РАЗРАБОТКА КАРТЫ РИСКА ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ RUSLE В ПАРКЕНТСКОМ РАЙОНЕ, ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ

Абдурахмонов Нодиржон Юлчиевич,
доктор биологических наук, профессор
Мусаев Жавохир Батирбекович,
стажер исследователь

**Институт почвоведения и агрохимических исследований*

Аннотация. Эрозия почв является одной из ключевых экологических проблем в Узбекистане, уступающей по значимости лишь засолению. Страна обладает полузасушливым климатом и характеризуется низким уровнем осадков, что в свою очередь способствует деградации и эрозионным процессам почв. Примерно 800 тысяч гектаров богарных земель и около 15 % всех сельскохозяйственных угодий страны в той или иной степени подверглись эрозии почвы. В дополнение к этому, неустойчивые методы ведения сельского хозяйства, такие как избыточный выпас скота и неэффективные методы орошения, еще более усугубляют данную проблему.
Ключевые слова: эрозия почв, USLE, моделирование, деградация земель, устойчивое землепользование, RUSLE, фактор.

Annotatsiya. Tuproq eroziyasi O'zbekistondagi asosiy ekologik muammolardan biri bo'lib, ta'sir ahamiyati bo'yicha sho'rlanishdan keyin ikkinchi o'rinda turadi. Mamlakat yarim qurg'oqchil iqlimga ega va yog'ingarchilikning kamligi bilan ajralib turadi, bu esa o'z navbatida tuproqning degradatsiyasi va eroziya jarayonlarining rivojlanishiga yordam beradi. Taxminan 800 ming gektar lalmikor yerlar va mamlakatning umumiy qishloq xo'jaligi yerlarining qariyb 15 foizi turli darajada tuproq eroziyasiga uchragan. Bundan tashqari, yaylovlardan noto‘g‘ri foydalanish va samarasiz sug'orish usullari kabi beqaror qishloq xo'jaligi amaliyotlari muammoni yanada kuchaytiradi.
Kalit so'zlar: tuproq eroziyasi, USLE, modellashtirish, yer degradatsiyasi, barqaror yerdan foydalanish, RUSLE, omil.

Annotation. Soil erosion is one of the key environmental problems in Uzbekistan, second only to salinization. The country has a semi-arid climate and is characterized by low precipitation, which in turn contributes to soil degradation and erosion processes. Approximately 800,000 hectares of rainfed land and about 15% of all agricultural land in the country has been subjected to soil erosion to some extent. In addition to this, unsustainable agricultural practices such as overgrazing and inefficient irrigation methods further aggravate the problem.
Key words: soil erosion, USLE, modeling, land degradation, sustainable land use, RUSLE, factor.

1. Введение

Почва, присутствующая в большинстве ландшафтов Земли, играет важную роль в естественной экосистеме(Singer & Warkentin, 1996) и представляет собой один из основных природных ресурсов, обеспечивающих существование жизни. Эрозия почвы является важным аспектом деградации, который приводит к уменьшению глубины, доступной для корневой системы, нарушает баланс питательных веществ и влаги в корневой зоне, а также снижает продуктивность. Данный процесс представляет собой серьёзную экологическую угрозу для устойчивости и производственного потенциала сельского хозяйства. На протяжении последних сорока лет почти треть пахотных земель на планете была потеряна из-за эрозии, и этот процесс продолжается с темпом свыше

ISSN 2181-0826 2/2025 y.

10 миллионов гектаров ежегодно. Принимая во внимание, что мировое население увеличивается ежедневно на 250 тысяч человек, потребность в продовольствии возрастает в то время, как производительность продовольствия на душу населения начинает снижаться (Pimental et al., 1995; Yang et al., 2003). Деградация земель представляет собой непрекращающуюся проблему, которая наносит существенный урон продовольственной безопасности многих развивающихся стран. Земля, являясь сложной и изменчивой средой, особенно подвержена различным угрозам, среди которых эрозия, истощение органических веществ, оползни и загрязнение (Gianinetto et al., 2019).

В последние годы было разработано несколько моделей для моделирования процесса эрозии почвы (Smith, 1999). В течение последних нескольких десятилетий исследователи разработали модели для оценки водной эрозии. Хотя их применимость варьируется в зависимости от географических условий, модели используют общие физические параметры, такие как уклон, количество осадков, растительный покров и эрозионную способность почвы, которые были признаны важными на основе наблюдений или многомерного статистического анализа (Siakeu & Oguchi, 2000).

Модели эрозии почвы являются незаменимым инструментом для оценки потерь почвы и скорости поверхностного стока с сельскохозяйственных земель. Модели эрозии почвы можно разделить на три основные категории в зависимости от физических процессов, которые они моделируют, алгоритмов, используемых для описания этих процессов, и данных, на которых они основаны. Эти категории включают эмпирические или статистические модели, концептуальные модели и физические модели (Merritt et al., 2003).

Авторы подчеркивают, что эмпирические модели являются простыми и доступными инструментами моделирования, особенно ценными при дефиците данных и параметров.

Эмпирические модели эрозии почвы, такие как широко известное Универсальное уравнение потери почвы (USLE) и его более совершенные модификации – Пересмотренное (RUSLE) и Модифицированное (MUSLE) уравнения, – представляют собой важный инструмент для оценки эрозии почв. Эти модели, основанные на статистическом анализе данных, позволяют прогнозировать долгосрочные потери почвы, учитывая ряд ключевых факторов. Например, RUSLE, являясь усовершенствованной версией USLE, включает четыре основных переменных: интенсивность и количество осадков, эрозионную способность самой почвы (ее текстура, структура, содержание органического вещества), факторы, определяющие топографию (уклон и длину склона), и характеристики растительного покрова (его тип, плотность и высота). Более точный учёт этих параметров позволяет RUSLE обеспечивать более высокую точность прогнозирования по сравнению с исходным USLE. Более того, при условии достоверной оценки указанных факторов эрозии, модель RUSLE может быть эффективно применена для анализа процессов на глобальном уровне, позволяя оценить масштабы почвенной эрозии в различных регионах мира.

Эрозия почвы имеет серьёзные последствия, включая утрату плодородного верхнего слоя, снижение урожайности сельскохозяйственных культур, ухудшение качества воды в водоемах и общую деградацию земель. Противодействие эрозии почвы особенно критично для регионов, сильно зависимых от сельского хозяйства, где

состояние почвы непосредственно сказывается на продовольственной безопасности и экономической устойчивости. Узбекистан находится в центральной части Средней Азии. Из-за засушливого климата сельскохозяйственное производство на большей части территории страны возможно только при орошении. В настоящее время площадь орошаемых земель составляет около 4,3 миллиона гектаров (CACILM, 2006). Сильные ветры, распашка земель на горных склонах, неправильные методы орошения и выпас скота способствовали значительной эрозии всех типов почв в Узбекистане. Примерно 65-98 % сельскохозяйственных земель подвергаются значительным эрозионным процессам (Mirzaev et al., 2019).

К основным видам деградации земель в Узбекистане относятся вторичное засоление, эрозия почв и опустынивание. Для более глубокого анализа деградации земель в регионе целесообразно рассмотреть основные агроэкологические зоны: на орошаемых землях наиболее актуальной проблемой является вторичное засоление, в богарных и горных районах - эрозия почв, а на пастбищах - утрата растительности, опустынивание и неблагоприятные изменения в составе растительности (Gupta et al., 2009).

Тем не менее, масштабы деградации земель значительно увеличились в результате расширения посевных площадей в маргинальные зоны, как в условиях дождевого, так и орошаемого земледелия в стране (Gupta et al., 2009). Согласно данным Министерства сельского хозяйства Узбекистана (2024), 40% орошаемых сельскохозяйственных земель Ташкентской области подвержены различным уровням эрозии почв. Примерно 26% этих почв рискуют столкнуться с эрозией, превышающей допустимые нормы. По информации(Duulatov et al., 2021), средний уровень эрозии в Узбекистане составляет 2,62 т/га в год. Ежегодные потери почвы в стране достигают 102,96 миллиона тонн.

На данный момент в Узбекистане широко не применяются модели для прогнозирования эрозии почв. В настоящее время около 800 тыс. гектаров, что составляет 14% орошаемых земель, а также около 700 тыс. гектаров богарных земель страны, находятся под воздействием эрозии в той или иной форме. В Центральной Азии проведение научных исследований посвященные водной и ветровой эрозии ограничивалось отдельными регионами и носило частичный характер. Таким образом, требуется провести оценку как водной, так и ветровой эрозии в Центральной Азии, а также проанализировать возможные изменения в процессе эрозии в будущем (Dou et al., 2022). Исходя из вышеизложенного, объектом исследования был выбран Паркентский район Ташкентской области, где было решено применить модель RUSLE для оценки почвенной эрозии.

2. Материалы и методы

2.1. Универсальное уравнение потерь почвы (RUSLE)

RUSLE оценивает потерю почвы как произведение пяти факторов эрозии: эрозивности осадков (R-фактор), эродируемости почвы (K-фактор), длины и крутизны склона (LS-фактор), фактора растительного покрова и землепользования (C-фактор) и фактора защитных мероприятий (P-фактор) ((Renard et al., 1997). Для данной модели используется формула (1), представляющая собой универсальное уравнение потерь почвы (RUSLE).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Где:

A - средняя потеря почвы (т/га$^{-1}$год$^{-1}$),

R - фактор эрозионности осадков (MJ·мм/га$^{-1}$·ч/год$^{-1}$),

K - фактор эродируемости почвы (т·га·ч/га$^{-1}$·MJ^{-1}·мм$^{-1}$),

ISSN 2181-0826 2/2025 y.

LS - топографический фактор (безразмерный), рассчитывается по длине и крутизне склона,

C - фактор покрова и управления (безразмерный),

P - фактор защитных мероприятий (безразмерный).

2.2. Фактор топографии (рельефа)- (LS)

Исходные данные цифровой модели рельефа (ЦМР) для Паркентского района были получены из двух изображений с пространственным разрешением 30 м. Эти изображения ЦМР были созданы на основе глобального набора данных (SRTM 1 Arc-Second), предоставленного Геологической службой США (USGS).

Карта ЦМР Паркентского района была создана в программе ArcMap 10.8.1 с использованием доступных в наборе инструментов Spatial Analyst ArcGIS.

В качестве исходных данных использовалась цифровая модель рельефа (DEM) с пространственным разрешением 30 метров.

Расчёт LS-фактора включает следующие этапы:

1. Заполнение впадин (Fill): с помощью инструмента Fill (Spatial Analyst → Hydrology → Fill) была устранена проблема замкнутых понижений (sinks) на поверхности рельефа.
2. Определение направления потока (Flow Direction): Инструмент Flow Direction (Spatial Analyst → Hydrology → Flow Direction) использовался для построения направления поверхностного стока.
3. Расчёт накопления потока (Flow Accumulation): на основе полученного слоя направления потока был рассчитан слой Flow Accumulation, отражающий количество ячеек, впадающих в каждую точку.
4. Построение карты уклонов (Slope): с помощью инструмента Slope (Spatial Analyst → Surface → Slope) была рассчитана крутизна склонов в градусах.
5. Расчёт LS-фактора (Raster Calculator): для расчёта LS-фактора была использована следующая формула (2) в Raster Calculator:

$$LS = \left(\frac{X}{22.1}\right)^{m} (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2) \quad (2)$$

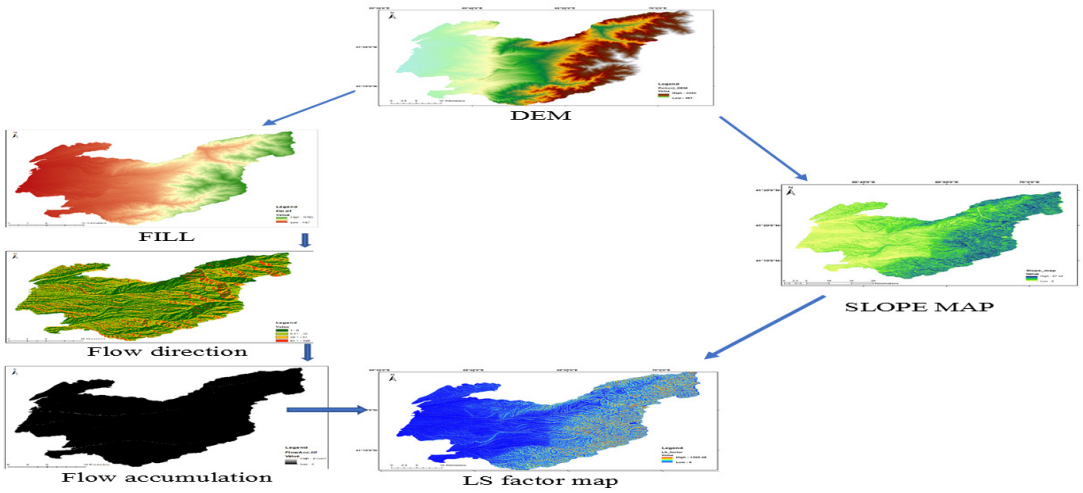


Рисунок 1. Этапы создания карты LS-фактора в ArcGIS

Полученный растр LS-фактора (Рисунок 1.) был сохранён и использован в дальнейшем при расчёте общего уровня потерь почвы по модели RUSLE.

2.3. Фактор эрозионного потенциала осадков (R-фактор)

Фактор эрозионного потенциала осадков (R-фактор) отражает способность дождя вызывать эрозию почвы.

Она рассчитывается как произведение кинетической энергии осадков и максимальной 30-минутной интенсивности.

Для расчёта R-фактора используется следующая формула:

$$R = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{mj}(EI_{30})_k$$

Для проведения исследования необходимы данные об осадках за период не менее 20 лет. В Паркентском районе и ближайшем территории распоряжении оказались данные четырёх метеостанции (Сукок, Бошкизилсой, Чимган и Ангрен), обеспечивающие такие непрерывные данные за 2000–2022 гг., согласно по архиве агентства Узгидромет.

Мы вычислили R-фактор для каждой метеостанции и создали его карту. Слой карты R-фактора был сформирован в ГИС методом интерполяции (рисунок 2). Таким образом, после определения значений R получена интерполированная карта распределения R-фактора.

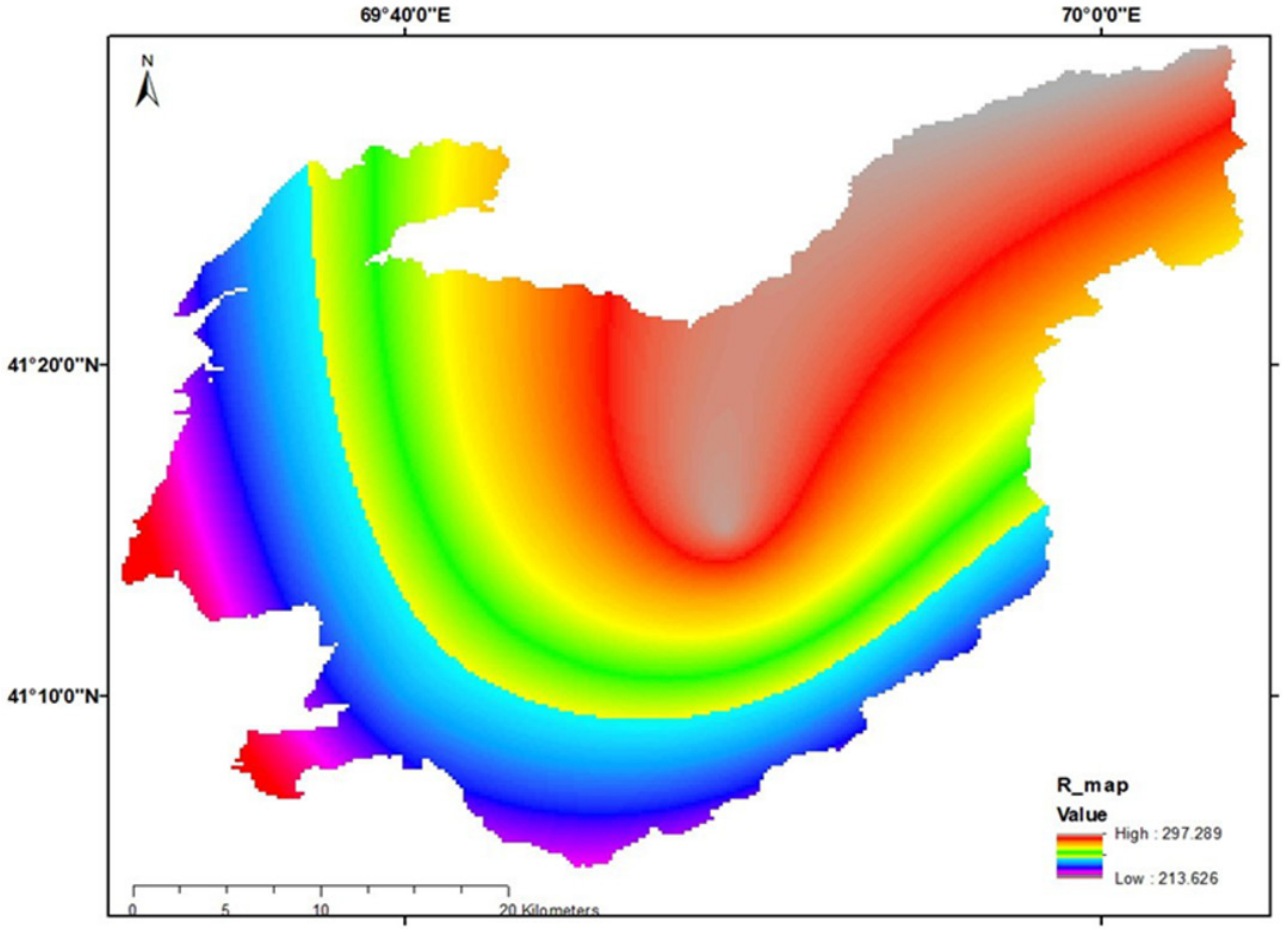


Рисунок 2. Карта фактора эрозионного потенциала осадков (R-фактор)

2.4. Фактор эрозии почвы (K-фактор)

Для расчёта коэффициента K было отобрано 367 образцов почвы, представляющих различные формы рельефа и ландшафтные единицы в пределах исследуемой территории. Места отбора проб были определены с помощью GPS-устройства, образцы почвы были взяты из поверхностного слоя на глубине (0-15) см.

Образцы почв были проанализированы в лаборатории ГП «Центр анализа почв». После этого на основе полученных данных был рассчитан коэффициент фактора K (рисунок 3).

ISSN 2181-0826 2/2025 y.

2.4. Фактор эрозии почвы (K-фактор)

Для расчёта коэффициента K было отобрано 367 образцов почвы, представляющих различные формы рельефа и ландшафтные единицы в пределах исследуемой территории. Места отбора проб были определены с помощью GPS-устройства, образцы почвы были взяты из поверхностного слоя на глубине (0-15) см.

Образцы почв были проанализированы в лаборатории ГП «Центр анализа почв». После этого на основе полученных данных был рассчитан коэффициент фактора K (рисунок 3).

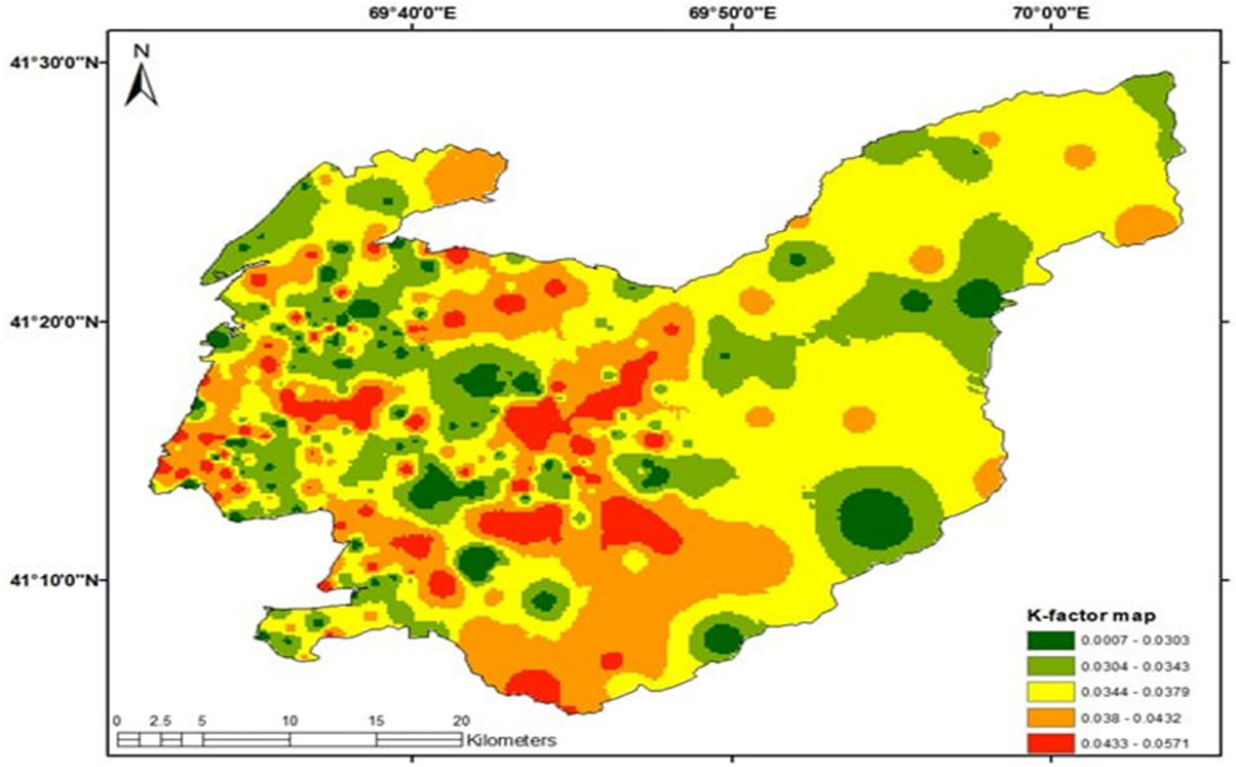


Рисунок 3. Карта фактора эрозии почвы (K-фактор)

2.5. Фактор коэффициент покрова и растительности (C-фактор)

Фактор C (покров и растительности) считается, возможно, один из самых важных компонентов в модели RUSLE. С увеличением растительного или искусственного покрова и почвенной биомассы значение C-фактора уменьшается. Хорошо защищённая почва имеет значение C, близкое к нулю, тогда как почти полностью голая почва без покрова близкое к единице.

Оценка C-фактора может быть выполнена с использованием вегетационных индексов, полученных из спутниковых снимков. Одним из наиболее распространённых за последние десятилетия индексов является нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI).

Формула расчёта NDVI:

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

где NIR — ближний инфракрасный диапазон, а Red — красный диапазон мультиспектрального спутникового изображения.

Метод NDVI обычно применяется для определения типов землепользования. Однако в рамках нашего исследования были использованы данные, полученные из Республиканского центра аэрогеодезии. Типы землепользования были определены на национальном уровне, а карты и контурные листы были составлены в 2020 году. Полученные материалы были классифицированы на восемь

основных категорий: орошаемые земли, богарные земли, пастбище, виноградники и сады, прочие земли, населённые пункты и застройки, водоёмы и леса (Рисунок 4.).

Существует множество подходов и формул для определения С-фактора, использующих разные коэффициенты. В нашем исследовании использовались коэффициенты, применяемые для аридных (засушливых) зон.

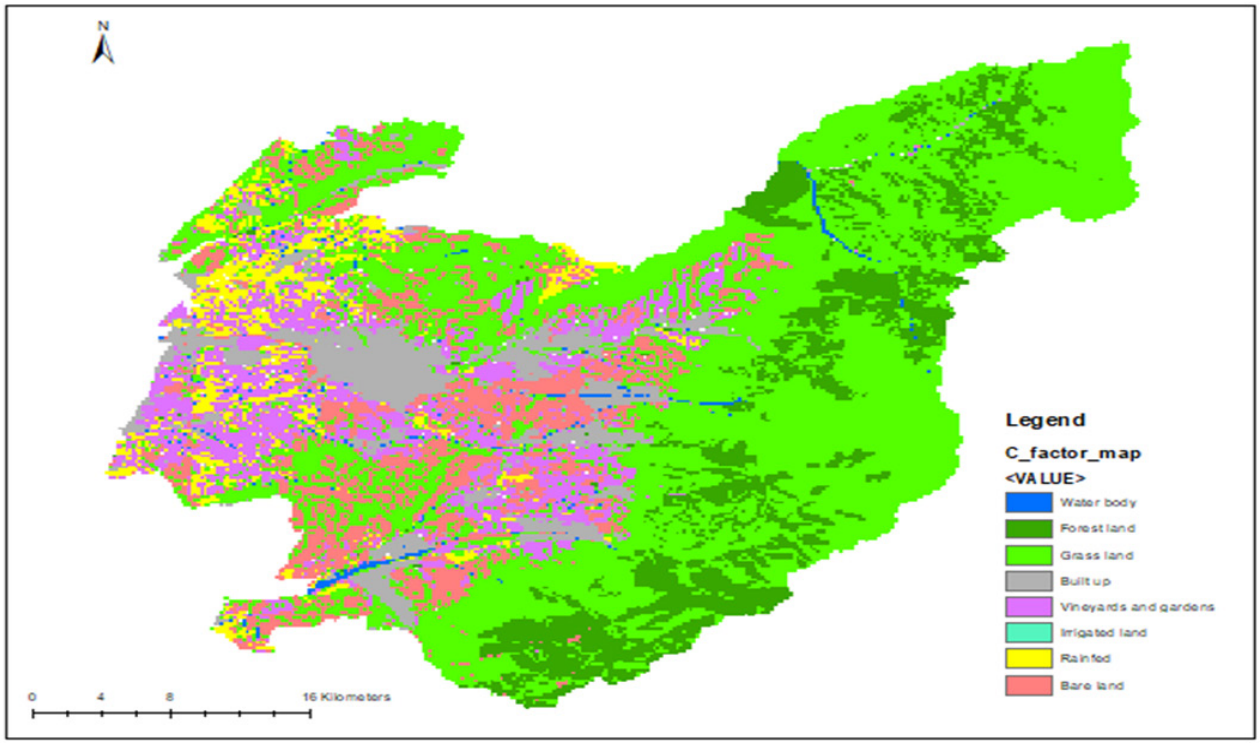


Рисунок 4. Карта коэффициента покрова и растительности (С-фактор)

2.6. Фактор защитных мероприятий (P-фактор)

Противоэрозионные и почвосберегающие меры, такие как контурная обработка, полосное земледелие и террасирование, существенно снижают риск эрозии за счёт уменьшения поверхностного стока, воздействия на дренажные потоки, скорость и концентрацию воды. Влияние таких мероприятий на скорость эрозии учитывается в модели RUSLE через P-фактор (Renard et al., 1997). Значения P варьируются от 0 до 1, 0 - идеально реализованные меры, полностью предотвращающие эрозию, 1 - полное отсутствие защитных мероприятий (Ganasri & Ramesh, 2016)

В исследовании Паркентского района всему участку было присвоено значение P = 1.0, поскольку защитные меры на территории почти не применяются. Это было установлено на основе анализа карты землепользования. Хотя в районе имеется около 200 гектаров террасированных склонов, построенных в 1950–1960 гг. в советский период (изначально предназначенных под сады). В настоящее время эти участки применяются как пастбища для скота, а не как сельхозугодья. Поэтому для расчётов было принято наиболее корректное решение — использовать значение P = 1.0 для всей территории.

3. Результаты

Оценка риска эрозии почв в Паркентском районе была выполнена путём наложения пяти факторов модели RUSLE с использованием Raster Calculator в программе ArcGIS 10.8.1, предназначенной для пространственного анализа.

Годовые потери почвы

ISSN 2181-0826 2/2025 y.

варьировались от 0 до 1276 т/га/год. Возникает необходимость приоритизации участков в зависимости от степени риска и интенсивности эрозии.

Среднегодовая потеря почвы по Паркентскому району составила 3,38 т/га/год, а общая годовая потеря почвы — около 107 600 тонн.

4. Заключение

В целом, потенциал потери почвы в исследуемой территории Паркентского района относительно невысок. Тем не менее, наибольшие темпы эрозии наблюдаются на крутых склонах в северной и северо-восточной частях района. Поскольку оценки потерь почвы по модели RUSLE основаны на значениях факторов, конечный результат является прямым отражением этих факторов.

Проведённое исследование по созданию карты эрозии почв с использованием модели RUSLE показало, что эрозия почв представляет собой серьёзную проблему для Паркентского района. Анализ факторов модели RUSLE позволил выделить основные причины эрозии и определить критические точки, требующие немедленного вмешательства для разработки мероприятий по охране почв.

Анализ факторов, учтённых в модели RUSLE (таких как климат, рельеф, растительность и почвенные свойства), позволил выявить ключевые причины эрозии и определить наиболее уязвимые участки. Полученные результаты указывают на необходимость немедленного принятия мер по защите почв в Паркентском районе, разработке и реализации конкретных мероприятий по борьбе с эрозией.

Эти меры должны быть адаптированы к условиям рельефа и типам землепользования. Их реализация позволит значительно сократить потери почвы, повысить плодородие земель и обеспечить долгосрочную устойчивость сельского хозяйства в районе.

Настоящее исследование подчёркивает важность применения моделей в Узбекистане, таких как RUSLE, для расчёта потерь почвы в результате эрозии. Кроме того, подчёркивается необходимость продолжения исследований и мониторинга эрозионных процессов в регионе. В последующие годы планируется расширить исследование, включив дополнительные факторы, и регулярно проводить мониторинг, чтобы отслеживать динамику эрозии почв.

Список использованной литературы:

1. Dou X., Ma X., Zhao C., Li J., Yan Y. & Zhu J. (2022). Risk assessment of soil erosion in Central Asia under global warming. Catena, 212. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106056.

2. Duulatov E., Chen X., Issanova G., Orozbaev R., Mukanov Y. & Amanambu A.C. (2021). Projected Rainfall Erosivity and Soil Erosion in Central Asia. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63509-1_4.

3. Ganasri B.P. & Ramesh H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. Geoscience Frontiers, 7(6), 953–961. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007.

4. Gianinetto M., Aiello M., Polinell, F., Frassy F., Rulli M.C., Ravazzani G., Bocchiola D., Chiarelli D.D., Soncini A. & Vezzoli R. (2019). D-RUSLE: a dynamic model to estimate potential soil erosion with satellite time series in the Italian Alps. European Journal of Remote Sensing, 52 (sup4). https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1669491.

5. Gupta R., Kienzler K., Martius C., Mirzabaev A., Oweis T., De Pauw E., Qadir M., Shideed K., Sommer R. & Thomas R. (2009). Research prospectus: a vision for sustainable land management research in Central Asia. ICARDA Central Asia and Caucasus Program. Sustainable Agriculture in Central Asia and the Caucasus Series, 1.

6. Merritt W.S., Letcher R.A. & Jakeman A.J. (2003). A review of erosion and sediment

transport models. Environmental Modelling and Software, 18(8–9). https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1.

7. Mirzayev B., Mamatov F., Ergashev I., Islomov Y., Toshtemirov B. & Tursunov O. (2019). Restoring degraded rangelands in Uzbekistan. Procedia Environmental Science, Engineering and Management, 6(3).

8. Pimental D., Resosudarmo S.K., Kurz D., McNair C.S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R. & Blair R. (1995). Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. Science, 267(2502).

9. Renard K., Foster G., Weesies G., McCool D. & Yoder D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In Agricultural Handbook No. 703.

10. Siakeu J. & Oguchi T. (2000). Soil erosion analysis and modelling: A review. In Chikei (Vol. 21, Issue 4, pp. 413–429).

11. Singer M.J. & Warkentin B.P. (1996). Soils in an environmental context: An American perspective. Catena, 27(3–4). https://doi.org/10.1016/0341-8162(96)00016-1.

12. Smith H.J. (1999). Application of empirical soil loss models in southern Africa: A review. South African Journal of Plant and Soil, 16(3). https://doi.org/10.1080/02571862.1999.10635003.

13. Yang D., Kanae S., Oki T., Koike T. & Musiake K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. Hydrological Processes, 17(14). https://doi.org/10.1002/hyp.1441.

UDK:631.452.

SUG‘ORILADIGAN BO‘Z-O‘TLOQI TUPROQLARNING UMUMIY FIZIK XOSSALARI

Ruzmetov Maqsud Ismoilovich,
q.x.f doktori, professor
Bobonorov Bekzod Boymirzayevich,
ilmiy xodim,
e-mail: bekzodbobonorov427@gmail.com
Bekchanov Qudrat Komiljanovich,
“Tuproq klinikasi” innovasion korxonasi MCHJ direktori

Tuproqshunoslik va agrokimyoviy tadqiqotlar instituti

Annotasiya. Ushbu maqolada suv toshqini natijasida turli darajada yuvilgan sug‘oriladigan bo‘z-o‘tloqi tuproqlarining umumiy fizik xossalari o‘zgarishlari bayon etilgan. Hudud tuproqlarida yuvilish darajasi ortgan sayin tuproqning gumus va oziqa elementlari miqdori ham mos ravishda kamaygan, tuproq yuza qatlamida mexanik tarkibi yengillashganligi kuzatilgan. Toshqin natijasida tuproq yuza qoplami suv bosimida turganligi sababli hajm og‘irligi oshgan.

Kalit so‘zlari: Sug‘oriladigan bo‘z-o‘tloqi tuproqlar, turli darajada yuvilgan tuproqlar, umumiy fizik xossalari, haydalma va haydalma osti qatlamlari, tuproqni qayta tiklash, hajm og‘irligi.

Аннотация. В данной статье изложены изменения общих физических свойств орошаемых серозёмно-луговых почв промытый различной степени в результате наводнения. Установлено, что с увеличением степени промывания в почвах региона количество гумуса и питательных элементов соответственно снижалось, а механический состав поверхностного слоя почвы становился легче. В результате наводнения плотность поверхности почвы увеличилась изза давления воды.