Chen, G. Issanova, R. Orozbaev, Y. Mukanov, A.C. Amanambu. Cham, Switzerland: Springer, Cham, 2021. XVIII. 84 с.
3. *Duulatov E.* Assessing the potential of soil erosion in Kyrgyzstan based on RUSLE, integrated with remote sensing / E. Duulatov, Q.B. Pham, S. Alamanov, R. Orozbaev, G. Issanova, T. Asankulov // Environmental Earth Sciences. 2021. Т. 80. № 18. 658 p.
4. *Дуулатов Э.* Оценка водной эрозии в восточной части Чуйской области на основе данных дистанционного зондирования / Э. Дуулатов, С. Аламанов, У.С. Абдыжапар // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2023. № 3. С. 48–53.
5. *Renard K.* Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the coordinators / K. Renard, G. Foster, D. McCool, D. Yoder, 1997.
6. *Renard K.G.* Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE / K. Renard, G. Foster, D. McCool, D. Yoder // Journal of hydrology. 1994. Т. 157. № 1–4. P. 287–306.
7. *Wischmeier W.H.* Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning / W.H. Wischmeier, D.D. Smith // Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. 1978.
8. *Yang D.* Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes / D. Yang, S. Kanae, T. Oki, T. Koike, K. Musiak // Hydrological processes. 2003. Т. 17. № 14. P. 2913–2928.
9. Soil erosion and conservation / R.P. Morgan // John Wiley & Sons. 2009.
10. *Tucker C.J.* Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C.J. Tucker, 1978.
11. *Van der Knijff J.* Soil erosion risk assessment in Europe / J. Van der Knijff, R. Jones, L. Montanarella // Book Soil erosion risk assessment in Europe. European Soil Bureau, European Commission Belgium, 2000.