

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов" им. Патриса Лумумбы

На правах рукописи

**НГУЕН ТХИ ТХЮИ ХА**

**ОЦЕНКА ЭРОЗИИ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ТРОПИЧЕСКИХ МУССОНОВ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ВЬЕТНАМ**

Специальность: 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

**Диссертация**

**на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук**

**Научный руководитель:**

**Астарханова Тамара Саржановна**

доктор сельскохозяйственных наук,

профессор

г. Москва 2024 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>13</b>
1.1. Теория исследования эрозии почв в тропических муссонных районах .....	13
1.2. Факторы, влияющие на эрозию почвы.....	13
1.3. Роль моделирования для оценки эрозии почвы .....	31
1.4. Экономический потенциал района исследований .....	49
<b>ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>55</b>
2.1. Природно-климатические условия.....	55
2.2. Характеристика почв Северного, Центрального и Южного Вьетнама	60
2.3. Карты пространственно-временного распределения землепользования .	66
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>69</b>
3.1. Результаты мониторинга эрозии почв спутниковыми изображениями.....	69
3.2. Результаты эрозии почв методом полевых исследований .....	70
3.3. Результаты мониторинга эрозии почв методом дистанционного зондирования .....	70
3.4. Расчет эрозии почв оптимизированным методом универсального уравнения потери почвы .....	71
3.5. Особенности методов исследований .....	75
3.6. Особенности объектов исследования .....	76
<b>ГЛАВА 4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭРОЗИЮ ПОЧВ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ.....</b>	<b>79</b>
4.1. Влияние дождевых осадков на эрозию почвы на исследуемой территории (R) .....	79
4.2. Влияние типа почвы на эрозию в изучаемом районе (K).....	84

4.3. Влияние рельефа местности на эрозию почвы на исследуемой территории (LS) .....	89
4.4. Влияние растительного покрова на эрозию почвы на исследуемой территории (С) .....	92
4.5. Влияние природоохранных мероприятий на эрозию почв исследуемой территории (Р) .....	96
4.6. Карта эрозии почв на исследуемой территории.....	97
4.7. Разработка мер по борьбе с эрозией на исследуемой территории .....	99
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>107</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....</b>	<b>109</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>110</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>	<b>126</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Мощный экзогенный геологический процесс, эрозия – это процесс отрыва, переноса и отложения частиц почвы временным водным потоком, размыва или смыва почв под действием текущих вод (водная эрозия) или ветра (ветровая эрозия или дефляция)<sup>1,2</sup>. Эрозия почвы зависит от типа почв, гранулометрического состава почв, характера растительного покрова, провинциальными особенностями региона, видом эксплуатации<sup>3</sup>. В настоящее время около 70 % государств в мире сталкиваются с проблемой эрозии почвы и опустыниванием, площадь эрозии составляет 30 % от континентальной площади<sup>4</sup>. Во Вьетнаме около 40 % территории страны подвержено эрозии<sup>5</sup>. Эрозия почвы представляет собой угрозу не только для сельскохозяйственной отрасли, но и для социально-экономического развития. Особенно остро эрозия проявляется в странах Восточной Азии, таких как Непал, Малайзия и Вьетнам. Согласно мнению Вишмайера, У.Х.; Смит, Д.Д., 1978<sup>6</sup>, на процесс эрозии почв обусловлен множеством сложных факторов, на

---

<sup>1</sup>Ngo Thanh Son, Tran Trong Phuong, Nguyen Thi Phuong Mai, Nguyen Thu Ha. Overview of soil erosion prediction models and applications // Journal of forestry science and technology, 2022, (1), 103–113.

<sup>2</sup>Aksoy, H., & Kavvas, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models // CATENA, 2005, 64(2-3), 247–271. Doi: 10.1016/j.catena.2005.08.008

<sup>3</sup>Aksoy, H., & Kavvas, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models // CATENA, 2005, 64(2-3), 247–271. Doi: 10.1016/j.catena.2005.08.008

<sup>4</sup>Tian, W.T., Hu, W.Y., Li, J. et al. The status of soil and water loss and analysis of countermeasures in China // Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(4), 204 - 209.

<sup>5</sup>Dinh, H.L., Shibata, M., Kohmoto, Y., Nguyen, H, L, Funakawa, S. Analysis of the processes that generate surface run off and soil erosion using a short-term water budget on a mountainous sloping cropland in central Vietnam // Catena, 2022, 211, 106032.

<sup>6</sup>Wischmeier W.H. and D.D. Smith (1978), Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning //, USDA.Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, 1978, No. 537, vol Agriculture Handbook, Washington, DC., 58.

возникновение и развитие современных экзогенных процессов оказывают влияние рельеф, климат, свойства почв и деятельность человека. Эрозия почв - это вид деградации, который негативно изменяет ландшафт, ухудшает качество воды, что снижает качество жизни, среду обитания<sup>7</sup>. Любой вид эрозии усугубляется посредством разных видов деятельности человека<sup>8</sup>. На сегодняшний день эрозия почвы усиливается из-за нерационального вида землепользования в сельском хозяйстве, в результате вырубки лесов, последствий изменения климата и других природных процессов<sup>9</sup>. В горных районах Вьетнама население до сих пор занимается сельским хозяйством на землях с крутыми склонами (даже при уклонах более 25°), это способствует значительному развитию эрозии, почва быстро деградирует, сокращается площадь возможной эксплуатации. Это проявляется после 2-3 урожаев продовольственных культур короткого срока вегетации и нескольких урожаев маниока. Земля становится заброшенной и неподлежащей восстановлению<sup>10</sup>. Замена естественного лесного покрова искусственными насаждениями лесами ускоряет эрозию почвы. Это проявляется на плантациях акации во Вьетнаме. На сегодняшний день на плантациях акации было проведено большое число научных исследований, показывающих, что в молодом возрасте насаждения акации, подвержены эрозии из-за отсутствия растительного покрова, деvegetации, причина которой вымывание и выдувание почвенных частиц<sup>11</sup>. Как правило, чем старше акациевые насаждения, тем лучше

---

<sup>7</sup>Khosravi, Golkarian, A., K., Panahi, M. & Clague, J. J. Spatial variability of soil water erosion: Comparing empirical and intelligent techniques // *Geoscience Frontiers*, 2023, 14, 101456.

<sup>8</sup>Adornado H. A., Yoshida M., & Apolinaros H. A. Erosion vulnerability assessment in REINA, Quezon Province, Philippines with raster-based tool built within GIS environment // *Agricultural Information Research*, 2009, 18(1), 24-31.

<sup>9</sup>Ding, C., Xia, Y., Yuan, Z., Yang, H., Fu, J. & Chen, Z. Performance prediction for a fuel cell air compressor based on the combination of backpropagation neural network optimized by genetic algorithm (GA-BP) and support vector machine (SVM) algorithms // *Thermal Science and Engineering Progress*, 2023, 44, 102070

<sup>10</sup>Doanh L.Q., H.D. Tuan, A. Chabanne, Upland Agro - Ecology Research and Development in Vietnam // *Building an Agro-Ecological Network through DMC in Southeast Asia*, Vientiane, Lao, 2005, p. 7.

<sup>11</sup>Dung, B. X., Trang, P. Q., Linh, N. T. M., Hoa, D. T., Gomi T. Soil erosion and overland flow from Acacia plantation forest in headwater catchment of Vietnam // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 266

их способность защищать почву, так как мощнее корневая система. Для устойчивого развития необходимо проведение мер по предотвращению эрозии и деградации почв. Выявление и прогнозирование территорий, подверженных эрозии почвы, является важным шагом в реализации эффективных мер по исправлению положения<sup>12</sup>.

Горная местность провинции Нгеан Вьетнама находится под воздействием тропического муссонного климата со среднегодовым количеством осадков, варьирующихся от 1800 до 2200 мм/год<sup>13</sup>. Местность характеризует очень разнообразный рельеф, основную часть которого составляют горы и среднегорье; высота гор колеблется от менее 10 м над уровнем моря до более 1500 м. Рельеф имеет плавный наклон с севера на юг и с запада на восток<sup>14,15</sup>. Характер землепользования, сельскохозяйственная обработка и влияние климата, особенно колебания количества осадков, увеличивают риск проявления эрозии почвы. Возделывание на склоновых землях снижает мощность гумусового горизонта и его качество<sup>16</sup>. Эрозия почвы способствует значительному снижению продуктивности сельскохозяйственных угодий, уменьшает урожай и качество продукции, повышает уровень бедности населения и, как следствие, ухудшает экологическую обстановку<sup>17</sup>. При увеличении частоты и интенсивности осадков,

---

<sup>12</sup>Yesuph, A. Y. & Dagneu, A. B. Soil erosion mapping and severity analysis based on RUSLE model and local perception in the Beshillo Catchment of the Blue Nile Basin, Ethiopia // *Environmental Systems Research*, 2019, 8, 1–21.

<sup>13</sup>Báo cáo Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 của huyện Thanh Chương // Ủy ban nhân dân huyện Thanh Chương, 2021 (ОтчетопланированияземлепользованиярайонаТханьЧуонгдо 2030 года // НародныйкомитетрайонаТханьЧуонг, 2021).

<sup>14</sup>Dinh, T.K.H.; Kazuto, S.M. Effects of forest reclamation methods on soil physicochemical properties in North-Central Vietnam // *Research on Crops*, 2022, v.23, p.110-118.

<sup>15</sup>Hung, T.T; Doyle, R.; Eyles, A.; Mohammed, C. Comparison of soil properties under tropical Acacia hybrid plantation and shifting cultivation land use in northern Vietnam // *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 2017, v.79, p.9-18, 2017.

<sup>16</sup>Ha, N. T. T., Tuyen, T. T., Sarzhanovna, A. T., Thuy, H. T., Luong, V. V., Du, T. D., ... & Khanh, V. T. Potential risks of soil erosion in North-Central Vietnam using remote sensing and GIS // *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2023, 27(11), 910-916

<sup>17</sup>Nguyễn Đình Dũng, Nguyễn Cảnh Thái, Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Thái Hoàng, Nghiên cứu đặc điểm đất bồi lắng hồ

водная эрозия приводит к потере верхнего слоя почвы, а также к значительному снижению ее качества. В ближайшие годы деградация земель, может возрасти вследствие совокупного воздействия глобального изменения климата и нерационального землепользования. Особенно необходимо создание и исследование моделей устойчивого развития сельского и лесного хозяйства, что будет способствовать повышению социально-экономической эффективности и борьбе с эрозией. Данное исследование проводили в районе Тхань Чуонг, провинции Нгеан Вьетнама, цель исследования состояла в определении текущей ситуации по эрозии почвы в тропическом муссонном регионе Юго-Восточной Азии.

**Степень разработанности исследований.** Факторами, влияющими на развитие процессов эрозии, в разные годы занимались Moore I.D., Grayson R.V. and oth., 1999; Соболев С.С. (1948), фактором водной эрозии занимались многие ученые, среди них: Девдариани А.С. (1964), Заславский М.Н. (1979), Швец Г.И. (1981), Ларионов Г.А. (1993), Жеренков А.В. (1999) и др. В настоящее время много исследований у Adornado H. A., Yoshida M., & Apolinaris H. A. (2009), Kazuya Takahashi (2020г), Савина И.Ю. (2020,2022), Соболева С.С (1975), И.Д. Брауде (1965, 1976), Лидова В.П. (1981), Кочетова И.С. (1988), Сурмач Г.П. (1992).

**Целью исследований является** изучение развития эрозии почв в регионе тропических муссонов и разработка мер, направленных на ее минимизацию на примере района Тхань Чуонг провинции Нгеан Вьетнама.

**Поставленная цель достигается решением следующих задач:**

- выявление и оценка факторов, влияющих на развитие эрозии почв на исследуемой территории;

---

chứa vữa và nhỏ ở Hà Tĩnh // Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi, 2020, số 60, pp. 99-105. (Нгуен Динь Зунг, Нгуен Кань Тай, Нгуен Конг Тханг, Нгуен Тай Хоанг, Исследование характеристик почвы малых и средних водоемов в Ха Тинь // Журнал ирригационной науки и техники, 2020, № 60, стр. 99-105)

- определение интенсивности развития эрозионных процессов с применением дистанционного зондирования и программного обеспечения Географической информационной системы (ГИС) GIS;
- оценка возможности применения унифицированного уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при построении прогнозов проявления водно-эрозионных процессов с использованием современных ГИС-систем (ArcGis 10) и анализе изображений Landsat 8;
- разработка цифровых картограмм района Тхань Чуонг на основе эмпирических параметров RUSLE;
- разработка комплекса противоэрозионных мер, основанных на иерархии факторов модели RUSLE лесохозяйственных и агротехногенных ландшафтов.

**Объект исследования.** Эродированные почвы и системы землепользования в районе Тхань Чуонг провинции Нгеан Социалистической Республики Вьетнам.

**Предмет исследования.** Оценка эрозии почвы в условиях тропических муссонов за 2010 - 2021 гг.

**Научная новизна.** Новизна выполненной нами работы заключается в том, что впервые в условиях тропических муссонов представлены характеристики эрозии почв, уровни иерархии, влияния и выявлены взаимосвязи факторов от изменения комплекса климатических, метеорологических, топологических, орографических параметров. Проведена комплексная оценка географического распространения эрозии почвы, основанная на применении интегрированных моделей GIS, RS и RUSLE, анализе систем землепользования и верификационных полевых моделей.

Это позволило впервые разработать комплекс противоэрозионных мер на их основе для территории района Тхань Чуонг провинции Нгеан Социалистической Республики Вьетнам, которые способствовали устойчивому снижению факторов эрозии.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Факторы, влияющие на эрозию почв;

2. Результаты дистанционного зондирования с использованием программного обеспечения Географической информационной системы (ГИС) GIS;
3. Результаты оценки эрозии почв на основе изображений Landsat 8 для определения эмпирических параметров RUSLE;
4. Комплекс мер, направленных на снижение эрозии почвы в условиях тропических муссонов.

**Достоверность результатов исследований** подтверждается значительным объёмом накопленных экспериментальных данных, полученных в результате выполнения опытов с применением систем дистанционного зондирования и программного обеспечения Географической информационной системы (ГИС) GIS, определением эмпирических параметров модели RUSLE для оценки степени эрозии почв на основе изображений Landsat 8, современных способов статистического и математического анализа, положительными результатами апробирования разработанной технологии, достигнутыми в производственных условиях, и публикаций основных положений диссертации.

**Теоретическая значимость исследования.** Дается обоснование возможности использования GIS технологии, дистанционного зондирования и применимости RUSLE модели для оценки и расчета параметров эрозии почвы в районе тропических муссонов в районе Тхань Чуонг, провинция Нгеан (Вьетнам).

**Практическая значимость.**

Определены тенденции изменения климатических параметров и обеспеченности основными метеорологическими элементами в географических зонах влияния тропических муссонов районов Центрального Вьетнама;

Установлены уровни иерархии, влияния и взаимосвязи факторов, определяющие развитие водно-эрозионных процессов почв в условиях тропических муссонов, для проведения комплексной оценки эрозии почвы и ее географического распределения;

Разработана методология проведения комплексной оценки эрозии почвы и географического распределения, основанная на применении интегрированных

моделей GIS, RS и RUSLE, анализе используемых систем землепользования и верификационных полевых моделей;

Выявлены взаимосвязи эрозионной устойчивости почв лесохозяйственных и агротехногенных ландшафтов, систем землепользования и фитомелиоративной способности растительного покрова;

Составлена цифровая карта интенсивности водно-эрозионных процессов ландшафтов и слои картографии распределения основных факторов;

Разработан комплекс практических мер борьбы по снижению эрозии почв, ориентированных на устойчивое развитие лесохозяйственных и агроландшафтов.

### **Методология и методы исследований.**

В основу теоретико-методологической части исследований положены общепринятые методы планирования и проведения опытов, а также лабораторные исследования. Планирование и проведение исследований включает мета-анализ данных по литературным научным источникам. При проведении исследований применялся системный подход.

**Личный вклад автора** заключается в постановке целей и задач исследований, выборе методик проведения полевых опытов, обработке и анализе результатов исследований, подготовке публикаций, диссертационной рукописи и автореферата, выводов и предложений производству.

**Научные публикации.** По материалам диссертации опубликовано 6 статей в журналах из базы данных Скопус и статья из другого перечня.

1) Potential risks of soil erosion in North Central Vietnam using remote sensing and GIS (Потенциальные риски эрозии почв в Северо-Центральном Вьетнаме с использованием дистанционного зондирования и GIS) // Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering. Vol. 27. N.11. November 2023. P. 910–916. (SCIEQ2)<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup>Nguyen Thi Thuy Ha, Astarkhanova Tamara Sarzhanovna, et al; Potential risks of soil erosion in North-Central Vietnam using remote sensing and GIS // Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering, November 2023, Volume 27, N.11, p.910-916 (SCIE Q2) ISSN 1415-4366

2) Mapping of soil erosion susceptibility using advance machine learning models at Nghe An, Vietnam (Картирование склонности почвы к эрозии с использованием передовых моделей машинного обучения в провинции Нгеан (Вьетнам)) // Journal hydroinformatics. November 2023 (SCIE Q2);<sup>19</sup>

3) Effect Chemical Charateristic of Soil on Orange Productivity: A Case Study of Nghe An Province, Vietnam (Влияние Химическая Характеристика почвыи продуктивность апельсинов: пример провинции Нгеан (Вьетнам)) // Indian Journal of Ecology. August 2020. P. 607–613. (Scopus Q4);<sup>20</sup>

4) Integrating Remote Sensing, GIS and Machine Learning Approaches in Evaluation of Landslide Susceptibility in Mountainous Region of Nghe An Province, Vietnam: Earth and Environmental Science<sup>21</sup>(Интеграция методов дистанционного зондирования, GIS и машинного обучения при оценке подверженности оползням в горном районе провинции Нгеан (Вьетнам): Наука Земли окружающей среде) // GeoShanghai 2024. Volume 6. May 2024.

5) Population dynamics of a Sonneratia caseolaris stand in the Lam river estuary of Vietnam: A restoration perspective (Динамика популяции насаждения Sonneratia Caseolaris в устье реки Лам во Вьетнаме: перспективы восстановления) // Landscape and Ecological Engineering, November 2020 (SCIE Q3)<sup>22</sup> .

6) Evaluation of Mangrove Ecosystem Importance for Local Livelihoods in Different Landscapes A Case Study of the Hau and Hoang Mai River Estuaries in Nghe An, North-

---

<sup>19</sup>Nguyen QuyetChien, Nguyen Thi Thuy Ha, Astarkhanova Tamara Sarzhanovna, et al; Mapping of soil erosion susceptibility using advance machine learning models at Nghe An, Vietnam // Journal of Hydroinformatics, November 2023, (SCIE Q2) ISSN 1464-7141

<sup>20</sup>Kazuya Takahashi, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Effect Chemical Charateristic of Soil on Orange Productivity: A Case Study of Nghe An Province, Vietnam; Indian Journal of Ecology, August 2020, 607-613 (scopus Q4) ISSN 0304-5250

<sup>21</sup>Tran Thi Tuyen, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Integrating Remote Sensing, GIS and Machine Learning Approaches in Evaluation of Landslide Susceptibility in Mountainous Region of Nghe An Province, Vietnam // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; May 2024, GeoShanghai 2024 – Volume 6.

<sup>22</sup>Kazuya Takahashi, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Population dynamics of a Sonneratia caseolaris stand in the Lam river estuary of Vietnam: A restoration perspective // Landscape and Ecological Engineering, November 2020 (SCIE Q3)

Central Vietnam (Оценка важности мангровых экосистем для местного населения в различных ландшафтах: тематическое исследование рек Хау и Хоангмай в Нгеане, северо-центральный Вьетнам) // Sustainability Journal, Volume 15, Issue 4; February 2023, (SCIE Q1)<sup>23</sup>.

7) Species composition, habitat structure and sedimentation in a *Sonneratia caseolaris* stand at the Lam River estuary, Vietnam (Видовой состав, структура среды обитания и осадконакопление в насаждении *Sonneratia Caseolaris* в устье реки Лам, Вьетнам) // The Fundamental and Applied Agriculture (FAA), Volume 5 Issue 2, June 2020, 157-166<sup>24</sup>.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация изложена на 141 страницах компьютерного текста. Состоит из введения, 4 глав, содержит 8 таблиц, 19 рисунков, 4 приложения. Список использованной литературы включает 128 источника, в том числе 115 зарубежных авторов.

---

<sup>23</sup>Tran Thi Tuyen, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Evaluation of Mangrove Ecosystem Importance for Local Livelihoods in Different Landscapes A Case Study of the Hau and Hoang Mai River Estuaries in Nghe An, North-Central Vietnam // Sustainability Journal, February 2023, Volume 15, Issue 4 (SCIE Q1).

<sup>24</sup>Kazuya Takahashi, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Species composition, habitat structure and sedimentation in a *Sonneratia caseolaris* stand at the Lam River estuary, Vietnam // The Fundamental and Applied Agriculture (FAA), June 2020, Volume 5 Issue 2, 157-166.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Теория исследования эрозии почв в тропических муссонных районах

Эрозия проявляется в перемещении почвенных частиц под действием дождевой воды или ветра. Эрозию почвы рассматривают как функцию с такими переменными, как тип почвы, ее гранулометрический состав и физико-химические свойства, уклон местности, плотность и тип растительного покрова, количество осадков и их интенсивность<sup>25</sup>. Это процесс физического смещения почвенных частиц под действием большого количества различных факторов, таких, как сила капель воды, интенсивность и частота ветров. Этот вид деградации почв способствует образованию оползней под действием силы тяжести<sup>26</sup> (Hudson, 1995). Частицы поверхностного слоя почвы измельчаются и смываются водой, сдуваются ветром (FAO, 1994)<sup>27</sup>. В частности, Р.П.С Морган (R.P.CMorgan) полагает, что эрозия почвы представляет собой двухфазный процесс, включающий (1) отделение мелких частиц от почвы, а затем (2) их перемещение с помощью таких эрозионных агентов, как текущая вода и ветер. При нехватке энергии, необходимой для перемещения этих частиц, наступает третья фаза – седиментация<sup>28</sup>.

### 1.2. Факторы, влияющие на эрозию почвы

Результаты проведенных исследований показали, что в настоящее время существует пять основных факторов, влияющих на эрозию почвы: топография, почва, растительность, климат и деятельность человека (рис. 1).

---

<sup>25</sup>Karine Vezina, Ferdinand Bonn, Cu Pham Van. Agricultural land-use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands // J. Landscape Ecology, 2006, vol. 21, No.8, pp.1311-1325, Springer, Netherlands, No 0921-2973.

<sup>26</sup>Hudson, N.W. Soil Conservation / 3rd Edition, 1995, Blowa State University Press, Ames, IA. 392 pages.

<sup>27</sup>Toxopeus A.G. Cibodas: the erosion issue. ILWIS 2.1 for Windows // Applications guide, 1996, Chapter 23. Soil.

<sup>28</sup>Morgan, R. Soil Erosion and Conservation // Blackwell Publishing Ltd. 2005, 3rd Edition, Carlton.



**Рисунок 1. Основные факторы, влияющие на эрозию почвы<sup>29</sup>**

#### *Влияние рельефа на эрозию почвы*

Рельеф является фактором, прямо и косвенно влияющим на эрозию почв. Теоретически в горной местности крутые склоны представляют собой области эрозии, тогда как равнинные участки с незначительными склонами считают областями аккумуляции, нарастания, приращения (территории).

Однако в действительности даже равнины подвергаются эрозии, но объемы их почвенных потерь очень малы, и проявляется, главным образом, в смысле плодородного поверхностного слоя почвы и, как следствие, снижения плодородия пахотных земель. Каждый тип местности характеризуется наличием разных типов эрозии. В гористой местности, имеющей большие расселины и крутой склон, наблюдается сильная линейная овражная эрозия. Что касается открытых склонов

<sup>29</sup>Hoàng Tiến Hà, Ứng dụng công nghệ hệ thống thông tin địa lý (GIS) để dự báo xói mòn đất tại huyện Sơn Động, tỉnh Bắc Cạn // Luận văn Thạc sĩ, Đại học Thái Nguyên, 2009, 75 trang. (Хоанг Тьен Ха, Применение технологии географической информационной системы (ГИС) для прогнозирования эрозии почвы в районе Шон Донг, провинция Баккан // магистерская диссертация, Университет Тай Нгуен, 2009, 75 страниц)

и низкого, пологого рельефа, то здесь преобладает поверхностная эрозия. В известняковом горном рельефе два вышеперечисленных типа отсутствуют, но имеется подземная эрозия, создающая пещеры. Дифференциация и форма горных хребтов, экспозиция сторон (направление по частям света) и их ответвлений оказывают большое влияние на распределение осадков<sup>30</sup>.

При оценке эрозии почвы ученые проводят анализ двух факторов местности: длина склона (LS) и уклон, градусы (S). Коэффициент LS отражает влияние длины и уклона склона на эрозию. Для разрешения трудностей оценки коэффициента LS в региональном масштабе была применена процедура, основанная на DEM, разработанная в США<sup>31</sup>. Алгоритмы этой процедуры используют методы аккумуляции растровой сетки и максимального уклона склона. Однако алгоритмы фактора LS были ограничены наклонами  $\leq 18\%$ , поскольку данные, использованные для разработки RUSLE, включали наклоны только до  $18\%$ <sup>32</sup>. Лю (Liu) и др. (1994) разработали формулу, используя данные о потере почвы с участков естественного стока с уклоном от  $9\%$  до  $55\%$ . Это позволило им определить, что потеря почвы в плане линейности связана с синусом угла наклона. Также, согласно утверждению авторов, при увеличении крутизны склона от  $20^\circ$  до  $40^\circ$  (и до  $60^\circ$ ) изменение показателя длины склона не обнаружено<sup>33</sup>.

Согласно результатам исследований эрозии и тестирований, направленных на борьбу с эрозией почвы, проведенных Нгуеном Куанг Ми (1983) в центральной части Вьетнама, было выявлено следующее:

---

<sup>30</sup>Pineda, L., Ntegeka, V., Willems, P. Rainfall variability related to sea surface temperature anomalies in a Pacific–Andean basin into Ecuador and Peru // *Adv. Geosci.* 2013, 33, 53–62.

<sup>31</sup>Hickey, R. Slope angle and slope length solutions for GIS // *Cartography*, 2000, vol. 29, no.1, pp. 1-8.

<sup>32</sup>MCCool, D.K, G.O. George, M. Freckleton, C.L. Douglas, Jr., and R.I. Papendick. Topographic effect on erosion from cropland in the northwestern wheat region. // *Transactions of the ASAE*, 1993, 36 (4): 1067-1071.

<sup>33</sup>Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes // *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1994, 37(6): 1835–1840.

Увеличение длины склона прямо пропорционально увеличению объема поступающей воды;

Увеличение объема воды прямо пропорционально возрастанию скорости потока и энергии;

Высокая скорость и энергия потока прямо пропорционально усилению процесса выщелачивания и эрозии почвы. При 2х-кратном увеличении длины склона эрозия почвы возрастает от 2 до 7,5 раз<sup>34</sup>.

Склоны средней крутизны и долины топографически способствовали появлению эрозии почвы. Было выявлено, что при увеличении уклона эрозия почвы при одном и том же типе землепользования значительно возрастает<sup>35</sup>. Большие уклоны местности увеличивают интенсивность поверхностной и овражной эрозии. По мере увеличения уклона уровень эрозии резко возрастает, что приводит к ускорению процесса потери почвы вследствие эрозии.

Было обнаружено, что уклон играет определенную роль в контроле стока и изменений эрозии. По сравнению с уклонами в 10° и 20°, скорость снижения стока и эрозии на участках с уклоном в 15° была более низкой (YuchunYan, 2013)<sup>36</sup>.

На основе результатов исследований влияния уклона на эрозию почвы в Центральном нагорье Вьетнама с 1978 по 1982 годы на базальтовых почвах и однолетних чайных плантациях было выявлено, что на уклоне местности в 3° величина эрозии почв составляет 96 т/га в год, при уклоне в 8° градусов - 211 т/га

---

<sup>34</sup>Nguyễn Quang Mỹ, Bước đầu nghiên cứu xói mòn và thử nghiệm chống xói mòn đất Trung Du // Báo các hội nghị khoa học về sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường, 1983, Hà Nội, tr. 19 -23. (Нгуен Куанг Ми, Первоначальные исследования эрозии и испытания по предотвращению эрозии почвы в средней полосе // Отчет научных конференций по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, 1983, Ханой, стр. 19 -23)

<sup>35</sup>Wenyi Sun, Quanqin Shao, Jiyuan Liu, Jun Zhai, Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China // CATENA, 2014, Volume 121, Pages 151-163, ISSN 0341-8162.

<sup>36</sup>Yuchun Yan, Xiaoping Xin, Xingliang Xu, Xu Wang, Guixia Yang, Ruirui Yan & Baorui Chen. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China // Plant and Soil, 2013, Vol. 369, No. 1/2, 585-598 ref. 38

в год, при увеличении уклона местности до  $15^\circ$  величина эрозии почвы находится на опасном эрозионном уровне и достигает 305 т/га в год (Nguyen Quang My, 1983)<sup>37</sup>. Автор проводил исследование влияния уклона на эрозию почвы в провинции Фу Тхо (Вьетнам) с 1982 по 1986 годы на древних аллювиальных почвах и почвах возделывания маниоки. Им выявлено, что на уклоне, равном  $3^\circ$ , эрозия почвы незначительна. При уклоне в  $22^\circ$  уровень эрозии отмечается от умеренного до сильного - от 15 т/га в год до 147.

Так, при увеличении уклона в 7,3 раза уровень эрозии увеличивается в 9,8 раза. Согласно нормативным документам Министерства сельского хозяйства и развития сельских районов Вьетнама, при уклоне местности в более, чем  $25^\circ$ , сельскохозяйственную обработку не допускают. Данная мера имеет целью минимизировать площадь пахотных земель, которые могут быть подвержены эрозии. Согласно мнению ученых, данное Постановление является первым общим шагом к ограничению вовлечения склонов в пашню во Вьетнаме (Nguyen Tu Siem, Thai Phien, 1999)<sup>38</sup>.

Выявлено, что основная причина эрозии почвы в системах земледелия на склоновых землях в основном вызвана воздействием дождевых капель. Результаты эксперимента Эллисон В.Д. обосновывает прекращение эксплуатации почв на склоновых землях (Ellison, 1947)<sup>39</sup>.

При одинаковом градусе уклона более длинный склон повышает риск эрозии почвы. Также в зависимости от вида эксплуатации почв более длинный

---

<sup>37</sup>Nguyễn Quang Mỹ, Bước đầu nghiên cứu xói mòn và thử nghiệm chống xói mòn đất Trung Du // Báo các hội nghị khoa học về sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường, Hà Nội, tr. 19 -23. (Нгуен Куанг Ми, Первоначальные исследования эрозии и испытания по предотвращению эрозии почвы в средней полосе // Отчет научных конференций по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, 1983, Ханой, стр. 19 -23)

<sup>38</sup>Nguyễn Tử Siêm, Thái Phiên, Đất đồi núi Việt Nam thoái hóa và phục hồi // NXBNông nghiệp, 1999, Hà Nội (Нгуен Ту Сием, Тай Пьен, Деградация и восстановление горных земель Вьетнама // Ханойское сельскохозяйственное издательство, 1999)

<sup>39</sup>Ellison W.D, Soil Erosion Studies// Agricultural Engineering, 1947, 28, pp. 145-146, Part I

склон способствует увеличению эрозии почвы. Результаты, полученные в ряде исследований, показали следующее: увеличение длины склона в два раза тождественно увеличению эрозии почвы также вдвое для земель лесного хозяйства, и увеличению почти в три раза на землях с плантациями кофе. В условиях тропического климата влияние длины склона также более выражено, чем в странах с умеренным климатом (Hudson, 1981)<sup>40</sup>. Данные о взаимосвязи длины склона и объема эродированной почвы подтвердили исследования Ле Ван Хоа (LeVanKhoa и др, 2001)<sup>41</sup>, увеличение в два раза длины склона приводит к повышению в 7–8 раз объема эродированной почвы

### *Влияние климата на эрозию почвы*

Большое влияние на эрозию почвы оказывает климат (Ellison, 1947)<sup>42</sup>, факторы, прямо или косвенно влияющие на эрозию: температура и влажность воздуха и почвы, скорость ветра. Среди данных факторов атмосферные осадки в большей степени способствуют проявлению процесса. Исследования, проведенные как в лаборатории, так и в полевых условиях, показывают, что воздействие дождевых капель намного сильнее, чем другие факторы. Особенно выделяется разрушающее и эрозионное воздействие стоков, вызванных дождевой водой.

Исследованиями Эллисон В.Д.<sup>17</sup> установлено, что основное действие дождевых капель заключается в отделении частиц почвы, а поверхностного стока - в перемещении частиц почвы. Эрозионную роль дождя и поверхностного стока можно представить как трехфазный процесс:

---

<sup>40</sup>N. Hudson, Đào Trọng Năng và Nguyễn Kim Dung dịch, Bảo vệ đất và chống xói mòn // Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 1981, Hà Nội. (N. Hudson, Дао Чонг Нанг и Нгуен Ким Дунг, Защита почв и предотвращение эрозии // Издательство науки и технологий, 1981, Ханой.)

<sup>41</sup>Lê Văn Khoa. Phương pháp phân tích đất, nước, phân bón, cây trồng // Nhà xuất bản Giáo dục Hà Nội. (Ле Ван Хоа, 2001. Методы анализа почвы, воды, удобрений и растений // Ханойское образовательное издательство)

<sup>42</sup>Ellison W.D, Soil Erosion Studies// Agricultural Engineering, 1947, 28, pp. 145-146, Part I

- (1) отделение частиц почвы от почвенной массы;
- (2) перемещение частиц почвы;
- (3) их отложение.

#### *Годовое количество осадков*

Осадки сильно влияют на процесс эрозии. В районах с небольшим количеством осадков вероятность эрозии очень мала, поскольку осадков недостаточно для создания стока, они теряются в результате инфильтрации почвы, испарения, поглощаются растениями и, следовательно, исчерпываются.

Согласно результатам исследований, максимальная выраженность дождевой эрозии возникает при превышении среднегодового количества осадков 300 мм. Превышение количества осадков в 1000 мм в год также создает хорошие условия для роста растительного покрова, и степень эрозии в данной случае бывает незначительной. Однако, при таком количестве осадков в районах, где растительность изрежена или отсутствует, вырублены леса (девегетация), уровень эрозия будет крайне высоким<sup>43</sup>.

#### *Интенсивность дождевых осадков*

Процесс формирования стока во многом зависит от интенсивности дождевых осадков. Интенсивность дождевых осадков представляет собой количество дождя, выпавшего за определенный период времени в миллиметрах в час. Чем продолжительнее период дождей и выше интенсивность дождевых осадков, тем сильнее будет происходить эрозионный процесс на распаханых почвах или при отсутствии растительного покрова. Согласно результатам исследований, во многих регионах мира дожди с интенсивностью осадков более 25 мм/ч приводят к образованию стока, что способствует эрозии. Чем больше доля

---

<sup>43</sup>Nguyễn Thị Mai Hương, Xây dựng bản đồ nguy cơ xói mòn đất và đề xuất mô hình sản xuất nông nghiệp hợp lý cho huyện Quản Bạ, tỉnh Hà Giang // luận văn thạc sĩ, 2019, Đại học Quốc gia Hà Nội. (Нгуен Тхи Май Хуонг, Построение карты риска эрозии почвы и предложение разумной модели сельскохозяйственного производства для района Куан Ба, провинция Хазянг // магистерская диссертация, 2019, Ханойский национальный университет)

осадков, выпадающих в течение года, вызванных дождями с интенсивностью более 25 мм/ч, тем выше эрозионный потенциал. Если в течение короткого периода времени идут сильные дожди, это является предпосылкой для формирования ливневых паводков и оползней в затопленных горных районах, расположенных ниже по течению, а также способствует усилению эрозии почвы. Скорость эрозии в основном зависит от стока и максимальной 30-минутной интенсивности осадков (Yan, 2013)<sup>44</sup>.

#### *Особенности дождевых осадков*

Особенности дождевых осадков также сильно влияют на эрозию почвы. Тропические ливни вызывают гораздо большую эрозию почвы, чем небольшие дожди в районах с умеренным климатом. В районах с полусухим климатом интенсивные дождевые осадки (ливни) с невысокой продолжительностью, тем не менее, способны вызвать серьезную эрозию (как в случае исследований в Эквадоре...)<sup>45</sup>. В ливнях обычно самый большой диаметр дождевой капли составляет около 5 мм (изредка больше), поскольку при слишком большой величине она будет неустойчивой и легко распадется на более мелкие частицы. Большой размер дождевых капель увеличивает скорость их падения, и, следовательно, увеличивается сила, разрушающая структуру почвы. С другой стороны, сильную эрозию также вызывает среднее количество осадков, выпавших на склонах, лишенных растительного покрова<sup>22</sup>.

#### *Период дождевых осадков*

В тропических муссонных районах дождь преобладает в летние месяцы. Муссон - доминирующий сезонный режим изменчивости климата в тропиках и, в

---

<sup>44</sup>Yan, Y., Xin, X., Xu, X. et al. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China // Plant Soil, 2013, 369, 585–598.

<sup>45</sup>P.A. Ochoa, A. Fries, D. Mejía, J.I. Burneo, J.D. Ruíz-Sinoga, A. Cerdà, Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes // CATENA, 2016, Volume 140, Pages 31-42, ISSN 0341-8162

глобальном масштабе, является критически важным переносчиком атмосферной влаги и энергии<sup>46</sup>.

Во Вьетнаме дождь концентрируется в течение 6 месяцев, с мая по октябрь, скорость концентрации зависит от конкретного района. Осадки в сезон дождей обычно составляют 70–85 % их годового количества. Вследствие такого сильного дождя способность просачиваться в почву наблюдается только у первых (по времени) дождевых осадков. При этом большая часть воды будет образовывать поверхностный сток при достижении водой насыщения в почве. Именно поэтому масштабная эрозия почвы происходит преимущественно в сезон дождей, особенно на участках, где почвы лежат под паром без соответствующего регулирования и водоустойчивости растительного покрова.

#### *Другие климатические факторы*

Такие факторы, как температура воздуха, испарение воды, скорость ветра, оказывающие прямое или косвенное воздействие на эрозию почвы, можно считать незначительными по сравнению с воздействиями, вызванными дождевыми осадками, за исключением некоторых особых случаев, таких, например, как слишком небольшое количество осадков. Например, в процессе испарения воды некоторая часть испаряется непосредственно в атмосферу, другую используют живые организмы, третья часть впитывается в почву через трещины и в результате осмоса, а оставшаяся вода образует поверхностный сток. Чем выше температура и меньше влажность воздуха, тем интенсивнее испарение, тем больше уплотнение почвы, меньше скорость и инфильтрационная способность, тем больше осадков создает поверхностный сток.

---

<sup>46</sup>Mohtadi, M., Prange, M. & Steinke, S. Palaeoclimatic insights into forcing and response of monsoon rainfall // Nature, 2016, 533, 191–199

*Воздействие растительного покрова на эрозию почвы*

Земельный покров - это физический покров, включающий растения и постройки человека, покрывающие земную поверхность<sup>47</sup>. Земельным покровом также считают воду, лед, обнаженные камни или песчаные полосы, голую землю. Фактически земельный покров подразделяют на большое количество разных типов, среди которых выделяют две основные группы: водная поверхность и поверхность суши (1). Группа водной поверхности состоит из континентальных вод, куда входят реки, ручьи, каналы, озера и океанские воды (2). В группу поверхности суши входят земли без растительного покрова и с растительным покровом. В частности, земли без естественного растительного покрова – это земли, которые не были подвержены воздействию человека, например, непокрытая растительностью (бесплодная) земля, каменистые пляжи, песчаные дюны. Сюда также включены земли без искусственной растительности. Земли с искусственной растительностью включают сооружения, построенные человеком (городское население, сельские районы, транспортные сети, промышленные и коммерческие зоны) и другие специализированные земельные объекты...). Земли с растительностью, в том числе естественного или искусственного происхождения, это растения, деревья, кустарники, леса, сельскохозяйственные угодья. В научной литературе существует классификация роли различных типов растительности, подтверждающая, что почвы, покрытые естественной лесной растительностью наиболее устойчивы к эрозии<sup>48</sup>. По данным Янь, Ю., Синь, Х., Сюй, Х. и др. (2013г) ветровая эрозия является важным фактором, влияющим на изменение структуры почвы и на содержание питательных веществ в ней. Растительный покров оказывает существенное влияние, как на предотвращение ветровой эрозии, так и на уменьшение потерь мелких частиц и питательных

---

<sup>47</sup>Niu, Rq., Du, B., Wang, Y. et al. Impact of fractional vegetation cover change on soil erosion in Miyun reservoir basin, China // *Environ Earth*, 2014, Sci 72, 2741–2749.

<sup>48</sup>Xuexian Zhang, Jinxi Song, Yirui Wang, Haotian Sun, Qi Li, Threshold effects of vegetation coverage on runoff and soil loss in the Loess Plateau of China: A meta-analysis // *Geoderma*, 2022, Volume 412, 115720, ISSN 0016-7061.

веществ. Для эффективной защиты мелких частиц и питательных веществ, растительный покров должен поддерживаться как минимум на уровне выше 35 % от общей площади (Ян, 2013)<sup>49</sup>.

Растительность играет чрезвычайно важную роль в борьбе с эрозией почвы<sup>50</sup>. Она защищает поверхность почвы от прямого воздействия дождя и ветра. Деревья, трава или кусты могут обеспечить полог, уменьшая прямое воздействие дождевых капель на поверхность почвы и снижая ветровую эрозию. Кроме того, растительная мульча также способна удерживать воду на поверхности почвы, что помогает воде медленно просачиваться в почву. Деревья, леса, кусты, травостой создают корневую сеть и травяную систему, которая покрывает поверхность почвы, помогая дольше удерживать воду в почве и сокращая количество воды, поступающей непосредственно в почву, что уменьшает эрозию. Корневая сеть помогает увеличить сцепление почвы, делая ее более твердой, что затрудняет процесс эрозии. При существовании связи между корнями растений и почвой процесс эрозии затруднен, поскольку почва в этом случае нелегко поддается смыву. Растительная мульча также помогает уменьшить количество воды, стекающей с поверхности почвы. При выпадении дождевых осадков дождь, деревья и леса поглощают часть воды, уменьшая ее количество, попадающее непосредственно в землю. Растительная мульча создает корневую систему и газон, которые удерживают воду и позволяют ей медленно просачиваться в почву вместо ее энергичного течения по поверхности почвы в случае отсутствия растительного покрова. Это уменьшает эрозию. Кроме того, растительный покров оказывает влияние на структуру почвы. Корни деревьев создают вентиляционные и дренажные каналы, помогая почве лучше пропускать воду. Органические вещества растений, листья и трава, при разложении поставляют органические

---

<sup>49</sup>Yan, Y., Xin, X., Xu, X. et al. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China // *Plant Soil*, 2013, 369, 585–598.

<sup>50</sup>Vásquez-Méndez, Rebeca, et al. Soil erosion processes in semiarid areas: the importance of native vegetation // *INTECH Open Access Publisher*, 2011, 1: 25-41.

частицы в почву, что способствует улучшению ее структуры и плодородия, делает почву мягче, увеличивает ее способность удерживать воду и в значительной степени защищает от эрозии<sup>27</sup>. Предупреждение эрозии почвы лучше всего достигается с помощью лесных насаждений, кустарников и густых лугов, тогда как ведение сельского хозяйства на крутых склонах приводит к наиболее серьезной эрозии почвы<sup>51</sup>. Интенсивность эрозии почв ниже в лесах, чем в перелесках, выше на разреженных и умеренных лугопастбищных угодьях, чем на густых. Однако снижение темпов изменения почв в результате эрозии в течение этого десятилетия было более значительным из-за относительно низкого растительного покрова, представленного редкими и умеренно густыми лесами и лугами<sup>52</sup>. С помощью количественного анализа стока и эрозии в конкретных климатических условиях ученые определяли водоохранное и почвозащитное воздействие на сток и эрозию, вызванную климатом и состоянием поверхности различных типов растительности.

Кустарники показали лучшие результаты в снижении стока и эрозии при кратковременных осадках (менее 24 часов). При длительных (72 часа) осадках наиболее устойчивы естественные луга в плане предотвращения появления стока и эрозии почвы. По сравнению с сельскохозяйственными угодьями, остальные меры по использованию растительности продемонстрировали средние показатели уровня снижения эрозии (73 %), что примерно в два раза превышало уровень сокращения стока (37 %) (Yan, 2013)<sup>53</sup>.

Вьетнамский исследователь Нгуен Нгок Лунг (Nguyen Ngoc Lung) подтвердил, что при наличии на холме лишь трав и кустарников 95 % процентов

---

<sup>51</sup>Wenyi Sun, Quanqin Shao, Jiyuan Liu, Jun Zhai, Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China // CATENA, 2014, Volume 121, Pages 151-163, ISSN 0341-8162.

<sup>52</sup>Wenyi Sun, Quanqin Shao, Jiyuan Liu, Jun Zhai, Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China // CATENA, 2014, Volume 121, Pages 151-163, ISSN 0341-8162.

<sup>53</sup>Yan, Y., Xin, X., Xu, X. et al. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China // Plant Soil, 2013, 369, 585–598.

дождевой воды течет по поверхности, и только 5 % просачивается в почву. Однако в естественных лесах течение по поверхности падающей воды не будет наблюдаться в 90 % случаев. 1-2х часовая продолжительность обычных дождевых осадков с объемом около 100 мм не приведет к течению воды по поверхности почвы. После дождя в земле больше не останется воды, однако она будет просачиваться в грунтовые воды, что также может вызвать эрозию, затопление труб и ливневые паводки (Nguyen Ngoc Lung, 2021)<sup>54</sup>.

### *Влияние почвы на эрозию*

Я. Х. Ян с соавторами (2013) количественно измерили фракции частиц луговой почвы и потери питательных веществ, вызванные ветровой эрозией при различном растительном покрове, и показали, что ветровая эрозия является важным фактором, влияющим на эволюцию текстуры почвы и содержания в ней питательных веществ<sup>55</sup>.

Физические, химические свойства и показатели эродированности (способности к эрозии) почвы, которые образовались и развились в условиях различного землепользования со схожими климатическими, топографическими особенностями и характеристиками коренных пород, имеют отличия друг от друга<sup>56</sup>. Каждый тип почвы имеет разные свойства износостойкости, что также понимают, как устойчивость к эрозии почвы. Важные свойства почвы, влияющие на подверженность ее эрозии, включают в себя следующее: гранулометрический состав, структуру, скорость размягчения и удержания воды, а также сухость или

---

<sup>54</sup>Lung, Nguyen Ngoc, et al. Final report on forest ecological stratification in Vietnam // UN-REDD Program Vietnam: Hanoi, Vietnam, 2011.

<sup>55</sup>Yan, Y., Xin, X., Xu, X. et al. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China // Plant Soil, 2013, 369, 585–598.

<sup>56</sup>Babur, Emre, et al. Studying soil erosion by evaluating changes in physico-chemical properties of soils under different land-use types // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2021. 20.3. 190-197.

уплотнение почвы. Факторы, формирующие эрозионную стойкость почвы, делят на две группы:

1) физические свойства почвы, к которым относят структуру почвы, гранулометрический состав, скорость инфильтрации и удержания воды, пористость или уплотнение почвы (грунта);

(2) меры, направленные на подготовку почвы, используемой в процессе землепользования.

### *Гранулометрический состав почвы*

Гранулометрический состав представляет сочетание в почве частиц разного диаметра: песка, пыли, глины, ила<sup>57</sup>.

Гранулометрический состав почвы является фактором, влияющим на эрозию прямо и косвенно. Прямое влияние гранулометрического состава почвы заключается в придании ей различной устойчивости к эрозии в зависимости от процентного содержания глины, песка и илистых частиц. Гранулометрический состав почвы также оказывает косвенное влияние на эрозию, поскольку влияет на способность удерживать и поглощать воду, что, в свою очередь, оказывает воздействие на скорость инфильтрации воды. Чем больше воды задерживается в почве, тем меньше вероятность образования поверхностного стока, что, в итоге, приводит к уменьшению эрозии.

Все химические и физические свойства почвы связаны с ее гранулометрическим составом, в который входят засоленность, кислотность, пористость, структура, проницаемость, способность адсорбировать питательные и загрязняющие вещества. Например, красно-коричневый грунт Ферралит, образовавшийся на основе Базальта, имеет тяжелый гранулометрический состав, поэтому обладает хорошей водоудерживающей способностью, впитывает много

---

<sup>57</sup>Chepil, W. S. Properties of soil which influence wind erosion: V. Mechanical stability of structure // Soil Science, 1951,72.6: 465-478.

питательных веществ и обладает высокой устойчивостью к эрозии почвы за счет сильной адгезии. Эрозия проявляется сильнее на почвах с легким гранулометрическим составом и низким содержанием воды, это, прежде всего, аллювиальные почвы и почвы, богатые растворимым кремнеземом.

Различные типы почв отличаются по эродируемости (способность почвы к эрозии). Так, Нгуен Ван Кхит (Nguyen Van Khiet, 2013)<sup>58</sup> в своих исследованиях использовал переменное сочетание состояния поверхности почвы (соотношение горных пород, скалистых - D, %) с пористостью почвы (X, %) для анализа и построения уравнений прогнозирования эрозии в северном Вьетнаме. После проведения экспериментов Нгуен Ван Кхит (2013) продемонстрировал пробный тест. Было выявлено, что для почв с тяжелыми механическими компонентами (глинистые почвы), обладающими мелкозернистой, гладкой плотной текстурой, малой пористостью, риск возникновения эрозии является незначительным. Для почвы среднего гранулометрического состава (перегнойная почва), с умеренным размером частиц, имеющей рыхлую, умеренную по плотности текстуру, существует очень высокий риск развития эрозии. Для почвы с легким гранулометрическим составом (песок), которая, хотя и имеет менее прочную структуру, но обладает крупным размером частиц, затрудняющим перемещение, риск появления эрозии также является незначительным. Этот тип почвы обычно имеет хорошую водопроницаемость, но характеризуется недостатком водоудерживающей способности.

#### *Влияние человека на эрозию почвы*

Воздействие человека может иметь положительное или отрицательное влияние на эрозию почвы. При использовании разумных методов ведения сельского хозяйства и модели землепользования будет наблюдаться уменьшение

---

<sup>58</sup>Nguyễn Văn Khiết, Nghiên cứu xác định vai trò của một số yếu tố liên quan đến xói mòn đất ở nước ta // Tạp chí khoa học lâm nghiệp. 2014. 3145-3153 (Нгуен Ван Кхит, Исследования по определению роли некоторых факторов, связанных с эрозией почвы в нашей стране // Журнал лесоведения. 2014. 3145-3153)

объема эрозии почвы, и наоборот, применение неподходящих методов ведения сельского хозяйства и модели землепользования являются причинами, вызывающими эрозию почвы.

Результаты исследований многих вьетнамских авторов свидетельствуют, что различные модели землепользования вызывают разную степень эрозии почвы. Исследования Труна Ан Фонга (Trần An Phong, 1996)<sup>59</sup> показывают следующее: (1) при покрытии земли лесными насаждениями объем эрозии составляет от 3 до 12 тонн/га в год; (2) в почвах под кофейными или чайными плантациями объем эрозии изменяется в интервале от 22 до 77 тонн/га в год; (3) отсутствие обработки земли (при наличии естественного травяного покрова) эрозия почвы колеблется в диапазоне 150–235 тонн/га в год; (4) в почвах под плантациями маниоки и горного риса объем эродированной земли составляет от 175 до 260 тонн/га в год.

Эрозия почвы в сельском хозяйстве представляет собой значительную проблему. Буй Куанг Тоан (Bui Quang Toan, 1991)<sup>60</sup> полагает, что в течение 2–3х сельскохозяйственных сезонов происходит полная утрата верхнего слоя почвы. Ряд других авторов высказывает мнение, что объем ежегодных потерь почвы в результате эрозии составляет около 124 т/га в год на землях за подсечно-огневыми полями (в горах Северо-Востока), и от 119 до 276 т/га в год на полях с плантациями маниоки и риса на Западе (Nguyen Xuan Quat, 1994)<sup>61</sup>. На основе результатов исследований, проведенных Департаментом природных ресурсов и

---

<sup>59</sup>Nguyễn Văn Khiết (2014), Nghiên cứu xác định vai trò của một số yếu tố liên quan đến xói mòn đất ở nước ta // Tạp chí khoa học lâm nghiệp.3145-3153 (Нгуен Ван Кхит (2014 г.), Исследования по определению роли некоторых факторов, связанных с эрозией почвы в нашей стране // Журнал лесоведения.3145-3153)

<sup>60</sup>Bùi Quang Toàn (1991). Nghiên cứu đánh giá và quy hoạch sử dụng đất khai hoang ở Việt Nam // Đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ 02-15-02-01, Viện Quy hoạch và Thiết kế nông nghiệp, Hà Nội (Буй Куанг Тоан (1991). Исследования по оценке и планированию мелиорированных земель во Вьетнаме // Научно-технологический исследовательский проект 02-15-02-01, Институт сельскохозяйственного планирования и проектирования, Ханой).

<sup>61</sup>Nguyễn Xuân Quát (1994). Kinh tế hộ gia đình ở miền núi, sử dụng đất dốc bền vững // Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội (Нгуен Суан Кват (1994). Экономика домохозяйств в горных районах, устойчивое использование склоновых земель // Ханойское сельскохозяйственное издательство.)

окружающей среды в Виньфуке, было выявлено, что утрата почвы, подверженной эрозии на монокультурных полях с плантациями маниоки, колеблется от 147 до 245 тонн/га в год, или от 0,9 до 2,1 см верхнего слоя почвы. Это и снижение в почве около 50 кг азота, 50 кг фосфора и 500 кг калия. При выращивании маниоки совместно с другими бобовыми культурами объем потери почвы составляет всего 20–30 тонн/га в год (Le Trong Cuc, 1995)<sup>62</sup>.

### ***Эрозия почвы в период тропических муссонов***

Высокую вероятность эрозии почвы и максимальную скорость эрозии наблюдали на территориях с сильным изменением рельефа и склонами в условиях интенсивных и продолжительных обильных осадков в период муссонов (Vijith, H., 2012)<sup>63</sup>.

Климатические условия в тропических регионах являются основным фактором, обуславливающим устойчивость склонов или оползни, которые имеют место в гористой местности. Случайный характер осадков и неоднородность материала, образующего материнскую породу, ограничивают методы анализа устойчивости, которые обычно разрабатывают для нетропических/муссонных районов (Nagarajan, R, 2000)<sup>64</sup>.

Исторически под муссонами понимают региональные крупномасштабные циркуляции морского бриза, вызванные контрастом суши и моря. В последнее время наблюдается перспектива появления глобального муссона, режима

---

<sup>62</sup>Le Trong Cuc, A. Terry Rambo, Michael R. Digregorio (1995). The Challenges of Highland Development in Vietnam // East-West Center

<sup>63</sup>Vijith, H., Suma, M., Rekha, V.B. et al (2012). An assessment of soil erosion probability and erosion rate in a tropical mountainous watershed using remote sensing and GIS // Arab J Geosci 5, 797–805. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0265-4>

<sup>64</sup>Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R. et al (2000). Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions // Bull Eng Geol Env 58, 275–287.

солнцестояния в глобальном масштабе, который доминирует в годовых вариациях тропических и субтропических осадков (Geen R, 2020)<sup>65</sup>.

Первые количественные исследования проявления и оценки интенсивности эрозии были проведены лесохозяйственными организациями США в штате Юта в 1915 году. Позднее Миллер (Miller) провел в 1917 году полевые эксперименты в Миссури и в 1923 году опубликовал полученные результаты исследования (Duley and Miller, 1923)<sup>66</sup>.

Так, исследователь Беннетт (Bennett, 1993)<sup>67</sup> в период с 1928 по 1933 годы создал сеть из 10 экспериментальных станций по борьбе с эрозией, а через 10 лет число их число возросло до 44. Эти станции использовали в рамках исследовательской программы по изучению режимов стока воды. Что касается экспериментального воздействия дождя на эрозию, то исследования Вольни (Volni's) показали, что основной причиной эрозии почвы являются падающие капли воды. Исследования в этом направлении проводили такие ученые, как Байер (Bayer), Борот (Borot), Вудберн (Vudbern) и Масгрейв (Musgrave) в 30-е годы XX века (Zakharov, 1981)<sup>68</sup>. Кроме того, Хадсон (Hudson) (Hudson, 1981)<sup>69</sup> утверждал: "Воздействие дождевых капель - это фаза в процессе размывания почвы водой, которая ранее не замечалась"<sup>45</sup>.

---

<sup>65</sup>Geen, R., Bordoni, S., Battisti, D. S., & Hui, K. Monsoons, ITCZs, and the concept of the global monsoon // *Reviews of Geophysics*, 2020, 58, e2020RG000700.

<sup>66</sup>F.L. Duley, M.F. Miller, *Erosion and Surface Runoff under Different Soil Conditions* // University of Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station. 1923. Research Bull., 63

<sup>67</sup>Bennett H.H, *Soil Conservation* (Graw - Hill, New York and London) // McGraw-Hill Book Company, 1993.

<sup>68</sup>Zakharov và Ngô Quốc Trân dịch, *Xói mòn đất và các biện pháp phòng chống* // Nhà xuất bản Nông nghiệp, 1981, Hà Nội. (Zakharov и Нго Куок Тран, *Эрозия почвы и меры по ее предотвращению* // Сельскохозяйственное издательство, 1981, Ханой.)

<sup>69</sup>N. Hudson, Đào Trọng Năng và Nguyễn Kim Dung dịch, *Bảo vệ đất và chống xói mòn* // Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 1981, Hà Nội. (N. Hudson, Дао Чонг Нанг и Нгуен Ким Дунг, *Защита почв и предотвращение эрозии* // Издательство науки и технологий, 1981, Ханой.)

К началу 1971 года в Африке насчитывали более 12 стран, имеющих полевые исследовательские станции. Изучением данного вопроса занимались исследователи Хайлет (Haillet, 1929), Стаплц (Staplz, 1923), Комиссия по техническому сотрудничеству в Африке южнее Сахары (ССТА), Панафриканское земельное управление (BIS), Региональный совет по охране и использованию земель Южной Африки (SARCCVS), Комиссия по научным и техническим исследованиям Организации африканского единства (ОАЕ) цит. по Zakharov, 1981<sup>70</sup> и Hudson, 1981<sup>71</sup>). Изучение эрозии почвы в этом направлении проводят также в ряде стран Азии и других континентов, таких, как Шри-Ланка, Индия, Австралия, Израиль, Япония.

### 1.3. Роль моделирования для оценки эрозии почвы

*Помимо использования экспериментальных моделей, с развитием информационных технологий быстро развивается моделирование для оценки эрозии почвы.*

#### *Модель USLE*

Универсальное уравнение потерь почвы (USLE) представляет собой эмпирический метод, который оценивает долгосрочные средние значения ручейковой и листовой эрозии на основе данных, собранных на востоке Соединенных Штатов<sup>72</sup>. Первая публикация USLE состоялась в специальном отчете ARS. Универсальное уравнение для прогнозирования потерь от дождевой эрозии оказывает помощь в природоохранном сельском хозяйстве во влажных

<sup>70</sup>Zakharov và Ngô QuốсTrầnđịch, Xóimòn đấtvà cácbiệnp hápphòngchống // Nhà xuấtbảnNôngnghiệp, 1981, Hà Nội. (Zakharov и Нго Куок Тран, Эрозия почвы и меры по ее предотвращению // Сельскохозяйственное издательство, 1981, Ханой.)

<sup>71</sup>N. Hudson, ĐầoTrọngNắngvà NguyễnKimDungđịch, Bảovệ đấtvà chốngxóimòn // Nhà xuấtbảnKhoa họcvà kỹthuật, 1981, Hà Nội. (N. Hudson, Дао Чонг Нанг и Нгуен Ким Дунг, Защита почв и предотвращение эрозии // Издательство науки и технологий, 1981, Ханой.)

<sup>72</sup>W.H. Wischmeier, D.D. Smith; Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains; Guide for selection of practices for soil and water conservation, Agriculture Handbook, 1965, No. 282, Agricultural Research Service, U. S. Dept. of Agric, Washington DC, p. 47

регионах (Wischmeier и Smith, 1961)<sup>73</sup>. Вторая публикация USLE появилась в Справочнике Министерства сельского хозяйства США. Прогнозирование потерь почвы от дождевой эрозии. Руководство по природоохранному сельскому хозяйству (Wischmeier and Smith, 1978)<sup>74</sup>. USLE и пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы (RUSLE) (Renard and Smith, 1997)<sup>75</sup> широко используют для оценки и прогнозирования эрозии почвы по причине их универсального характера, но изначально эту модель распространяли в масштабе сельскохозяйственных участков в Соединенных Штатах Америки. Поэтому применение модели USLE и ее поправок к различным районам требует соответствующих данных для каждого района и экспериментов, связанных с калибровкой параметров модели (Benavidez et al., 2018)<sup>76</sup>.

Пересмотренное Универсальное уравнение потери почвы RUSLE создано на основе модификации модели Универсального уравнения потерь почвы USLE, разработанной Wischmeier & Smith (1978)<sup>77</sup>. Модель RUSLE является одним из самых используемых методов оценки эрозии с целью составления прогноза относительно среднегодовой потери почвы с помощью расчета параметров ее проявления. Данную модель широко применяют с целью воссоздания в искусственных условиях потерю поверхности почвы в других регионах мира (El-

---

<sup>73</sup>Там же

<sup>74</sup>W.H. Wischmeier, D.D. Smith; Predicting rainfall-erosion losses-A guide to conservation planning // Agriculture Handbook, 1978, No. 537, U. S. Dept. of Agric, Washington DC, p. 58

<sup>75</sup>Renard K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, D.C. Yoder; Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // Agricultural Handbook, 1997, No. 703, U. S. Dept. of Agr, Washington DC, p. 384

<sup>76</sup>Benavidez R., B. Jackson, Maxwell D. and 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 // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2018, 22(11), pp. 6059-6086.

<sup>77</sup>Wischmeier W.H. and D.D. Smith, Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning // USDA/Science and Education Administration, 1978, vol Agriculture Handbook No. 537, US. Govt. Printing Office, Washington, DC., 58.

Jazoulietal., 2017<sup>78</sup>). В модель RUSLE изменения платформы моделирования землепользования (LUMP) напрямую добавляют в качестве входных данных, что способствует ее повышенной точности по сравнению с другими моделями оценки эрозии почвы (El-Jazoulietal, 2017<sup>79</sup>). Преимущество модели RUSLE заключается в том, что она легко собирает входные данные посредством преобразования данных DEM в спутниковые изображения (El-Jazoulietal, 2017<sup>80</sup>).

Помимо таких преимуществ, как простота и легкость определения входных параметров (в основном информация об осадках и характере местности), которые делают модель USLE простой в использовании, многие ученые отмечают, что основными недостатками данной модели являются следующие. (1) Подобно большинству других эмпирических моделей модель USLE не применяют в отношении конкретных событий, она дает только ежегодную оценку количества почвы, утраченной с течением времени, поскольку игнорирует процесс эволюции параметров осадков и стока, а также степень влияния этих процессов на эрозию, включая также неоднородность исходных данных, таких, как растительный покров и тип почвы (Merritt и др, 2003<sup>81</sup>; Morgan и др, 2008<sup>82</sup> и Boardman, 2006<sup>83</sup>). (2) Данную модель не следует использовать для оценки нагрузки наносов из водосборных бассейнов или для прогнозирования эрозии канав или берегов ручьев, так как это уравнение не предусматривает оценку процессов

---

<sup>78</sup>Aafaf El Jazouli, Ahmed Barakat, Abdessamad Ghafiri, Saida El Moutaki, Abderrahim Ettaqy & Rida Khellouk. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco)// Geoscience Letters, 2017, Volume 4, article number 25

<sup>79</sup>Там же

<sup>80</sup>Там же

<sup>81</sup>Merritt W. S., Letcher R. A., & Jakeman A. J. A review of erosion and sediment transport models // Environmental modelling & software, 2003, 18(8-9), 761-799

<sup>82</sup>Morgan R. P. C. & Duzant J. H. Modified MMF (Morgan Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion // Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 2008, 33(1), 90-106

<sup>83</sup>Boardman J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches // Catena, 2006, 68(2-3), 73-86

седиментации или распределения осадочных материалов (Morgan и др, 2008)<sup>84</sup>. (3) Уравнение применимо только к участкам с уклоном менее 7 ° градусов и к почвам с низким содержанием монтмориллонита (Boardman, 2006)<sup>85</sup>, но оно не производит оценку эрозии оврагов или русел (Renard & Ferreira, 1993<sup>86</sup>; Renard и др, 1994<sup>87</sup>). Модель RUSLE также не учитывает процессы отделения потоков или отложений, осаждения или переноса. Согласно утверждению Куинтона и Кэтта (Quinton&Catt)<sup>88</sup>, модель RUSLE фокусируется на определении потерь почвы вследствие эрозии, происходящей на открытых землях, и не предназначена для естественных лесных территорий или других типов эрозии, таких, как эрозия берегов ручьев и оврагов. Основное преимущество модели RUSLE перед USLE состоит в способности данной модели оценивать фактор С на основе информации о растительности, разложении и обработке почвы, а не на основе данных экспериментальных участков, как это используют в USLE. Применение коэффициентов длины склона в RUSLE также позволяет прогнозировать потерю земель вследствие сухопутного стока.

Позднее Министерством сельского хозяйства США было реализовано усовершенствование модели USLE посредством определения сезонно колеблющегося значения коэффициента К и включения подробного коэффициента С, в зависимости от типа предыдущего землепользования и

---

<sup>84</sup>Morgan R. P. C. & Duzant J. H. Modified MMF (Morgan Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion // *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 2008, 33(1), 90-106

<sup>85</sup>Boardman J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches // *Catena*, 2006, 68(2-3), 73-86

<sup>86</sup>Renard K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, D.C. Yoder; Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // *Agricultural Handbook*, 1997, No. 703, U. S. Dept. of Agr, Washington DC, p. 384

<sup>87</sup>Renard K.G., Laflen, J.M., Foster, G.R. and McCool, D.K. The revised universal soil loss equation // In: Lad, R. (Ed.), *Soil Erosion: Research Methods*, 1994, pp. 105–126

<sup>88</sup>Quinton J. N. & Catt J. A. Enrichment of heavy metals in sediment resulting from soil erosion on agricultural fields // *Environmental science & technology*, 2007, 41(10), 3495-3500.

размера древесного полога, уровня растительного покрова и шероховатости поверхности почвы. Данный метод получил название улучшенного синтетического эрозионного метода (РУСЛЭ). Согласно определению Министерства сельского хозяйства США-ARS (2010)<sup>89</sup>, RUSLE представляет собой метод расчета, основанный на параметрах, выражающих степень влияния факторов на интенсивность эрозии почвы, происходящей в зоне склона между швами, эрозии, вызванной воздействием падающих дождевых капель и стоков на землю. Тем самым показывая, что эрозия почвы зависит от (1) общего количества и интенсивности выпадающих дождей и стоков, (2) способности типа землепользования противостоять воздействию дождей и стоков, (3) способность почвы противостоять эрозии (с учетом свойств почвы) и (4) рельеф поверхности земли, такой, как уклон, длина и форма склона. В рамках модели RUSLE рассчитывают влияние противоэрозионных агротехнических мер, таких, как посадка рядов деревьев по контурным линиям и чередующимися полосами, выпуклые характеристики склонов, террасированные поля, чередование посевов с травяными участками, живыми изгородями, покрытие участков соломой для уменьшения интенсивности стока на земле. Будучи эмпирической, модель RUSLE не учитывает процессы потока или отслоения, отложения или переноса осадков. Как утверждают Куинтон и Кэтт (Quinton & Catt, 2007)<sup>90</sup>, модель RUSLE фокусирует определение потерь почвы по причине эрозии, происходящей на открытых землях, и не предназначена для естественных лесных территорий или других типов эрозии, таких, как береговая и овражная эрозии. Основным преимуществом модели RUSLE перед USLE является ее способность оценки фактора С на основе информации о растительности, разложении и обработке почвы, а не на основе данных экспериментальных участков, как это применяется

---

<sup>89</sup>Wischmeier W.H. and D.D. Smith, Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning // vol Agriculture Handbook, 1978, No. 537, USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC., 58.

<sup>90</sup>Quinton J. N. & Catt J. A. Enrichment of heavy metals in sediment resulting from soil erosion on agricultural fields // Environmental science & technology, 2007, 41(10), 3495-3500.

в модели USLE. Использование коэффициентов длины склона в RUSLE также позволяет прогнозировать потерю земель вследствие сухопутного стока.

### ***Модель SWAT***

Для исследования эрозии почвы ученые разработали еще одну модель – SWAT (Инструмент оценки почвы и воды). Она была разработана Службой сельскохозяйственных исследований (ARS) Министерства сельского хозяйства США (USDA) в качестве гидрологической модели для оценки воздействия методов управления земельными ресурсами на сток наносов, воду, питательные вещества и качество воды в крупных бассейнах (Arnold и др, 1998)<sup>91</sup>. Модель SWAT представляет собой крупномасштабный инструмент моделирования, который объединяет информацию о топографии (рельефе), растительности, почвах, климате и землепользовании для оценки гидрологических процессов и управления земельными ресурсами. Ключевые элементы модели SWAT (Arnold и др, 2012)<sup>92</sup> включают в себя: топографию (рельеф) (SWAT использует информацию о высоте, уклоне и форме местности для определения расхода воды и эрозии почвы); растительность (SWAT моделирует взаимодействие между растительностью и водой, включая информацию о типе и плотности растительности и потоке воды, образующемся в процессе транспирации); почву (модель использует информацию о физических и химических характеристиках почвы для оценки свойств инфильтрации и емкости хранения воды, а также потенциала эрозии. Климат (SWAT применяет данные о погоде для определения характера выпадения осадков и влияния климата на гидрологию и процессы эрозии). Управление земельными ресурсами (SWAT позволяет моделировать влияние методов управления земельными ресурсами, таких, как земледелие, графики орошения, использование удобрений и другие виды деятельности, на

---

<sup>91</sup>Arnold, J.G., et al. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development // Wiley Online Library, 1998, Hoboken

<sup>92</sup>Arnold, J.G., et al. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation // Transactions of the ASABE, 2012, 55(4), 1491–1508. doi:10.13031/2013.42256

водные ресурсы и эрозию). Модель SWAT рассчитывает расход воды, эрозию, поток твердых веществ и химический состав в водосборном бассейне. Выходные данные модели включают в себя такие параметры, как скорость потока, содержание твердых веществ, качество воды и уровень эрозии почвы с течением времени. Модель SWAT широко используется в исследованиях и управлении земельными и водными ресурсами. С ее помощью можно лучше оценить влияние деятельности человека и изменений окружающей среды на бассейны рек, а также получить полезную информацию для разработки эффективных мер по управлению земельными и водными ресурсами<sup>93,94,95</sup>.

### ***Модель WEPP***

Модель WEPP (Проект прогнозирования водной эрозии) представляет собой модель расчета эрозии, основанную на физических процессах. К основным преимуществам модели WEPP относят способность прогнозировать распространение эрозии почвы во времени и пространстве. В то же время модель позволяет экстраполировать результаты моделирования на множество различных условий. Модель WEPP моделирует поверхностный сток в соответствии с методом SCS-кривой или моделью Green – Ampt. Количество отделяемых и переносимых частиц почвы зависит от градуса склона, процента площади, покрытой растительностью, силы сдвига водного потока, неровности грунта, количества гумуса и массы корней растений в почве. Однако применение большого количества входных параметров и потребность в широких вычислительных данных приводят к ограничению использования данной модели.

---

<sup>93</sup>Renard K.G., Ferreira V.A. RUSLE model description and database sensitivity // Journal of Environmental Quality, 1993, 22, 458–466.

<sup>94</sup>Morgan R. P. C. & Duzant J. H. Modified MMF (Morgan Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion // Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 2008, 33(1), 90-106

<sup>95</sup>Merritt W. S., Letcher R. A., & Jakeman A. J. A review of erosion and sediment transport models // Environmental modelling & software, 2003, 18(8-9), 761-799

Эта модель позволяет рассчитывать эрозию и седиментацию (Flanagan & cs., 2007)<sup>96</sup>. Модель WEPP рассчитывает потерю почвы на основе особенностей рельефа, почвы, погоды, растительности и факторов управления земельными ресурсами. Факторы, учитываемые моделью WEPP, перечислены ниже. Топография: модель WEPP использует информацию об уклоне, высоте и форме местности для определения движения воды и эрозии почвы. Растительность: модель рассчитывает влияние растительности на процесс эрозии. В модели учитывают информацию о типе и плотности растений, а также о влиянии травы на устойчивость почвы к эрозии. Почва: модель WEPP использует информацию о физических и химических характеристиках почвы для оценки возможности эрозии и инфильтрации воды. Рассчитывают такие параметры, как твердость, абразия, содержание органических веществ и водоемкость почвы. Погода: модель использует такие данные о погоде, как дождь, осадки и скорость ветра, для прогнозирования объема воды и скорости эрозии. Управление земельными ресурсами: модель WEPP позволяет оценивать влияние таких видов эксплуатации земельных ресурсов, как сельское хозяйство, посадка растений, ирригация и другие виды деятельности, на уровень эрозии почвы. Модель WEPP рассчитывает потерю почвы, поток твердых веществ и химические компоненты во время эрозии. Результаты моделирования включают в себя потерю почвы, изменения мощности почвы и соответствующие показатели качества почвы.

Дистанционное зондирование (RS) и географические информационные системы (GIS) играют решающую роль в оценке эрозии, которые предоставляют ценные данные и аналитические инструменты для проведения мониторинга, картирования и понимания процессов эрозии. Применение RS и GIS для мониторинга, управления природными ресурсами и защиты окружающей среды началось в ряде стран в начале 1970-х годов. В ходе исследований были получены хорошие результаты с точки зрения пространственной классификации эрозии

---

<sup>96</sup>Flanagan D. C., Gilley J. E. & Franti T. G. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development history, model capabilities, and future enhancements // Transactions of the ASABE, 2007, 50(5), 1603-1612.

почв в таких регионах мира, как: Лёссовое плато, Китай<sup>97</sup>, Средиземноморский бассейн<sup>98</sup>, Эфиопское нагорье<sup>99</sup>, Большой Барьерный риф, Австралия<sup>100</sup>, Средний Запад США<sup>101</sup>, бразильская Амазония<sup>102</sup>. Несколько способов использования RS и GIS при оценке эрозии перечислены ниже:

*Картирование эрозии:* данные дистанционного зондирования, включающие в себя спутниковые и аэрофотоснимки, можно использовать для создания подробных карт территорий, затронутых эрозией. При проведении анализа спектральных характеристик поверхности Земли, можно выявить и нанести на карту такие особенности эрозии, как овраги, ручьи и зоны отложения осадков.

*Обнаружение изменений:* сравнительно-сопоставительный анализ данных дистанционного зондирования, полученные в разные периоды времени, может способствовать обнаружению и мониторингу изменений в закономерностях эрозии. Используя такие методы, как дифференцирование изображений или многовременной анализ, исследователи могут количественно оценить степень и серьезность эрозии, произошедшей с течением времени.

---

<sup>97</sup>Wen, X., & Deng, X. Current soil erosion assessment in the Loess Plateau of China: A mini-review // Journal of Cleaner Production, 2020, 123091.

<sup>98</sup>R. Bou Kheir, C. Abdallah, Khawlie; Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS // Engineering Geology; June 2008, Volume 99, Issues 3–4, 23, Pages 239-254

<sup>99</sup>L. Tamene, W. Abera, B. Demissie, G. Desta, K. Woldearegay, and K. Mekonnen; Soil erosion assessment in Ethiopia: A review // Journal of soil and water conservation, 2021.

<sup>100</sup>Sana Khan, Rebecca Bartley, Anne Kinsey-Henderson, Aaron Hawdon; Assessing gully erosion and rehabilitation using multi temporal LiDAR DEMs: Case study from the Great Barrier Reef catchments, Australia // International Soil and Water Conservation Research, 2024, Volume 12, Issue 1, March 2024, Pages 184-199.

<sup>101</sup>Evan A. Thaler, Jeffrey S. Kwang, Brendon J. Quirk, Caroline L. Quarrier; Rates of Historical Anthropogenic Soil Erosion in the Midwestern United States // Earth's Future Research article, 2022, Volume 10, Issue 3.

<sup>102</sup>Nelva B. Riquetti, Samuel Beskow, Li Guo, Carlos R. Mello; Soil erosion assessment in the Amazon basin in the last 60 years of deforestation // Environmental Research, 2023, Volume 236

*Анализ переноса наносов:* данные дистанционного зондирования можно использовать для оценки нагрузки наносов в реках и ручьях. Анализируя спектральные свойства водоемов, исследователи могут количественно оценить концентрацию взвешенных отложений и отслеживать их движение во времени. Ценность данной информации обусловлена необходимостью понимания источников эрозии, отложения наносов и воздействия на экосистемы ниже по течению.

*Анализ местности:* инструменты GIS позволяют анализировать характеристики местности, влияющие на эрозию, такие, как уклон, экспозиция и топографическая неровность. С помощью интеграции данных о высоте и других наборов пространственных данных ученые могут выявить территории, подверженные эрозии, и соответствующим образом запланировать меры по борьбе с ней.

*Изменение земного покрова:* данные дистанционного зондирования могут использовать для мониторинга изменений земного покрова, куда входят вырубка лесов или урбанизация, что способно существенно повлиять на скорость эрозии. Сравнивая карты земного покрова за разные периоды времени, исследователи могут оценить взаимосвязь между изменением земного покрова и динамикой эрозии.

*Сочетание RS, GIS и RUSLE* дает комплексную оценку эрозии почвы и ее географического распределения при приемлемых затратах и с большей точностью в более крупных районах. Эта модель эрозии почвы была выбрана вследствие ее простоты, легкой расшифровки с физической точки зрения, минимального количества набора данных и создания с использованием доступных входных данных<sup>103</sup>.

---

<sup>103</sup>Allafta, H.; Opp, C. Soil erosion assessment using the RUSLE model, remote sensing, and GIS in the Shatt Al-Arab Basin (Iraq-Iran) // Appl. Sci. 2022, v.12, 7776.

*Моделирование эрозии почвы:* модели эрозии, основанные на использовании GIS, включая Универсальное уравнение потерь почвы (USLE) или Пересмотренное универсальное уравнение потерь почвы (RUSLE), специалисты используют для сбора пространственных данных о таких факторах, как уклон, тип почвы, земельный покров и количество осадков, а также для оценки уровня эрозии. Инструменты GIS облегчают интеграцию перечисленных выше факторов и обеспечивают пространственную оценку подверженности почвы к эрозии. Оценка эрозии на основе инструментов GIS может быть интегрирована в Системы поддержки принятия решений (СППР) (англ. Decision Support System, DSS), чтобы помочь землепользователям и политикам принимать обоснованные решения. В едином комплексе, сочетающем модели эрозии, пространственные данные и другую соответствующую информацию, указанные Системы могут оказать помощь в выявлении территорий с высоким риском эрозии, определении приоритетности усилий по сохранению и реализации мер по борьбе с эрозией.

В целом, интеграция дистанционного зондирования и GIS в систему оценки эрозии дает ценную информацию о процессах эрозии, облегчает мониторинг и картирование, а также способствует принятию обоснованных решений в целях управления земельными ресурсами и их сохранения.

В тропических регионах выпадает большое количество осадков, которые характеризуются высоким уровнем интенсивности, поэтому, эрозия почвы в этом районе потенциально может достигать экстремально высоких уровней (El-Swaify et al., 1982<sup>104</sup>; Lal, 1990<sup>105</sup>). Тропические экосистемы со здоровыми почвами могут поддерживать большое количество экосистемных услуг и обеспечивать средства к существованию местного населения. Поэтому жизненно важным остается вопрос всестороннего понимания и оптимального выбора мер, ориентированных на борьбу с эрозией почвы в тропических регионах

---

<sup>104</sup>El-Swaify, S.A., Dangler, E.W., Armstrong, C.L. Soil erosion by water in the tropics // College of Tropical Agriculture and Human Resources. 1982. University of Hawaii, Honolulu

<sup>105</sup>Lal, R. Soil erosion in the tropics: principles and management // McGraw-Hill, 1990, New York.

(Locatellietal, 2014)<sup>106</sup>. Эрозия почвы (как один из компонентов деградации земель) ставит под угрозу устойчивое предоставление этих услуг во всем мире, особенно в период тропических муссонов, когда потенциал эрозии высок вследствие интенсивных дождевых осадков. В тропическом муссонном регионе имеется большое количество почв, которые различают по своему происхождению и плодородию, при этом преобладающим типом почв являются утлизолы (FAO - UNESCO, 2004)<sup>107</sup>. Сильные дожди в областях с ведением сельского хозяйства на склонах холмов вызывает эрозию, снижающую продуктивность сельского хозяйства в горных системах земледелия. Эродированный материал, отложившийся в низине, создает большие площади аллювиальных почв, пригодных для земледелия. Водная эрозия, охватывающая 21 % общей площади суши (46 % общей деградированной площади), становится в данном районе основным типом эрозии. Самый высокий уровень эрозии был зарегистрирован на Индийском субконтиненте (> 90 млн. га), на Филиппинах (10 млн. га) и в Индонезии (22,5 млн. га). Водная эрозия от умеренной до сильной (в процентах от общей площади суши) была зарегистрирована в Пакистане (12,5 %), Таиланде (15 %) и Вьетнаме (10 %). Утрата верхнего слоя почвы стала наиболее распространенным проявлением водной эрозии, второе место по распространенности занимает деформация местности - овраги, оползни и т. д. (Lyndenand Oldeman, 1997)<sup>108</sup>. Уровень эрозии почвы очень велик в Азии, Африке и Южной Америке, объем эрозии в указанных регионах составляет в среднем 30 - 40 т/га в год. В Индии около 53 % общей площади суши подвержено эрозии, и, по

---

<sup>106</sup>Locatelli, B., Imbach, P., Wunder, S. Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica // Environ. Conserv. 2014. 41, 27–36.

<sup>107</sup>FAO – UNESCO; Digital soil map of the world and derived soil properties // FAO, 2004, Rome

<sup>108</sup>Lynden GWJ and Oldeman LR. The assessment of the status of human-induced soil degradation in South and South-East Asia // United Nations Environment Programme (UNEP), Food and Agriculture Organization (FAO), and International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), 1997, Wageningen.

оценкам специалистов, в Индии ежегодно по разным причинам вымывается около 5,334 млн. тонн почвы (Narayana and Babu, 1983)<sup>109</sup>.

Вьетнам расположен в зоне тропического муссонного климата, три четверти которой составляют крутая холмистая местность со сложной дифференциацией, где, соответственно, эрозия почвы проявляется в больших масштабах. Поэтому, исследования по эрозии почв имеют долгую историю. До 1960-х годов основу исследований эрозии почв и мер по ее предотвращению составлял практический опыт. Начиная с 1960-х годов, ученые провели большое количество экспериментальных исследований и прогнозов эрозии почв (Tran Duc Toan et al., 2004<sup>110</sup>, Dung et al., 2005<sup>111</sup>, Ha et al., 2013<sup>112</sup>, Thai Phien & al. cs., 2001, Vuong Van Quynh, 1999). С развитием подходов к изучению почвенной эрозии стали применять количественные методы исследования в сочетании с использованием информационных технологий (Tran Duc Toan, Do Duy Phai, 2005<sup>113</sup>; Ngo Thanh Son & Tran Trong Phuong, 2021<sup>114</sup>).

---

<sup>109</sup>Narayan, D.V.V. and Babu R; Estimation of Soil Erosion in India // Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1983, 109, 419-431.

<sup>110</sup>Tran Duc Toan, Podwojewski, P., Orange, D., Nguyen Duy Phuong, Do Duy Phai, Bayer, A., Nguyen Van Thiet, Pham Van Vinh, Renaud, J. and Koikas, J. Effect of land use and land management on water budget and soil erosion in a small catchment in northern part of Vietnam // International conference on innovative practices for sustainable sloping lands and watershed management, 5-9 September 2004, Chiang Mai, Thailand.

<sup>111</sup>Nguyễn Văn Dung, Trần Đức Viên. Ảnh hưởng của mưa và một số phương thức sử dụng đất đến xói mòn đất và thu nhập của người dân ở vùng đất dốc Tân Minh - Đà Bắc - Hoà Bình. Tạp chí Nông nghiệp và PTNT kỳ 1 tháng 12/2005, Tr 36-38.

<sup>112</sup>Hà, N.M. Ứng dụng phương trình mất đất phổ dụng (USLE) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đánh giá xói mòn tiềm năng đất Tây Nguyên và đề xuất giảm thiểu xói mòn. Tạp chí Các khoa học về Trái đất, 12/2013, số 35(4), trang 403-410.

<sup>113</sup>Trần Đức Toàn, Thái Phiên, Đỗ Duy Phái. Ảnh hưởng của biện pháp canh tác đến lượng đất xói mòn trong lưu vực. Tạp chí Khoa học đất 2005, số 21, Tr 172-177.

<sup>114</sup>Trần Trọng Phương, Ngô Thanh Sơn, Trần Văn Khải, Nguyễn Khắc Việt Ba. Đánh giá tình hình quản lý, sử dụng đất nông nghiệp phục vụ công tác quy hoạch sử dụng đất huyện Diễn Châu, tỉnh Nghệ An. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2021

Закключение. Результаты исследований влияния факторов, вызывающих эрозию почвы, таких, как уклон, дождь, растительность и т.д. подтвердили необходимость принятия соответствующих сельскохозяйственных мер для предотвращения эрозии. Результаты влияния дождя на эрозию почвы и предотвращение эрозии с помощью методов ведения сельского хозяйства представлены в исследованиях Нгуен Тронг Ха (Nguyen Trong Ha, 1996)<sup>115</sup>. В частности, ученый выявил факторы эрозии и спрогнозировал возможность возникновения эрозии на склоновых участках, разработал теорию установления индекса эрозионного потенциала в зоне проточного ливня, а также рассмотрел корреляцию между выявленными факторами, влияющими на возникновение эрозии.

В исследовании Нгуен Чонг Ха (Nguyen Trong Ha) и соавторов был определен и скорректирован коэффициент эрозии вследствие наличия растительного покрова/посевов (Nguyen Trong Ha, Pham Minh Chinh, 2020)<sup>116</sup>. Экспериментальные исследования проводили также по многим видам земледелия (Nguyen Thai Phien, Tu Siem, 1999<sup>117</sup>). Результаты исследований эрозии почвы и изменений в землепользовании в бассейне Донг Као, в коммуне Тянь Суан, Луонг Сон, Хоа Бинь (ныне коммуна Тянь Суан, район Тхат Тхат, Ханой) показывают, что переход от плантаций маниоки к лесным насаждениям оказал положительное влияние на защиту почвы (Rochelle E. Et al, 2015)<sup>118</sup>. Система выращивания

---

<sup>115</sup>Nguyễn Trọng Hà. Xác định các yếu tố gây xói mòn và khả năng dự báo xói mòn trên đất dốc // Luận án tiến sỹ. 1996. Đại học Thủy lợi, Hà Nội.

<sup>116</sup>Nguyễn Trọng Hà, Trần Minh Chính. Nghiên cứu hiệu chỉnh hệ số cây trồng (C) trong dự báo xói mòn đất sử dụng cho vùng núi phía Bắc Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 2020, số 62.

<sup>117</sup>Nguyễn Tử Siêm, Thái Phiên, Đất đồi núi Việt Nam thoái hóa và phục hồi // NXB Nông nghiệp, 1999, Hà Nội (НгуенТүСиём, ТайПьен, ДеградацияивосстановлениегорныхземельВьетнама // Ханойскоесельскохозяйственноеиздательство, 1999)

<sup>118</sup>Emma Rochelle-Newall, Do Phai, Jean-Louis Janeau, Pascal Jouquet, Thierry Tureaux, Jean-Luc Maeght, Nguyen Phuong, Nguyen Thiet, Didier Orange, Pham Rin, Pascal Podwojewski, Olivier Ribolzi, Anneke Rouw, Norbert Silvera, Doan Thuy, Tran Tien, Tran Toan, Hai Tran và Christian Valentin, Kết quả hợp tác nghiên cứu về quản lý tài nguyên đất giữa Viện

маниоки связана с высокой скоростью разрушения почвы, при этом средние потери почвы вследствие ее разрушения составляют 700 г/м<sup>2</sup> в год, а самый высокий показатель составляет 1305 г/м<sup>2</sup> в год. Между тем, на участке посевной травы (*Bracharia Ruziziensis*) в сочетании с покровным ярусом травы, акации и посевной травы (*bracharia ruziziensis*) потери почвы составляют всего 30 г/м<sup>2</sup> в год. Особенно после трех лет нахождения земли под паром темпы потери почвы были всего 10 г/м<sup>2</sup> в год. Обе вышеупомянутые формы землепользования снизили эрозию верхнего слоя почвы на 1 мм в год по сравнению с наблюдениями на участках, где выращивается маниока. Таким образом, результаты исследований показывают, что переход от выращивания маниоки к выращиванию травы для скота и посадке лесов значительно снижает эрозию в бассейне Донг Цао. Во многих исследованиях, посвященных проблеме эрозии, вьетнамские ученые использовали Универсальное уравнение (USLE) и Пересмотренное уравнение (RUSLE), особенно это относится к Центральному нагорью, территории, которая считается серьезно эродированной вследствие чрезмерной вырубке леса и вахтового возделывания, вырубке лесов для реализации подсечно-огневого земледелия (Nguyen Quang My, 1983<sup>119</sup>; Pham Ngoc Dung, 1991<sup>120</sup>; Vu Thi Thuy, 2019<sup>121</sup>). Исследования эрозии почвы с использованием изображений дистанционного зондирования и GIS во Вьетнаме проводили следующие ученые (Nguyen Quang My, 1996,2005)<sup>122</sup>: Nguyen Ngoc Thach, Nguyen Tu Dan, Nguyen

---

Nghiên cứu phát triển Pháp và Viện Thổ nhưỡng Nông hóa, Hội thảo quốc gia Đất Việt Nam - Hiện trạng sử dụng và thách thức // NXB Nông nghiệp, 2015, Hà Nội, tr. 266-273.

<sup>119</sup>Nguyễn Quang Mỹ, Bước đầu nghiên cứu xói mòn và thử nghiệm chống xói mòn đất Trung Du // Báo các hội nghị khoa học về sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường, 1983, Hà Nội, tr. 19 -23

<sup>120</sup>Phạm Ngọc Dũng., Nghiên cứu một số biện pháp chống xói mòn trên đất đỏ bazan trồng chè vùng Tây nguyên và xác định giá trị của các yếu tố gây xói mòn đất theo mô hình Wischmeier W. H and Smith D.D. Luận án Phó tiến sĩ khoa học Nông nghiệp. Hà Nội, 1991

<sup>121</sup>Vũ Thị Thuý, Nguyễn Việt Tuấn, Phạm Thị Hương Lan. Ứng dụng phương trình USLE và GIS xây dựng bản đồ xói mòn đất khu vực Tây Nguyên // Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 2019, số 66

<sup>122</sup>Ding, C., Xia, Y., Yuan, Z., Yang, H., Fu, J. & Chen, Z. Performance prediction for a fuel cell air compressor based on the combination of backpropagation neural network optimized by genetic algorithm (GA-BP) and support vector machine

Xuan Dao, Pham Van Cu (1993), Pham Van Cu (1995), Nguyen Tu, Nguyen Tu Dan (1998), Lai Vinh Cam (1999), Cao Dang Du (2000), Tran Van Y (2000), Vu Anh Tuan (2004)<sup>123</sup>, Tran Quoc Vinh (2012)<sup>124</sup>, Nguyen et al (2018)<sup>125</sup>. Вьетнамские ученые считают это исследовательское направление перспективным, поскольку данный метод снижает затраты и отличается большей эффективностью. Позднее методы исследования постепенно совершенствовались, ученые переходили от качественных методов исследования к количественным, осуществляя попытку определить факторы, вызывающие эрозию почвы, и степень их влияния на развитие эрозии. Применение инструментов GIS – дистанционного зондирования, в котором используют модель USLE/RUSLE для зонирования риска эрозии, применяли во многих исследованиях в горных районах провинции Нгеан (Nguyen Thi Thuy Ha et al, 2023)<sup>126</sup>. Таким образом, ученые, изучающие эрозию почвы, стали обращаться к более современным методам и инструментам исследования, таким, как дистанционное зондирование и методы GIS. Исследования эрозии почв сосредоточены в основном в северных горных провинциях и некоторых

---

(SVM) algorithms // Thermal Science and Engineering Progress, 2023, 44, 102070

<sup>123</sup>Vũ Anh Tuấn, Nghiên cứu biến động hiện trạng lớp phủ thực vật và ảnh hưởng của nó tới quá trình xói mòn lưu vực sông Trà Khúc bằng phương pháp Viễn Thám và Hệ thống tin địa lý // Luận án tiến sĩ địa lý, 2004, Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội. (Ву Ань Туан, Исследование изменений состояния растительного покрова и его влияния на процесс эрозии бассейна реки Тра Хук с использованием методов дистанционного зондирования и географической информационной системы // докторская диссертация по географии, 2004, Университет естественных наук, Ханойский национальный университет. Ханой.)

<sup>124</sup>Trần Quốc Vinh, Nghiên cứu sử dụng Viễn thám (RS) và Hệ thống thông tin địa lý (GIS) để đánh giá xói mòn đất huyện Tam Nông tỉnh Phú Thọ // Luận án Tiến sĩ, 2012, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội, Hà Nội. (Чан Куок Винь, Исследование по использованию дистанционного зондирования (ДЗ) и географической информационной системы (ГИС) для оценки эрозии почвы в районе Там Нонг, провинция Фу Тхо // докторская диссертация, 2012, Сельскохозяйственный университет Хазянг Ной, Ханой).

<sup>125</sup>Nguyen X. H. and A. H. Pham, Assessing Soil Erosion by Agricultural and Forestry Production and Proposing Solutions to Mitigate: A Case Study in Son La Province, Vietnam // Applied and Environmental Soil Science, 2018, pp. 10.

<sup>126</sup>Nguyen Thi Thuy Ha, Astarkhanova Tamara Sarzhanovna, et al; Potential risks of soil erosion in North-Central Vietnam using remote sensing and GIS // Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering, November 2023, Volume 27, N.11, p.910-916 (SCIE Q2) ISSN 1415-4366

провинциях района Центрального нагорья. В частности, в северных горных провинциях количество реализуемых исследовательских проектов выше (на их долю приходится 67 %), чем в провинциях Центрального нагорья (Ngo Thanh Son et al, 2022)<sup>127</sup>. Тем не менее, следует отметить, что регистрации и сбору баз данных по эрозии специалисты не уделяют должного внимания, что приводит к отсутствию информации о том, где и в какой период времени возникает эрозия почвы.

Что касается мер, направленных на предотвращение эрозии почвы, следует отметить, что в рамках проекта ЕС - BORASSUS, осуществленного в Таиланде (2008 г.)<sup>128</sup>, наибольшую эффективность в предотвращении эрозии показали результаты посадки деревьев на склонах, реализованные с помощью барьерной ленты, с последующей посадкой в грядки, покрытых пластиком, а также посадки деревьев на немულчированных грядках<sup>100</sup>. На практике земледельцы уже давно используют и развивают модели землепользования, что способствует получению большого количества выгод (не только экономических), а также созданию рабочих мест для людей и защите окружающей среды. В этих моделях наблюдается гармоничное сочетание экосистем, которые обмениваются между собой энергией и компенсируют ее с целью ее максимального использования, что, в свою очередь, предоставляет материал исследования для таких теорий, как модели сельскохозяйственного земледелия, осуществляемые на склонах (SALT), интегрированное агролесомелиорированное земледелие (VAC), система «сад-пруд-сарай-лес» (VACR). С помощью применения этих моделей существует возможность полного применения потенциала земли и солнечной энергии, а также ограничения эрозии. Однако степень применения конкретных мер по

---

<sup>127</sup>Ngo Thanh Son, Tran Trong Phuong, Nguyen Thi Phuong Mai, Nguyen Thu Ha (2022). Overview of soil erosion prediction models and applications // Journal of forestry science and technology, (1), 103–113.

<sup>128</sup>Đào Châu Thu, Báo cáo tổng kết Nghiên cứu bảo vệ đất đồi huyện Tam Nông // Dự án nghiên cứu bảo vệ đất đồi EU-BORASSUS 2005-2008, 2008, Hà Nội. (Дао Чау Ту, Краткий отчет об исследованиях по защите горных земель в районе Там Нонг // исследовательский проект ЕС-БОРАССУС по защите холмистых земель 2005-2008 гг., 2008, Ханой)

предотвращению эрозии почвы определяют реальными условиями. В принципе, расчет необходимо произвести таким образом, чтобы обеспечить максимальную защиту земли для ее поддержания и развития производства, а также для того, чтобы сделать более целесообразными затраты на реализацию указанных мер. В настоящее время существуют также программы развития социального лесного хозяйства, сокращения бедности, защиты водораздельных лесов, строительства новых деревень, планирования землепользования с участием населения, строительства и улучшения сельских рынков, банковского дела. Банковское дело в сельской местности и кредит являются эффективными и чрезвычайно важными видами деятельности, способствующими охране почвы и наиболее разумными в плане использования горных земель. Во Вьетнаме многие исследования показали, что органическая мульча не только предотвращает эрозию почвы в сезон дождей, но и обеспечивает более высокие урожаи, чего не наблюдается в районах с отсутствием почвенной мульчи. При выращивании кукурузы наблюдается более высокий объем получения чистого урожая (без мульчи: 2,55 т/га, с мульчей: более 3 т/га) (Quang Phan et al., 2008<sup>129</sup> и Chau Thu Dao, 2008<sup>130</sup>). Результаты исследовательского проекта Европейского Сообщества по защите горных земель (EU – BORASSUS, 2008<sup>131</sup>), реализованного во Вьетнаме, показали, что органическое мульчирование для выращивания кукурузы на склонах имеет наибольший эффект в период сильных дождей, поскольку блокирует поток и

---

<sup>129</sup>Đặng Quang Phán, Đào Châu Thu và Thân Thế Hùng, Kết quả nghiên cứu phủ thảm bện hữu cơ chống xói mòn đất đồi huyện Tam Nông, tỉnh Phú Thọ // Tạp chí Khoa học đất. 2008. số 29. (Данг Куанг Фан, Дао Чау Тху и Тан Хунг, Результаты исследований органических плетеных ковриков для предотвращения эрозии холмистой почвы в районе Там Нонг, провинция Фу Тхо // журнал SoilScienceMagazine. 2008. № 29)

<sup>130</sup>Đào Châu Thu, Báo cáo tổng kết Nghiên cứu bảo vệ đất đồi huyện Tam Nông // Dự án nghiên cứu bảo vệ đất đồi EU-BORASSUS 2005-2008, 2008, Hà Nội. (Дао Чау Ту, Краткий отчет об исследованиях по защите горных земель в районе Там Нонг // исследовательский проект ЕС-БОРАССУС по защите холмистых земель 2005-2008 гг., 2008, Ханой)

<sup>131</sup>Đào Châu Thu, Báo cáo tổng kết Nghiên cứu bảo vệ đất đồi huyện Tam Nông // Dự án nghiên cứu bảo vệ đất đồi EU-BORASSUS 2005-2008, 2008, Hà Nội. (Дао Чау Ту, Краткий отчет об исследованиях по защите горных земель в районе Там Нонг // исследовательский проект ЕС-БОРАССУС по защите холмистых земель 2005-2008 гг., 2008, Ханой)

ограничивает потерю питательных веществ в эродированных почвах и в воде потока.

Из приведенного выше анализа видно, что исследования эрозии почв могут прибегать к использованию разных подходов и методов исследования в зависимости от конкретных целей и условий. В тропических муссонных районах, каким является, например, Центральный Вьетнам, вследствие отсутствия информации о некоторых местных географических факторах, данное исследование оперирует следующими данными: (1) оценка эрозии почвы с использованием интегрированных моделей GIS, RS и RUSLE; (2) разработка мер, направленных на предотвращение потерь и деградации земли с учетом типов и свойств почвы и местными условиями.

#### **1.4. Экономический потенциал района исследований**

Согласно статистическим данным, к 2020 году население района Тхань Чуонг составило 234.356 человек, это в основном представители народности кинь. Кроме того, в районе проживает несколько этнических меньшинств, недавно мигрировавших в страну, таких, как тайцы, хмонги и данлай. В состав района входят 40 административных единиц, в том числе 39 коммун и 1 город. Плотность населения неравномерна, оно в основном сконцентрировано на равнинах и в центральных районах вдоль дорог, в районах вокруг городов и общинных центров. Естественный прирост населения в период 2016 - 2020 годов стабильно составляет примерно 1 % в год.<sup>132</sup>. За последнюю декаду в изучаемом районе произошло активное усовершенствование структуры экономического развития, привлечение инвестиций, наметилась тенденция к развитию промышленности и ремесленных деревень. Трансформация структуры растениеводства и животноводства ведет к устойчивому и корректному экономическому развитию. За последние годы отмечается также смещение в позитивную сторону

---

<sup>132</sup>Báo cáo Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 của huyện Thanh Chương // Ủy ban nhân dân huyện Thanh Chương, 2021. (Отчет о планировании землепользования района Тхань Чуонг до 2030 года // Народный комитет района Тхань Чуонг, 2021)

экономической структуры района Тхань Чуонг, где сокращается доля сельского хозяйства и увеличивается доля промышленности (строительство). Структура экономики, с учетом сельского, лесного, рыбного хозяйства, сократилась с 42,68 % в 2015 году до 34,61 % в 2020 году, промышленность, с учетом сферы строительства, увеличилось с 7,25 % до 25,32%, экономическая структура в плане услуги – коммерция остается стабильно на уровне 40,07 %.

**Таблица 1. Экономическая структура района Тхань Чуонг в период 2015  
2020 гг<sup>133</sup>, %**

<b>Промышленность</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Итого	100	100	100	100	100	100
Сельское хозяйство - лесоводство - рыболовство	42,68	42,86	41,09	39,39	37,52	34,61
Промышленность - строительство	17,25	17,81	18,95	20,48	22,51	25,32
Коммерческие услуги	40,07	39,33	39,96	40,48	39,97	40,07

В структуре аграрного сектора произошел положительный сдвиг в сторону сокращения доли неэффективных однолетних культур, увеличения площадей технических культур и плодовых деревьев, развития товарного животноводства. В ходе реализации проекта «Развитие товарных культур, создание сырьевых зон, связанных с переработкой и потреблением продукции», были созданы концентрированные производственные площади для выращивания в промышленных масштабах чайных и грейпфрутовых деревьев и апельсинов, с площадью плантаций сырой маниоки более 2000 гектаров. Подтверждается экономическая эффективность лесов, люди придают значение развитию посадочного материала в сочетании с зонированием, охраной и обогащением лесного капитала, что приносит экономическую ценность одновременно с

<sup>133</sup>Nghị quyết của Đại hội Đảng bộ huyện Thanh Chương lần thứ XXXI, nhiệm kỳ 2020-2025 (Постановление районного партийного съезда Тхань Чуонг, XXXI семестр, 2021–2025 гг).

защитой устойчивой окружающей среды. Руководящий комитет целевой программы устойчивого развития лесного хозяйства поручил разработать план защиты лесов, отдал поручение лесным общинам и лесовладельцам - эффективные планы предотвращения и борьбы с лесными пожарами. Годовая площадь аквакультуры составляет более 2200 га, отмечается увеличение объема производства с 2650 тонн в 2015 году до 4056 тонн в 2020 году. Средний темп роста в период 2016 - 2020 гг. достиг 8,90 %. Первоначально необходимо построить ряд моделей, имеющих экономическую ценность, в качестве основы для использования преимуществ родного округа (района). Промышленное производство в изучаемом районе на данный момент развивается достаточно хорошо, наблюдается рост производства. Средний темп роста стоимости промышленной и строительной продукции в период 2016 - 2020 годов достиг 11,76 %. В районе наблюдается заинтересованность бизнеса в инвестировании, связанном с расширением масштабов, технического оснащения и технологий для повышения эффективности производства<sup>134</sup>.

Транспортная сеть района представлена двумя видами: автомобильным и водным. Сюда входят также национальное шоссе 46 от города Куа Ло до международных пограничных ворот Тхань Тхуй, национальное шоссе 46В от моста Ро до Тхань Хунга, национальное шоссе 46С, соединяющее территории от До Луонга в Кат Ване до Нам Дана в Тхань Ламе, дорога Хошимин, национальное шоссе 8В, соединяющее Тхань Туй - Хуонг Сон, Ха Тинь.

Система орошения развита достаточно широко, значительно возросли их мощности для горных и технических культур. Инвестиции были сосредоточены на развитии системы речных дамб. В последние годы это способствовало снижению воздействия стихийных бедствий на производство и жизнь людей. На территории района имеется 3 крупных водохранилища (озера Куа Онг, Триу Дуонг, Ват Чак) с общей оросительной площадью 765,4 га; 18 средних водоемов

---

<sup>134</sup>Nghị quyết của Đại hội Đảng bộ huyện Thanh Chương lần thứ XXXI, nhiệm kỳ 2020-2025 (Постановление районного партийного съезда Тхань Чуонг, XXXI семестр, 2021–2025 гг).

(озера Кау-Кау, Лай-Ло, Транг-Хонг, Му-Сы) с общей оросительной площадью 1729,62 га. Помимо этого, имеется 63 небольших озера, обслуживающих общую оросительную площадь в 697,33 га.

По состоянию на 31 декабря 2020 года текущее состояние землепользования района является следующим:

- земли сельскохозяйственного назначения: 97.829,45 га, что составляет 86,81 % общей природной площади;

- земли несельскохозяйственного назначения: 12.590,52 га, что составляет 11,17 % от общей природной площади;

- неиспользованные земли: 2.272,92 га, что составляет 2,02% от общей природной площади.

Общая площадь природных земель исследуемой территории в 2010 году составила 112851,13 га, к 2020 году - 112692,88 га; уменьшение площади составило 158,25 га. Земли сельскохозяйственного назначения в 2010 году составляли 90741,33 га, к 2020 году - 97829,45 га, отмечен рост на 7.088,12 га. Земли несельскохозяйственного назначения в 2010 году составляли 13484,94 га, к 2020 году - 12590,51 га, уменьшение площади составило 894,43 га. Неиспользуемые земли в 2015 году составляли 8624,86 га, к 2020 году - 2272,92 га; уменьшение площади составляет 6.351,94 га.

**Таблица 2. Изменение землепользования в районе Тхань Чуонг в период 2010-2020 гг<sup>135</sup>**

№\№	Землепользование	Код	Текущая ситуация в 2010 году	Текущая ситуация в 2020 году	Разница (+) (-)
	<b>Общая природная площадь</b>		<b>112.851,13</b>	<b>112.692,88</b>	<b>158,25</b>

<sup>135</sup>Báo cáo Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 của huyện Thanh Chương //Ủy ban nhân dân huyện Thanh Chương, 2021. (Отчет о планировании землепользования района Тхань Чуонг до 2030 года // Народный комитет района Тхань Чуонг, 2021)

<b>1</b>	<b><i>Земли сельскохозяйственного назначения</i></b>	<b><i>NNP</i></b>	<b><i>90.741,33</i></b>	<b><i>97.829,45</i></b>	<b><i>7.088,12</i></b>
1.1	Земля для выращивания риса	LUA	8.938,96	10.050,91	1.111,95
1.2	Земля для выращивания многолетних культур	CLN	9.237,30	12.700,01	3.462,71
1.3	Охраняемая лесная земля	RPH	18.910,03	20.005,83	1.095,80
1.4	Лесные земли специального назначения	RDD		-	
1.5	Производственные лесные угодья	RSX	47.332,01	45.938,67	1.393,34
1.6	Земля аквакультуры	NTS	538,05	919,87	381,82
1.7	Земля для добычи соли	LMU		-	
<b>2</b>	<b><i>Земля несельскохозяйственного назначения</i></b>	<b><i>PNN</i></b>	<b><i>13.484,94</i></b>	<b><i>12.590,52</i></b>	<b><i>894,43</i></b>
2.1	Земля национальной обороны	CQP	350,64	359,09	8,45
2.2	Земля охранного назначения	CAN	9,36	369,54	360,18
2.3	Промышленная земля	SKK			
2.4	Земля для производства и ведения бизнеса	SKC	75,81	111,26	35,45
2.5	Земля для добычи полезных ископаемых	SKS	12,70	0	-12,70
2.6	Земля для производства строительных материалов и изготовления керамики	SKX	75,34	50,28	-25,06
2.7	Земельный участок с инфраструктурой	DHT	4.788,52	5.153,33	364,81
2.8	Земля культурных и исторических реликвий	DDL	4,82	4,61	-0,21
2.9	Земля для свалок и переработки отходов	DRA	9,12	12,97	3,85

2.10	Земля религиозной базы	TON	4,35	8,65	4,3
2.11	Земля для религиозных учреждений	TIN	54,70	80,02	25,32
2.12	Земля для кладбищ	NTD	1.427,50	1.151,18	-276,32
2.13	Земля для проведения общественной деятельности	DSH	47,85	53,15	5,3
2.14	Земля для общественных развлечений и отдыха	DKV	2,46	3,17	0,71
2.15	Земля под сельские жилые застройки	ONT	1.717,74	2.048,48	330,75
2.16	Земля под городскую застройку	ODT	33,16	65,46	32,30
2.17	Земля под застройку	DXD	29,8	38,42	8,62
2.18	Земля под реки, ручьи, каналы	SON	2.824,99	2.835,58	158,80
2.19	Земельный участок с водной поверхностью специализированного использования	MNC	134,67	78,02	-56,65
<b>3</b>	<b>Неиспользованная земля</b>	<b>CSD</b>	<b>8.624,86</b>	<b>2.272,92</b>	<b>-6.351,94</b>

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Природно-климатические условия

Социалистическая Республика Вьетнам расположена в юго-восточной Азии, на Индокитайском полуострове, изгибаясь вдоль побережья Индо-Китайского моря подобно латинской букве «S» и простирается с юга на север от 8°30' до 23°22' северной широты, а с запада на восток от 102°10' до 109°21' восточной долготы. На севере страна граничит с Китаем, на западе – с Лаосом и Кампучией. Расстояние с севера на юг 1648 км. Самая широкая часть страны составляет около 500 км, а самая узкая - 50 км [130]. Морская граница Вьетнама имеет длину 3260 км (рисунок 2). Кроме внутренних вод, Вьетнам имеет по 12 морских миль территориального моря и прилегающей зоны, 200 морских миль экономической зоны и континентального шельфа. Вьетнам имеет суверенные права и юрисдикцию на площадь около 1000000 км<sup>2</sup> южно-Китайского моря, занимает в нем ряд прибрежных островов [13]. Территория исследования занимает площадь около 1228 км<sup>2</sup> в провинции Нгеан. Район Тхань Чуонг - горный на юго-западе провинции Нгеан, расположенный в 45 км к западу от города Винь; имеет географические координаты от 18° 34' 42" до 18° 53' 33" северной широтами от 104° 56' 07" до 105° 36' 06" восточной долготы<sup>136</sup>. К административным границам примыкают следующие населенные пункты<sup>137</sup>.

- на севере граничит с районами ань сон и до луонг; вьетнам.
- на юге граничит с районом хуонгшон, провинция хатинь; вьетнам.
- на востоке граничит с районами до луонг и нам дан; вьетнам.
- на западе граничит с провинцией болихамсай, лаос.

<sup>136</sup>Dinh, T.K.H.; Kazuto, S.M. Effects of forest reclamation methods on soil physicochemical properties in North-Central Vietnam // Research on Crops. 2022. v.23, p.110-118.

<sup>137</sup>Báo cáo Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 của huyện Thanh Chương //Ủy ban nhân dân huyện Thanh Chương, 2021. (Отчетопланированиииспользованиярайона ТханьЧуонг до 2030 года // Народныйкомитетрайона ТханьЧуонг, 2021).



существенное влияние на производство озимых и весенних культур, а также на деятельность человека и животноводство. Юго-западный ветер, фен, типичен для лета в центральном Вьетнаме. Этот тип ветра обычно появляется в период с мая по август. Ветер способствует установлению сухой, жаркой погоды.

*Рельеф.* Вьетнам – страна гор, плато и плоскогорий, около 3/4 поверхности страны занимают горы. С севера на юг протянулся хребет Чыонгшон. В центре находятся горные массивы Контум и Нгоканг, на юге плоскогорье Далат Средние высоты гор составляет 1000 м, а горные перевалы лежат всего на высоте 500м<sup>138</sup>.

При этом невысокие горы часто крутые и неприступные, особенно если они сложены широко распространенными во Вьетнаме известняками.



**Рисунок 3. Рельеф земной поверхности  
(Исключая островные районы страны)**

Рельеф - важнейший ландшафтообразующий фактор, который определяет природные и социально-экономические условия развития сельского хозяйства Вьетнама. Гористая местность Вьетнама является одним из факторов, затрудняющих сельскохозяйственную деятельность. В горной местности крупными массивами располагается лесной фонд. Каждая часть страны имеет различную площадь лесного фонда в зависимости от доли горной местности. Доля площади горной местности на севере, центре и юге страны занимает соответственно 83 %, 83 % и 5 % общей территории, а также лесного фонда 50,8

<sup>138</sup> Chính phủ Việt Nam. Một số thông tin về địa lý Việt Nam. (Правительство Вьетнама. Некоторые сведения о географии Вьетнама) [Электронный ресурс].

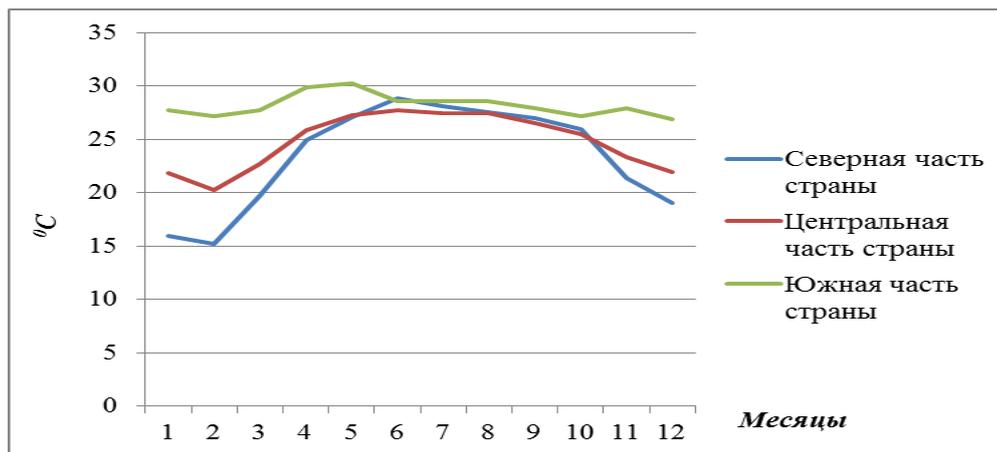
URL: <http://chinhphu.vn/portal/page/portal/chinhphu/NuocCHXHCNVietNam/ThongTinTongHop/dialy>.

%, 54,9 % и 11,7 %.

На востоке страны вдоль морского побережья узкой полосой тянется равнина, а горы с севера и запада окаймляют равнину широким поясом. Равнины плоские, с незаметными для глаза повышениями или понижениями рельефа. Обычно их высота составляет 1 - 3 м над уровнем моря. Равнины являются рисовыми житницами Вьетнама. В Центре страны имеются земли с абсолютными отметками от 200 до 1000 м, которые поднимаются среди окружающих равнин. Эта равнина является основой сельскохозяйственной деятельности страны. В северном Вьетнаме имеется вторая по величине (более 15000 км<sup>2</sup>) плоская равнина, образованная дельтой реки Хонга. Здесь расположен город Ханой - столица и центр политической, экономикой, научной и образовательной жизни Вьетнама (рис. 3).

**Климатические условия.** Для Вьетнама характерен тропический и субтропический климат, который меняется по сезонам года и отличается от других стран этой широты прохладной зимой и не очень жарким летом. Весна теплая, не очень влажная, температура воздуха не поднимается выше +30°C. Климат *северного и центрального Вьетнама – муссонный*, зимой мало солнца и холодно, изредка бывает изморозь и часто идут мелкие дожди. Летом жарко, изредка происходят сухие ветры (фён). На севере средняя температура составляет +18 – +24°C. Максимальная средняя температура месяца поднимается здесь до +29,5°C, а минимальная опускается до +12°C. В центральном Вьетнаме средняя температура колеблется от +23°C до + 27°C. Максимальная средняя температура месяца поднимается здесь до +30°C, а минимальная опускается до +16,5°C. В южном Вьетнаме мягкий тропический климат. Район скрыт от северных ветров, температура воздуха постоянна в течение года. На юге страны средняя температура составляет +21 – +27,5°C. Максимальная средняя температура месяца поднимается до +29°C, а

минимальная опускается до +21°C<sup>139,140,141</sup> (рисунок 4).



**Рисунок 4. Динамика средней месячной температуры воздуха в северном, центральном и южном Вьетнаме<sup>142</sup>**

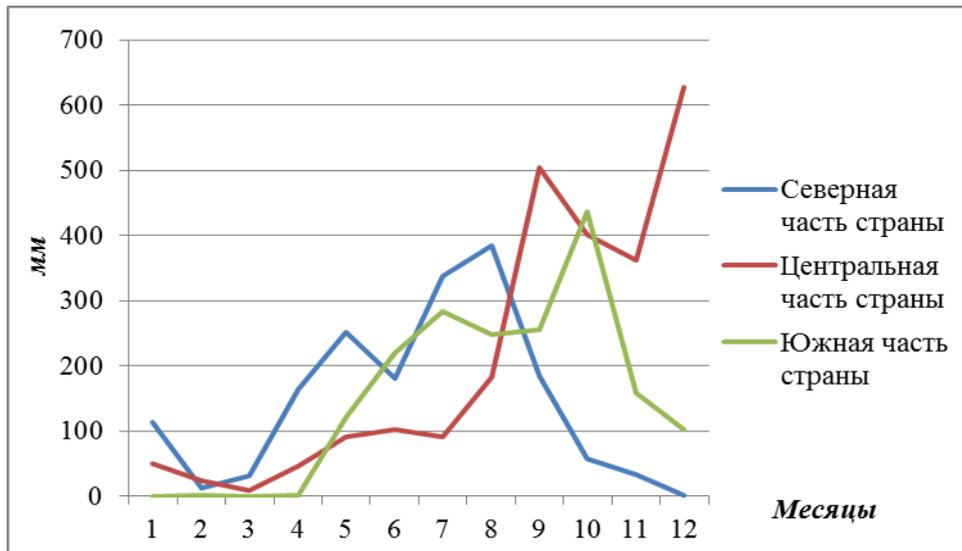
На севере страны летом часто бывают дожди. В мае тут начинается дождливый сезон, который длится до октября. Осадков выпадает за год в среднем 1400 – 1800мм. В центральном Вьетнаме летом жарко и бывают жаркие и сухие ветра и дожди. В августе в центральной части страны начинается дождливый сезон, который длится до октября. Осадков в среднем выпадает за год 1400 – 2500 мм. На юге в мае начинается дождливый сезон, который длится до октября. Осадков на юге страны выпадает за год в среднем 1600 – 1800мм (рисунок 5).

<sup>139</sup> Niên giám thống kê 2015 / Tổng cục thống kê Hà Nội – 2016– 948с. (Статистический ежегодник 2015 г. / Главное статистическое управление Ханоя – 2016– 948с.)

<sup>140</sup> Niên giám thống kê 2016 / Tổng cục thống kê Hà Nội – 2017– 948с. (Главное статистическое управление Ханоя – 2017– 948с.)

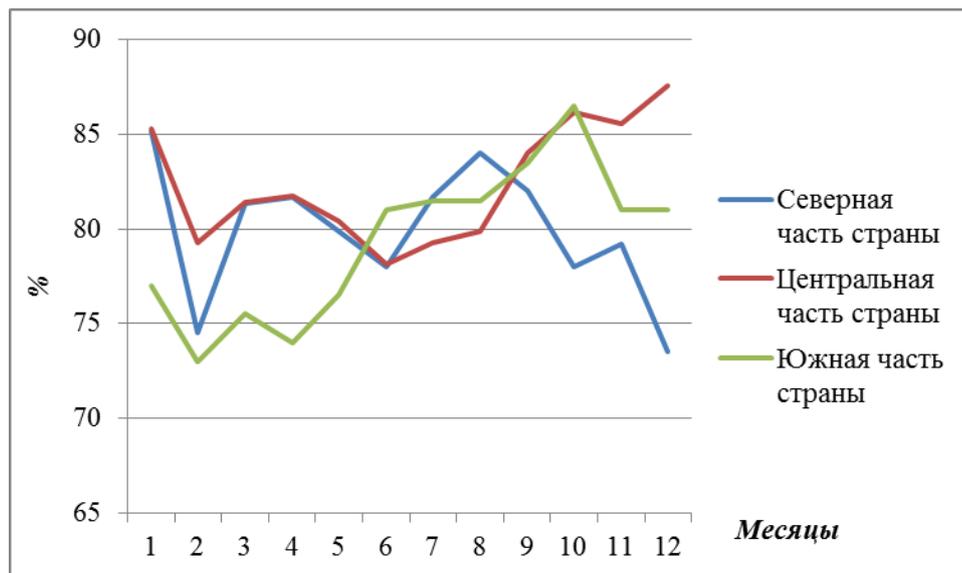
<sup>141</sup> Niên giám thống kê 2017 / Tổng cục thống kê Hà Nội – 2018– 1000с. (Главное статистическое управление Ханоя – 2018– 1000с.)

<sup>142</sup> Niên giám thống kê 2017 / Tổng cục thống kê Hà Nội – 2018– 1000с. (Главное статистическое управление Ханоя – 2018– 1000с.)



**Рисунок 5. Динамика среднего месячного количества осадков в Северном,ЦентральномиЮжном Вьетнаме<sup>143</sup>**

Влажность воздуха в среднем составляет: в северном Вьетнаме 82-85 %, в центральном 84-86 % и в южном 78- 84% (рисунок 6).



**Рисунок 6. Динамика среднемесячной влажности воздуха в Северном,Центральном и Южном Вьетнаме<sup>144</sup>**

## 2.2. Характеристика почв Северного, Центрального и Южного Вьетнама

Почвы Вьетнама формируются под воздействием ферралитизации, т.е.накоплением в их профиле элементов железа и алюминия. Ферралитные почвы характеризуются низким содержанием кремнезёма, но высоким

<sup>143</sup> Там же

<sup>144</sup> Там же

содержанием в них алюминия и железа. Эти почвы имеют низкую катион-обменную и высокую анионную поглотительную способность, очень кислую реакцию. Почвенный профиль имеет красную, пёструю и жёлто-красную окраску. В составе гумуса преобладают преимущественно фульвокислоты, его содержание колеблется от 1 до 10 %. В средней части профиля почвы отмечается присутствие элювиального и иллювиального горизонтов, в которых присутствуют конкреции марганца, алюминия и латерита в различных формах, а также характерен процесс оглеения. Ферралитные почвы используют под посевы риса, плантации кофейного дерева, гевеи, какао, сахарного тростника, масличной пальмы и прочих культур. Согласно классификации ФАО, почвы Вьетнама разделены по окраске профиля и содержанию в нем химических элементов на 12 типов (таблица 3, рисунок 7).

**Таблица 3. Типы почв в различных частях Вьетнама**<sup>145,146</sup>

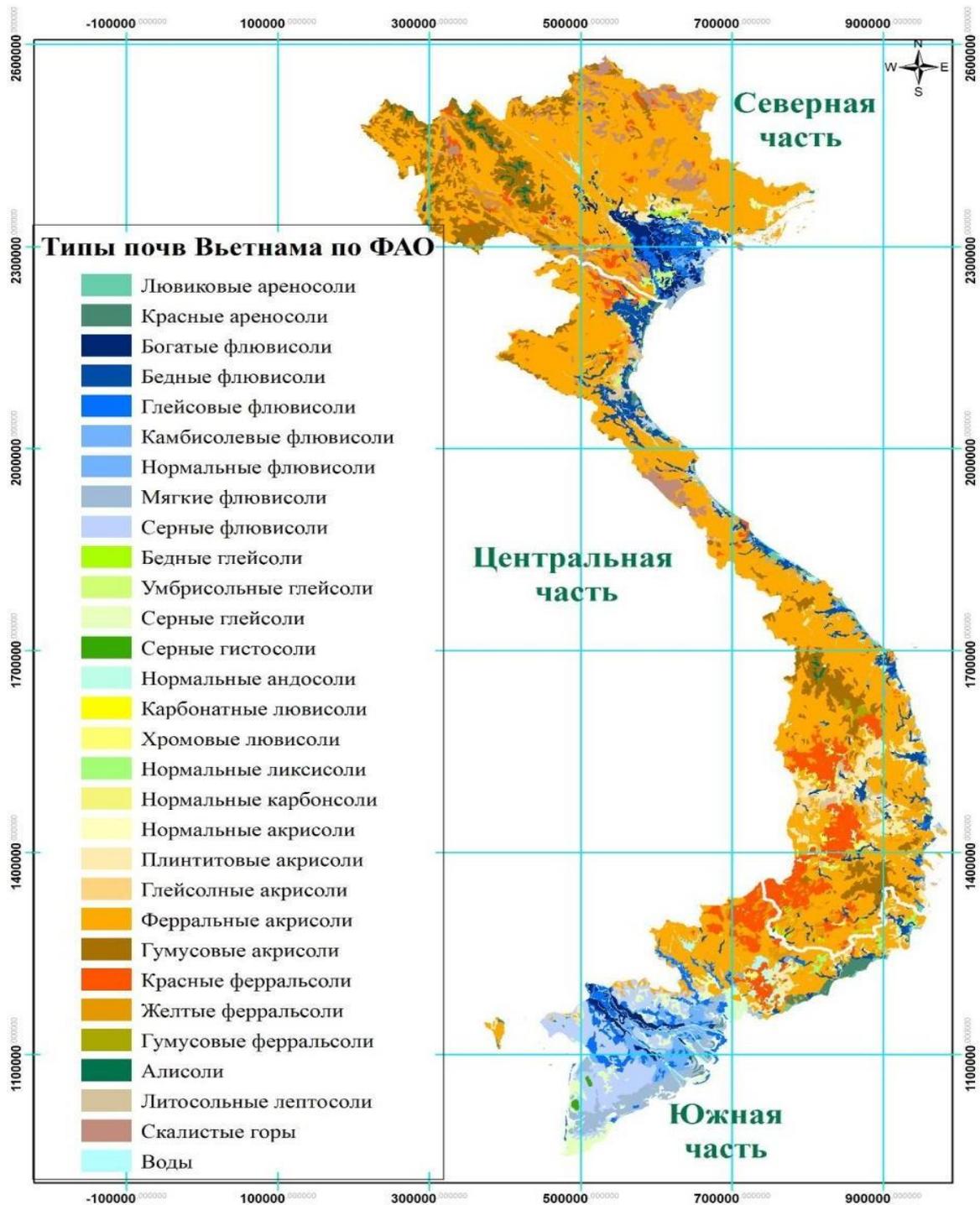
Типы почв	Северный Вьетнам		Центральный Вьетнам		Южный Вьетнам	
	га	%	Га	%	га	%
<b>Ареносоли</b>	<b>15537,9</b>	<b>0,1</b>	<b>333797,4</b>	<b>2,4</b>	<b>254004,8</b>	<b>3,4</b>
Лювиковые ареносоли	533,1	0	188628,8	1,4	51402,8	0,7
Красные ареносоли	15004,8	0,1	145168,6	1	202602	2,7
<b>Флювисоли</b>	<b>1591263,3</b>	<b>12,9</b>	<b>1155354,7</b>	<b>8,4</b>	<b>3415103</b>	<b>45,5</b>
Богатые флювисол	439115,4	3,5	2030,5	0	200750	2,7
Бедные флювисоли	627526,4	5,1	912466,3	6,6	109334	1,5
Глейсовые флювисоли	293504,5	2,4	72512,6	0,5	588061	7,8
Камбисолевые флювисоли	62716,2	0,5	35194,9	0,3	496125	6,6

<sup>145</sup> Dao, C.T. Đánh giá đất / C.T. Dao, K. Nguyen // Nhà xuất bản nông nghiệp, – 1998. – 144 pp (Dao C.T. Оценка почвы/ Dao C.T, K. Нгуен // Сельскохозяйственное издательство, – 1998. – 144 с.)

<sup>146</sup> Le, Q.T. Đánh giá đất / Q.T. Le // Đại học Cần Thơ, – 1997. – 80 pp (Le, K.T. Оценка почвы/ K.T. Ле// Университет Канто, – 1997. – 80 с.)

Мягкие флювисоли	103536,4	0,8	74580,2	0,5	621941	8,3
Нормальные-флювисоли	6427,2	0,1	9584,3	0,1	144930	1,9
Серные флювисоли	58437,3	0,5	48985,9	0,4	1253962	16,7
<b>Глейсоли</b>	<b>175566,2</b>	<b>1,4</b>	<b>96732,2</b>	<b>0,7</b>	<b>549599,3</b>	<b>7,3</b>
Бедные глейсоли	38484,7	0,3	44443,3	0,3	3092,3	0,1
Умбрисольные глейсоли	83326,3	0,7	52288,9	0,4	-	-
Серные глейсоли	53755,2	0,4	-	-	546507	7,3
<b>Гистосоли</b>	-	-	-	-	<b>24775,1</b>	<b>0,3</b>
Серные гистосоли	-	-	-	-	24775,1	0,3
<b>Андосоли</b>	<b>6239,5</b>	<b>0,1</b>	<b>26630,1</b>	<b>0,2</b>	<b>77349</b>	<b>1</b>
Нормальные андосоли	6239,5	0,1	26630,1	0,2	77349	1
<b>Лювисоли</b>	-	-	<b>114066,3</b>	<b>0,8</b>	<b>25401,3</b>	<b>0,3</b>
Карбонатные лювисоли	-	-	12473,3	0,1	-	-
Хромовые лювисоли	-	-	101593	0,7	25401,3	0,3
<b>Ликсисоли</b>	-	-	<b>2344,2</b>	<b>0</b>	<b>64779,2</b>	<b>0,9</b>
Нормальные ликсисоли	-	-	2344,2	0	64779,2	0,9
<b>Карбонсоли</b>	<b>2536,3</b>	-	-	-	-	-
Нормальные карбонсоли	2536,3	-	-	-	-	-
<b>Акрисоли</b>	<b>8699431</b>	<b>70,1</b>	<b>9826091</b>	<b>70,7</b>	<b>2193534,6</b>	<b>29,2</b>
Нормальные акрисоли	328,1	-	3396,2	-	-	-
Плентитовые акрисоли	157759,8	1,3	754447,5	5,4	224370	3
Глейсоли акрисоли	1668639,4	13,4	126128,3	0,9	63458,7	0,8
Ферральные акрисоли	6872703,7	55,4	7858599	56,6	1893343	25,2
Гумусовые акрисоли	15537,9	-	1083520	7,8	12362,9	0,2

<b>Ферральсоли</b>	<b>499015,2</b>	<b>4</b>	<b>1541220,3</b>	<b>11,2</b>	<b>647578</b>	<b>8,6</b>
Красные ферральсоли	285420,4	2,3	1284930	9,3	524597	7
Желтые ферральсоли	213594,8	1,7	219227,2	1,6	122981	1,6
Гумусовые ферральсоли	-	-	37063,1	0,3	-	-
<b>Алисоли</b>	<b>127803,7</b>	<b>1</b>	<b>22796,5</b>	<b>0,2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Алисоли	127803,7	1	22796,5	0,2	-	-
<b>Лептосоли</b>	<b>29306,4</b>	<b>0,2</b>	<b>365363</b>	<b>2,6</b>	<b>35268,9</b>	<b>0,5</b>
Литосольные лептосоли	29306,4	0,2	365363	2,6	35268,9	0,5
<b>Другие</b>	<b>1264713,5</b>	<b>10,2</b>	<b>389242,5</b>	<b>2,8</b>	<b>230718</b>	<b>3,1</b>
Скалистые горы	1119831,2	9	252754,5	1,8	-	-
Вода	144882,3	1,2	136488	1	230718	3,1
<b>Итого</b>	<b>12411413</b>	<b>100</b>	<b>13873638,1</b>	<b>100</b>	<b>7518111,2</b>	<b>100</b>



**Рисунок 7. Почвенная карта Вьетнама<sup>147</sup>**

Таким образом, можно заключить, что обычными типами почв на северных возвышенностях страны являются гуминовая серая почва (гумусовые акрисоли), красно-желтая гуминовая почва (гумусовые ферральсоли), серая почва (ферральные акрисоли), аллювиальная почва (богатые флювисоли), а вдоль рек и ручьев - новая

<sup>147</sup> Tổng cục thống kê Việt Nam. Tập bản đồ nông nghiệp Việt Nam. [Электронный ресурс]. URL: <https://agro.gov.vn/map3/content/default.htm> / (дата обращения: 07.01.19)

аллювиальная почва (бедные флювисоли), а также коричнево-красная почва на известняках (лювиковые кансисоли). Аллювиальная почва (богатые флювисоли) является наиболее распространенным типом почв в дельте Красной реки северной низинной агроэкологической зоны. На центральных возвышенностях высокогорья большие площади заняты красной базальтовой почвой (красные ферральсоли) из базальтового выветривания. Другие типы почв включают деградированные базальные почвы (железистые ферральсоли), гуминовые серые почвы (гумусовые акрисоли) в долинах, новые аллювиальные почвы (бедные флювисоли) вдоль рек и крупных ручьев и некоторые серые почвы (нормальные акрисоли), каменистые черные почвы (литосольные лювисоли), чернозем (гумусовые глейсоли) красно-желтые почвы (желтые ферральсоли) и красно-бурые почвы (красные ферральсоли). В дельтах рек Центрального Вьетнама основными типами почв являются аллювиальные (богатые флювисоли), глинистые (глеевые акрисоли) и песчаные почвы (нормальные ареносоли).

Основные типы почв в южном Вьетнаме: серые почвы (нормальные акрисоли), красновато-коричневые почвы (красные ферральсоли), красно-желтые почвы (желтые ферральсоли), каменистые черные почвы (литосольные лювисоли). Черные почвы (гумусовые глейсоли), новые аллювиальные почвы (бедные флювисоли) встречаются по побережью крупных рек. В лесах также встречаются гуминовые глинистые (нормальные акрисоли) и болотистые почвы. Аллювиальные почвы (богатые флювисоли) является основным типом в дельте Меконга, но есть также большие площади кислого сульфатного грунта (серные флювисоли) и засоленные почвы. Из рисунка 7 можно увидеть, что рисовые поля располагаются на флювисольных почвах, площади которых для различных частей страны имеют следующее соотношение 12,9 % (север), 8,4 % (центр) и 45,5 % (юг). Красные ферральсоли благоприятны для производства многолетних сельскохозяйственных культур (кофе, черный перец, каучук, кешью и другие растения). Эти почвы располагаются в центральной и южной частях Вьетнама, их площади соответственно занимают 9,3 и 7,0 %, а на севере их площадь составляет всего 2,3 %.

Почвообразующие породы изучаемой территории Донг Трау, Хуой Нхи, Нам Тан и Сонг Ка осадочные, метаморфические и вулканические, а также аллювиальные образования. В горных и холмистых районах преимущественно осадочные породы, а на равнинах – аллювиальные. Район исследований на большей части территории характеризуется наличием железистых почв, при этом аллювиальные почвы присутствуют по поймам рек и ручьев. На северо-востоке более половины территории района представляет собой переходную зону между горными районами и равнинами, с низкогорным рельефом и пологими холмами. На юго-западе района расположены высокие горные хребты, проходящие вдоль границы Вьетнама и Лаоса, высота которых варьирует от 900 до 1000 метров, самая высокая вершина составляет 1026 м в горном массиве Ву Тру (район Тхань Чуонг). Река Лам (река Ка) - крупнейшая в провинции Нгеан, протекающая через Тхань Чуонг. Длина реки Ка составляет 375 км, площадь бассейна 17.730 км<sup>2</sup>, длина участка, протекающего через Тхань Чуонг - 32 км. Кроме того, в Тхань Чуонг имеется также 6 других рек, среди которых Зян, Хоа Куан, Ро, Ганг, а также большое количество ручьев, поэтому источники поверхностных вод в районе достаточно обильны. Многие реки и ручьи исследуемой территории имеют крутые склоны, узкие и извилистые русла и концентрированные сезонные осадки, поэтому часто случаются наводнения, ливневые паводки и серьезная эрозия почвы, при этом наблюдается постепенное пересыхание русел рек. В последние годы при постройке ирригационных сооружений и систем отмечается значительное увеличение количества источников оросительной воды.

### **2.3. Карты пространственно-временного распределения землепользования**

#### ***Спутниковые снимки***

Для достижения целей данного исследования были получены карты пространственно-временного распределения землепользования от Landsat (<https://glovis.usgs.gov>) и изображения Sentinel (<https://scihub.copernicus.eu>). Наборы снимков разрешением 30 м были сделаны в период 2000-2021 гг. Перед процессом классификации изображений дистанционного зондирования, загруженные изображения были обработаны с использованием программного

обеспечения ENVI (версия 4.7). С целью получения высокоточного изображения, охватывающего всю исследуемую территорию, атмосферная коррекция была реализована таким образом, в результате которой полученная кривая спектра растительности была приближена к реальному спектру растительного покрова. Помимо этого, также проводили процедуры обработки изображений, с использованием радиометрических, атмосферных, геометрических и топографических поправок.

### ***В исследованиях были использованы данные GIS***

- Набор данных цифровой модели рельефа (DEM) были отобраны на основе метода привязки к сетке; все изображения, подвергнутые повторной выборке, имели точные совпадения. Помимо этого, с целью повышения качества изображений спутниковые снимки прошли этапы предварительной обработки, включая преобразование цифровых числовых значений изображения в коэффициент отражения в верхних слоях атмосферы с использованием атмосферной коррекции и повторной выборки разрешения с 30 до 10 м.
- Цифровые данные, управляемые в GIS, были получены в Департаменте природных ресурсов и окружающей среды, и включали в себя: административную карту, карту текущего землепользования, карту почв.
- Сбор данных и документации производили из большого количества различных источников, включая следующие:
  - Отчеты Департамента природных ресурсов и окружающей среды провинции Нгеан, Департамента сельского хозяйства и развития сельских районов провинции Нгеан, Народного комитета района Тхань Чуонг.
  - Данные статистического ежегодника провинции Нгеан; Статистического ежегодника Тхань Чуонг.

### ***Метод дистанционного зондирования***

Для получения вышеуказанных изображений были проведены этапы их предварительной обработки, включая сшивание изображений, выпрямление,

фильтрацию и улучшение качества снимка. Метод классификации изображений представляет собой алгоритм классификации максимального правдоподобия.

Количественная оценка точности карт классификации земного покрова на исследуемой территории была реализована с использованием наземных данных.

*Метод полевых исследований* был использован для проверки информации о растительном покрове, возделываемой деятельности и факторах, вызывающих эрозию почвы на примере возделывания чайных и цитрусовых деревьев вдоль контурных линий на холмистой местности; возможность выращивания однолетних сельскохозяйственных культур на склоновых землях; возделывание монокультуры на склонах, включая акацию и маниоку.

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1. Результаты мониторинга эрозии почв спутниковыми изображениями

В результате проведенных исследований нами отобраны три источника спутниковых изображений: Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI, Sentinel 2A, которые представляли полную информативную характеристику объектов исследований. На схеме, представленной ниже, показаны этапы проведенного исследования, обработки полученных данных (рис. 8).

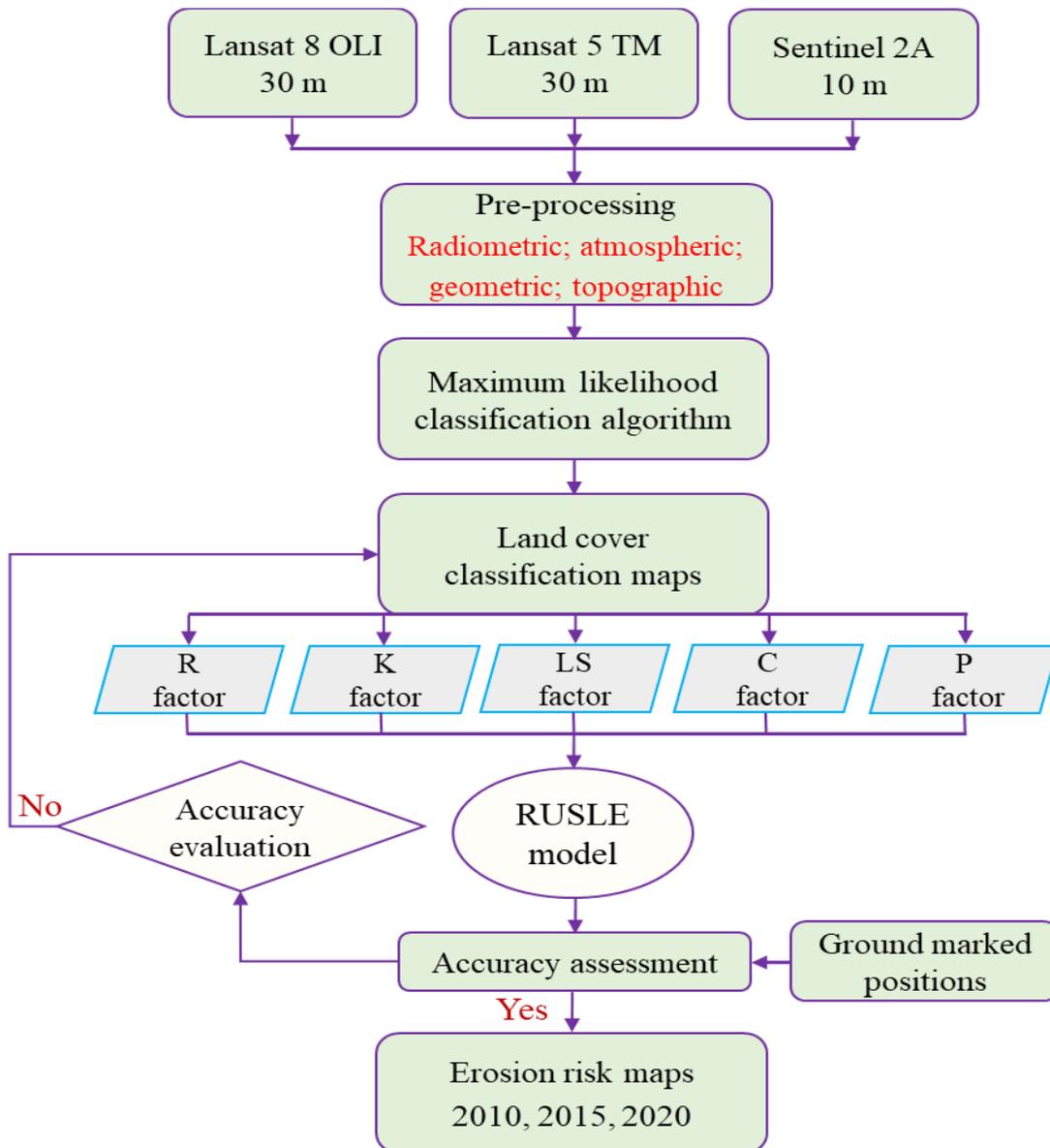


Рисунок 8. Блок-схема процедуры обработки изображений с целью создания карты эрозионного риска

### **3.2. Результаты эрозии почв методом полевых исследований**

*В результате полевых исследований была получены данные о растительном покрове, возделываемой деятельности и факторах, вызывающих эрозию почвы.*

Результатами исследований установлены данные об эрозии почвы, включая выраженность эрозии почвы: (1) при восстановлении природного леса естественными способами; (2) при посадке лесной растительности; (3) под покровом многолетней растительности; (4) под покровом однолетней растительности; (5) под покровом кустарниковой растительности; (6) на участках без растительного покрова.

Были обследованы три типа сельскохозяйственного производства: (1) выращивание чайных и цитрусовых деревьев вдоль контурных линий на холмистой местности; (2) совмещение однолетних сельскохозяйственных культур на склоновых землях; (3) возделывание монокультуры на склонах, включая акацию и маниоку.

Согласно результатам верификационной оценки эрозии для каждого доказанного уровня эрозии, выделено 5 позиций, в том числе: очень низкая (0-5 т га<sup>1</sup> в год), низкая (5-10 т га<sup>1</sup> в год), умеренная (10-20 т га<sup>1</sup> в год), высокая (20-50 т га<sup>1</sup> в год), очень высокая (>50 т га<sup>1</sup> в год).

При исследовании точки съемки отличались репрезентативностью и распределены по всей территории исследования, в связи с чем и была выбран район Тхань Чуонг, провинция Нгеан, Вьетнам.

### **3.3. Результаты мониторинга эрозии почв методом дистанционного зондирования**

Оценку точности классификации методом дистанционного зондирования проводили для каждой карты растительного покрова, она заключалась в маркировке девственных и плантационных лесов, многолетних и однолетних насаждений, других растений и водоемов с использованием полевых чипов для проверки положения точек, отмеченных на земле, с помощью GPS.

Дополнительно, на основе статистических показателей погрешностей было проведено сравнение карт изменения растительного покрова (LCC) за 2010, 2015 и 2021 годы, разработанных с использованием модели RUSLE и реальных точек ground\_marked. Общая точность изображений, которая превысила 90 %, стала свидетельством хорошего баланса между смоделированной моделью и наблюдаемыми данными. Эта проверка продемонстрировала эффективность примененной модели для моделирования потерь почвы на исследуемой территории.

### **3.4. Расчет эрозии почв оптимизированным методом универсального уравнения потери почвы**

В наших исследованиях мы оптимизировали Универсальное уравнение потери почвы RUSLE, созданное на основе модификации модели Универсального уравнения потерь почвы USLE, разработанной Wischmeier & Smith (1978)<sup>148</sup>. Модель RUSLE является одной из самых используемых для оценки эрозии с целью составления прогноза относительно среднегодовой потери почвы с помощью расчета параметров ее проявления. Данную модель широко применяют для определения в искусственных условиях потери поверхностного слоя почвы в других регионах мира (El-Jazouli et al., 2017<sup>149</sup>). У модели RUSLE в платформу моделирования землепользования (LUMP) добавляют изменения напрямую в качестве входных данных, что способствует ее повышенной точности по сравнению с другими моделями эрозии почвы (El-Jazouli et al., 2017<sup>150</sup>). Преимущество модели RUSLE заключается в том, что она легко собирает входные данные посредством преобразования данных DEM в спутниковые изображения

---

<sup>148</sup>Wischmeier W.H. and D.D. Smith, Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning // USDA/Science and Education Administration, 1978, vol Agriculture Handbook No. 537, US. Govt. Printing Office, Washington, DC., 58.

<sup>149</sup>Aafaf El Jazouli, Ahmed Barakat, Abdessamad Ghafiri, Saida El Moutaki, Abderrahim Ettaqy & Rida Khellouk. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco)// Geoscience Letters, 2017, Volume 4, article number 25

<sup>150</sup>Там же

(El-Jazoulietal, 2017<sup>151</sup>). Оптимизированная нами модель RUSLE построена на основе интеграции пяти факторов: агрессивность осадков, эрозия почвы, уклон, длина склона, вид землепользования и противоэрозионные методы. Оптимизированная нами модель RUSLE определяет среднегодовую потерю почвы по следующей формуле (1):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{где:}$$

A – среднегодовое пространственно-временное распределение потерь почвы (t га<sup>1</sup>);

R – годовой коэффициент эрозионной способности дождевого стока (МДж мм га<sup>-1</sup> ч<sup>-1</sup>);

K – коэффициент эродируемости почвы (Мг·ч МДж<sup>-1</sup> мм<sup>-1</sup>);

LS – безразмерная комбинация коэффициентов длины и крутизны склона;

C – безразмерные коэффициенты покрытия и управления;

P – безразмерный фактор поддержки практики.

Обычно R-фактор рассматривают как функцию способности осадков вызывать эрозию почвы за счет рассечения и перемещения частиц (Allafta & Opp, 2022<sup>152</sup>). Однако определение R-фактора становится проблематичным по причине недостатка данных об осадках с высоким разрешением.

Мы для расчета **R-фактора применяли** следующее уравнение (2):

$$R=79+0,363 \times X_a \quad (2), \text{ где } X_a \text{ – среднегодовое количество осадков (мм).}$$

Данные по среднегодовому количеству осадков (мм) нами были получены в Национальном центре гидрометеорологического прогнозирования (NCHF-Вьетнам).

---

<sup>151</sup>Там же

<sup>152</sup>Allafta, H.; Opp, C. Soil erosion assessment using the RUSLE model, remote sensing, and GIS in the Shatt Al-Arab Basin (Iraq-Iran) // Appl. Sci. 2022, v.12, 7776.

Для запуска моделирования были собраны ежемесячные серии данных об осадках для определения их коэффициентов на шести наблюдательных станциях, расположенных вокруг исследуемой территории в период с 2010 по 2021 годы. Расчетные данные R-фактора затем интегрируются с помощью преобразования наблюдаемых серий осадков в растровые слои посредством применения метода интерполяции Кригинга (Kriging), который взаимодействует с программным обеспечением ArcGIS.

**К-Фактор** в уравнении (1) рассматривают в качестве отражения скорости потерь почвы, умноженной на индекс эрозии стока вследствие осадков. Обычно его определяют на основе текстуры и структуры почвы, содержания органического вещества и проницаемости (Ganasri&Ramesh, 2016<sup>153</sup>).

К-фактор определяют следующим уравнением (3):

$$K = 27.66 \times 10^{1.14} \times 10^{-8} \times (12 - a) + 0.0043 \times (b - 2) + 0.0033 \times (c - 3)$$

где: а – органическое вещество (%); б – текстура почвы; и, с – проницаемость почвенного профиля.

**LS-фактор** (Ganasri & Ramesh, 2016<sup>154</sup>) в уравнении (1) вычисляют согласно следующему уравнению (4):

$$LS = \left[ \frac{Q_a M}{22.13} \right]^y \times (0.065 + 0.045 \times S_g + 0.0065 \times S_g^2)$$

где: Q<sub>a</sub> – сетка накопления потока; М – размер сетки; S<sub>g</sub> – наклон сетки в процентах; у – безразмерный показатель степени, принимающий значение от 0,2 до 0,5.

**С-фактор** в уравнении (1) известен как фактор покрытия и управления, которые зависят от типа растительности, стадии роста и способности покрытия

<sup>153</sup>Ganasri, B. P.; Ramesh, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin // Geoscience Frontiers. 2016. v.7, p.953-961.

<sup>154</sup>Ganasri, B. P.; Ramesh, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin // Geoscience Frontiers. 2016. v.7, p.953-961

(El-Jazouli et al., 2017<sup>155</sup>). С-фактор получен из справочных таблиц (Ganasri & Ramesh, 2016<sup>156</sup>), основанных на диапазоне известных практик LUMP.

**Р-Фактор** основан на учете влияния природоохранных решений для каждой конкретной территории исследования, включая буферные полосы сомкнутых растений, оконтуривание и террасирование, а также влияния на потерю почвы на конкретном участке. Использование данных вспомогательных природоохранных методов снижает значение Р, поскольку они ограничивают объем и скорость стока и способствуют отложению наносов на поверхности склона. В настоящем исследовании для расчета Р-фактора использовали подход Венера (Wener)<sup>157158</sup>.

Р-Фактор рассчитывали по следующей формуле:

$$P = 0.2 + 0.03 \times S, \text{ где: } S - \text{ в уравнении (5) - уклон склона (\%)}$$

Таким образом, оптимизированная нами модель RUSLE, преимущество которой в том, что она легко собирает входные данные посредством преобразования данных DEM в спутниковые изображения, усовершенствовано тем, что одновременно можно интегрировать данные по пяти факторам: агрессивность осадков, эрозия почвы, уклон, длина склона, вид землепользования и противоэрозионные методы. Среднегодовую потерю почвы можно рассчитать по формуле, данные которой доступны, их в можно получить в специализированных организациях (институтах, метеостанциях).

---

<sup>155</sup>Aafaf El Jazouli, Ahmed Barakat, Abdessamad Ghafiri, Saida El Moutaki, Abderrahim Ettaqy & Rida Khellouk. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco)// Geoscience Letters, 2017, Volume 4, article number 25

<sup>156</sup>Ganasri, B. P.; Ramesh, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin // Geoscience Frontiers. 2016. v.7, p.953-961.

<sup>157</sup>Fu, B.J.; Zhao, W.W.; Chen, L.D.; Zhang, Q.J.; Lü, Y.H.; Gulinck, H.; Poesen, J. Assessment of soil erosion at largewatershed scale using rusle and GIS: A case study in the Loess Plateau of China // Land Degrad. 2005. Dev, 16, 73–85.

<sup>158</sup>Lufafa, A.; Tenywa, M.M.; Isabirye, M.; Majaliwa, M.J.G.; Woome, P.L. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using GIS based Universal Soil Loss mode // Agric. Syst., 2003, 76, 883–894.

### 3.5. Особенности методов исследований

Методом полевых исследований нами получены данные о растительном покрове, производимой продукции и факторах, вызывающих эрозию почвы.

Результатами исследований установлены данные об эрозии почвы:

- при восстановлении природного леса естественными способами;
- при посадке лесной растительности;
- под покровом многолетней растительности;
- под покровом однолетней растительности;
- под покровом кустарниковой растительности;
- на участках без растительного покрова.

На сельскохозяйственных угодьях были обследованы три типа сельскохозяйственного производства:

- выращивание чайных и цитрусовых деревьев вдоль контурных линий на холмистой местности;
- производство однолетних сельскохозяйственных культур на склоновых землях;
- возделывание многолетних насаждений на склонах, включая акацию и маниоку.

Согласно полученным нами результатам верификационной оценки эрозии для каждого доказанного уровня эрозии выделено 5 позиций:

- очень низкая (0-5 т га<sup>1</sup> в год);
- низкая (5-10 т га<sup>1</sup> в год);
- умеренная (10-20 т га<sup>1</sup> в год);
- высокая (20-50 т га<sup>1</sup> в год);
- очень высокая (>50 т га<sup>1</sup> в год).

Все исследуемые нами точки съемки отличались репрезентативностью и распределены по всей территории исследования района Тхань Чуонг, провинция Нгеан, Вьетнам.

*Методом дистанционного зондирования была проведена* количественная оценка точности классификации земного покрова исследуемой территории. Оценку точности классификации проводили для каждой карты растительного покрова, маркировали девственные и плантационные леса, многолетние и однолетние насаждения, водоемы с использованием полевых чипов для проверки положения точек, отмеченных на земле, с помощью GPS.

После предварительной обработки, включая сшивание изображений, выпрямление, фильтрацию и улучшение качества снимка, нами установлено, что общая точность классификации, касающаяся изображений Landsat, составляет 93 % и 88 % соответственно, тогда как оценочная точность классификации изображений Sentinel соответствовало 84 %.

Сравнение карт изменения растительного покрова за 2010, 2015 и 2021 годы, проводили разработанной нами моделью RUSLE и реальных точек исследуемой местности на основе статистических показателей погрешностей. Результатами установлено, что общая точность изображений превысила 90 %, что свидетельствует достоверность полученных между смоделированной моделью и наблюдаемыми данными.

Таким образом, на практике продемонстрирована эффективность примененной модели для моделирования потерь почвы исследуемой территории.

### **3.6. Особенности объектов исследования**

Для определения степени эрозии исследуемых точек нами были получены методом *спутниковых снимков* карты пространственно-временного распределения землепользования от Landsat (<https://glovis.usgs.gov>) и изображения Sentinel (<https://scihub.copernicus.eu>). Наборы снимков разрешением 30 м были сделаны в период 2000-2021 гг. (табл. 4).

Перед процессом классификации изображений дистанционного зондирования загруженные изображения были обработаны с использованием программного обеспечения ENVI (версия 4.7).

С целью получения высокоточного изображения, охватывающего всю исследуемую территорию, атмосферная коррекция была реализована таким образом, в результате которой полученная кривая спектра растительности была приближена к реальному спектру растительного покрова. Помимо этого, проводили процедуры обработки изображений, с использованием радиометрических, атмосферных, геометрических и топографических поправок.

**Таблица 4. Данные спутниковых изображений, использованных в настоящем исследовании**

Данные	Проекция	Дата получения	Разрешение (m)	Источник
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2000	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2001	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2002	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2003	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2004	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2005	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2006	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2007	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2008	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2009	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2010	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2011	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 5 TM	UTM-Zone-48N	2012	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 8 OLI	UTM-Zone-48N	2013	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 8 OLI	UTM-Zone-48N	2014	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Landsat 8 OLI	UTM-Zone-48N	2015	30	<a href="https://glovis.usgs.gov/">https://glovis.usgs.gov/</a>
Sentinel 2A	UTM-Zone-48N	2016	10	<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>

Sentinel 2A	UTM-Zone-48N	2017	10	<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>
Sentinel 2A	UTM-Zone-48N	2018	10	<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>
Sentinel 2A	UTM-Zone-48N	2019	10	<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>
Sentinel 2A	UTM-Zone-48N	2020	10	<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>
Sentinel 2A	UTM-Zone-48N	2021	10	<a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>

### *Данные GIS*

- Набор данных цифровой модели рельефа (DEM) был повторно отобран на основе метода привязки к сетке; все изображения, подвергнутые повторной выборке, имели точные совпадения. Помимо этого, с целью повышения качества изображений, спутниковые снимки прошли этапы предварительной обработки, включая преобразование цифровых числовых значений изображения в коэффициент отражения в верхних слоях атмосферы с использованием атмосферной коррекции и повторной выборки разрешения с 30 до 10 м. Атмосферную коррекцию изображений Sentinel-2A проводили с применением полуавтоматического процесса классификации, основу которой составило использование плагина программного обеспечения ARCGIS (версия 10.8).

- Цифровые данные, управляемые в GIS, собирают в Департаменте природных ресурсов и окружающей среды, они включают карты: административную, текущего землепользования, почв.

## ГЛАВА 4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭРОЗИЮ ПОЧВ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

### 4.1. Влияние дождевых осадков на эрозию почвы на исследуемой территории (R)

Как уже отмечалось нами, наряду с орографией, деятельность тропических циклонов вызывают значительное количество осадков в Центральном районе. Исследуемый нами район Тхань Чуонг находится в условиях климата с двумя четко выраженными сезонами, включая сухой сезон и сезон дождей. Сухой сезон длится с декабря по апрель следующего года, количество осадков составляет около 12 % годового количества осадков. Из них январь и февраль являются самыми засушливыми месяцами с общим количеством осадков 33,64 мм и 24,33 мм соответственно (за период 2010–2021 гг.)<sup>159</sup>.

Сезон дождей длится с мая по ноябрь, на долю концентрированных осадков приходится около 88 % их годового количества, самые сильные дождевые осадки наблюдаются с августа по октябрь. В изучаемом районе дожди в основном вызваны тропическими штормами. В течение года сезон дождей часто совпадает с сезоном ураганов и наводнений. Среднее количество осадков на исследуемой территории в августе, сентябре и октябре составляет 269,46; 468; 402,25 мм соответственно (за период 2010 - 2021 гг.)<sup>160</sup>.

По сравнению с севером Вьетнама сезон дождей в изучаемом районе часто наступает позже вследствие влияния юго-западного ветра (фена) ветров в мае-июне и продолжается до июля-августа. Это замедляет действие юго-западного муссона и задерживает наступление сезона дождей. Между тем, Северный Вьетнам находится под влиянием юго-западного муссона с мая, поэтому сезон дождей здесь наступает раньше.

---

<sup>159</sup>Báo cáo dựa trên số liệu trạm khí tượng thủy văn khu vực nghiên cứu giai đoạn 2010 – 2021 (Отчет по данным гидрометеорологической станции в изучаемом районе за период 2010 – 2021 гг)

<sup>160</sup>Там же

В изучаемом районе наблюдается довольно высокий средний уровень осадков по сравнению с другими районами провинции<sup>161</sup>. Среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 1,800 – 2,200 мм в год (табл. 5). При таком среднегодовом количестве осадков вероятность эрозии в горных районах достаточно высока. В исследуемом районе отмечается небольшое количество дней с сильными дождями (51 – 100 мм в сутки) и очень сильными дождевыми осадками (>100 мм в сутки) согласно стандартам Всемирной метеорологической организации (ВМО), однако общее количество осадков достигает очень высокого уровня. В таблице 6, представленной ниже, указаны количество сильных дождей (> 50 мм в день) и наибольшее суточное количество осадков, выпадавших каждый год на исследуемой территории в период 2010–2021 гг.

---

<sup>161</sup>Báo cáo Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 của huyện Thanh Chương //Ủy ban nhân dân huyện Thanh Chương, 2021 (ОтчетопланированииземлепользованиярайонаТханьЧуонгдо 2030 года // НародныйкомитетрайонаТханьЧуонг, 2021).

**Таблица 5. Годовые данные об осадках на исследуемой территории за период 2010-2021 гг. (мм)<sup>162</sup>**

<b>Год</b>	<b>Янв.</b>	<b>Фев.</b>	<b>Март</b>	<b>Апр.</b>	<b>Май</b>	<b>Июнь</b>	<b>Июль</b>	<b>Авг.</b>	<b>Сент.</b>	<b>Окт.</b>	<b>Нояб.</b>	<b>Дек</b>	<b>Всего осадков</b>
<b>2010</b>	57,20	12,00	13,10	86,00	80,20	100,50	140,00	743,40	82,60	683,60	28,30	14,70	2.041,60
<b>2011</b>	41,60	11,70	77,90	21,90	126,40	291,90	384,30	172,00	538,50	272,10	76,50	46,40	2.061,20
<b>2012</b>	21,40	27,10	44,70	18,10	398,60	66,20	60,80	293,00	613,60	78,80	185,10	43,60	1.851,00
<b>2013</b>	23,30	16,50	22,00	39,30	104,00	349,20	254,50	224,90	646,50	471,70	66,30	32,40	2.250,60
<b>2014</b>	25,30	31,50	28,90	39,10	88,70	285,80	156,90	356,00	519,40	206,40	66,00	21,90	1.825,90
<b>2015</b>	30,80	27,80	154,90	78,10	78,40	163,60	160,00	266,20	560,90	190,90	125,70	49,40	1.886,70
<b>2016</b>	86,50	17,60	25,30	92,00	61,40	11,20	125,20	178,50	624,70	371,50	206,40	41,70	1.842,00
<b>2017</b>	49,70	10,70	96,30	20,20	345,80	106,50	456,70	298,20	338,40	437,40	37,10	40,20	2.237,20
<b>2018</b>	8,20	52,00	34,90	56,60	79,10	45,30	701,00	157,60	231,40	15,10	170,80	253,90	1.805,90
<b>2019</b>	20,60	19,90	29,50	51,20	81,40	1,00	134,60	186,10	587,70	577,80	139,10	42,10	1.871,00
<b>2020</b>	31,10	23,60	82,40	83,40	102,00	17,30	65,30	288,60	259,30	1.108,90	67,80	18,30	2.148,00
<b>2021</b>	8,00	41,60	56,10	315,60	28,70	188,30	301,20	69,00	613,00	412,80	64,50	24,70	2.123,50

<sup>162</sup>Báo cáo dựa trên số liệu trạm khí tượng thủy văn khu vực nghiên cứu giai đoạn 2010 – 2021 (Отчет по данным гидрометеорологической станции в изучаемом районе за период 2010 – 2021 гг)

Наибольшая концентрация ливней, указанных в таблице 5 отмечается с мая по ноябрь каждого года. Наибольшее количество осадков за сутки выпадает преимущественно в августе, сентябре и октябре. Динамика количества осадков на исследуемой территории отличается от других районов Вьетнама, а также отклоняется от режима дождевых осадков, вызываемых штормами. Общее количество сильных дождевых осадков, дождя, измеренное в течение дня, сильно различается в разное время. За период 2010–2021 гг. наибольшее количество осадков за сутки колеблется от 89,3 мм (3 сентября 2019 г.) до 508,6 мм (30 октября 2020 г.). Вследствие воздействия сильных дождевых осадков, выпавших 30 октября 2020 года, большая часть исследуемой территории подверглась затоплению. Также в больших масштабах отмечался высокий риск возникновения эрозии почвы. Кроме основного сезона дождей, который длится с августа по октябрь, в районе также отмечается вторичный сезон дождей в мае и июне с сильными дождевыми осадками, которые вызываются активностью зоны тропической конвергенции в Центральном Вьетнаме. Годовой коэффициент эрозии дождевого стока ( $R$ ) отражает влияние интенсивности осадков на возникновение эрозии почвы, что для расчета требует подробных и непрерывных данных об осадках (Wischmeier and Smith, 1978 [74]).

Значение  $R$  колеблется от 0,69 до 0,87 МДж мм га<sup>-1</sup> ч<sup>-1</sup>. На исследуемой территории среднегодовое количество осадков имеет самые высокие показатели в южных коммунах: Тхань Лам, Тхань Суан, Тхань Май, Тхань Тунг, Тхань Йен, Тхань Ха, Тхань Зианг, а в северных коммунах эти показатели ниже: Кэт Ван, Тхань Нхо, Тхань Дык, Тхань Хоа. В частности,  $R$ -фактор на исследуемой территории имеет шесть диапазонов: 0,69 и 0,72; 0,72 и 0,75; 0,75 и 0,78; 0,78 и 0,81; 0,81 и 0,84, 0,84–0,87 МДж мм га<sup>-1</sup> ч<sup>-1</sup>.

**Таблица 6. Данные о количестве сильных дождей и максимальном суточном количестве осадков на исследуемой территории в период 2010-2021 гг. (мм)<sup>163</sup>**

Год	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	наибольшее суточное количество осадков	Время
<b>2010</b>	0	0	0	0	0	1	0	7	0	5	0	0	211,3	25/8
<b>2011</b>	0	0	0	0	1	2	3	0	4	1	0	0	130,4	10/9
<b>2012</b>	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	2	0	365,9	6/9
<b>2013</b>	0	0	0	0	0	1	1	1	4	1	0	0	321,8	23/6
<b>2014</b>	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	152,5	13/6
<b>2015</b>	0	0	1	0	1	2	0	1	2	0	0	0	132,0	17/9
<b>2016</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	254,1	15/10
<b>2017</b>	0	0	1	0	3	1	4	2	1	3	0	0	161,9	10/10
<b>2018</b>	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	1	2	188,5	19/7
<b>2019</b>	0	0	0	0	1	0	1	3	1	1	0	0	89,3	3/9
<b>2020</b>	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	0	0	508,6	30/10
<b>2021</b>	0	0	0	2	0	1	2	0	4	3	0	0	128,8	24/9
<b>Всего</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>4</b>	<b>2</b>		

<sup>163</sup>Báo cáo dựa trên số liệu trạm khí tượng thủy văn khu vực nghiên cứu giai đoạn 2010 – 2021 (Отчет по данным гидрометеорологической станции в изучаемом районе за период 2010 – 2021 гг)

Среднегодовые данные об осадках использовали для расчета дождевой эрозионной способности (фактор R) (рис. 9). Такие данные предоставляются гидрометеорологической станцией исследуемого района.

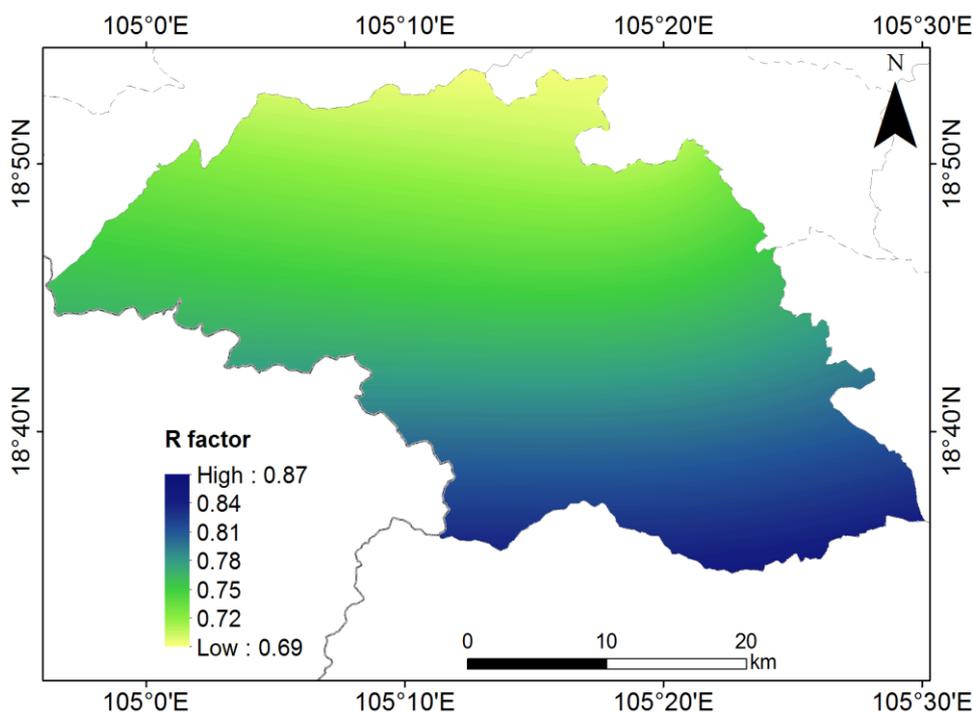


Рисунок 9. Дождевая эрозия (R) на исследуемой территории

#### 4.2. Влияние типа почвы на эрозию в изучаемом районе (K)

Почвы в районе Тхань Чуонг, перечисленные в Отчете по планированию землепользования до 2030 года, включают в себя следующие типы<sup>164</sup>:

##### *Аллювиальная почва (P)*

Данный тип почвы образуется в результате ежегодного нарастания речной системы Лам, включая реки Лам и Джианг. В настоящее время площадь этого типа почвы составляет 17780 га, которая расположена по обоим берегам рек Лам и Зянг. Гранулометрический состав  $P_u$  варьирует от супеси до средних суглинков. Почва может иметь как нейтральную, так и слабокислую величину

<sup>164</sup>Báo cáo Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 của huyện Thanh Chương //Ủy ban nhân dân huyện Thanh Chương, 2021 (Отчет о планировании землепользования района Тхань Чуонг до 2030 года // Народный комитет района Тхань Чуонг, 2021).

$pH_{KCl}$  от 6,7 – 7,2. Содержание общего азота составляет 0,25 %, имеется достаточное количество общего фосфора и легкоусвояемого калия.

Аллювиальные почвы на речных террасах больше всего распространены в коммунах: Тхань Ван, Суан Туонг, Тхань Зыонг, Тхань Луонг. Этот тип почв отличается менее кислым значением  $pH_{KCl}$  от 5,8 до 6,8. Гранулометрический состав данного типа почвы варьирует от суглинистого до глинистого с содержанием песка от 25 до 50 %, перегноя - от 30 до 50 % и глины - от 10 до 30 %. Суглинок имеет легкий гранулометрический состав, содержит фракции песка, суглинка и глинистых частиц. Общее количество азота, фосфора и калия ниже среднего (общий азот от 0,08 – 0,13 %; общий фосфор от 0,06 – 0,07 %; общий калий 0,15 – 0,25%).).

Этот тип почвы часто используют для выращивания одного урожая риса в год. В районах с достаточно хорошими условиями орошения имеется возможность выращивания двух урожаев риса в год.

На более высоких элементах рельефа отмечают изменение аллювиальных почв в результате земледельческой деятельности, что влияет на их характеристики. Особенно это касается таких коммун района, как Суан Туонг, Тхань Ван, Во Лиет. Здесь имеются высокие поля с конгломератами, показатель  $pH_{KCl}$  кислой почвы в большинстве случаев составляет  $<5,0$ . Гранулометрический состав почвы варьирует от среднего до легкого суглинка, малое количество гумуса, общего и легкогидролизуемого азота, фосфора. Все компоненты характеризуются малым количеством, представленным в данном типе почвы (общий азот 0,1%; общий фосфор 0,04 – 0,05%).

### ***Ферралитовая почва в переходной зоне (F1)***

Этот тип почвы формируется в переходной зоне между холмами и равнинами или горами и долинами. Его площадь составляет около 7700 га.

В переходной зоне от холмов к равнинам, у подножия высоких полей отмечается сильная деградация почвы, большая часть которой подвержена склеиванию на глубине 12–25 см. Гранулометрический состав данного типа

почвы варьирует от легкого до среднего суглинка, показатель  $pH_{KCl}$  составляет  $<5,0$  (кислый). Сюда входят общий и легкогидролизуемый азот, фосфор, калий, все в малом количестве (общий азот  $0,05 - 0,08$  %, общий фосфор  $0,006 - 0,010$  %, общий калий  $0,10 - 0,26$  %).

На террасных полях у подножий холмов и гор развитие почвы осуществляется локально на материнских породах, однако в результате длительной эксплуатации почвы для посадки рисовых плантаций произошло изменение ее верхнего слоя. Данный вид почвы преимущественно распространен в таких горных районах Вьетнама, как Тхань Суан, Тхань Кхе, Тхань Тхуй, Тхань Лам, Суан Туонг, Нгок Шон, а также наблюдается в ряде других коммун района. Гранулометрический состав этого типа почв варьирует от супеси до легкого суглинка в зависимости от материнской породы.

В переходной зоне от гор к долинам этот тип почвы образуется за счет продуктов выветривания, поступающих с гор, смываемых дождевой водой, и, таким образом, отлагающихся и накапливающихся. Этот тип почвы распространен в таких коммунах, как Тхань Туй, Тхань Лам, Тхань Тунг, Тхань Май, Тхань Кхе. Гранулометрический состав этого типа почвы колеблется от супеси до средних суглинков, в зависимости от материнской породы. Кислотность почвы характеризуется показателем  $pH_{KCl} < 5,0$ . В почве присутствует небольшое количество азота, фосфора, калия, наблюдается высокая скорость разложения органических веществ, местами отмечаются явления обесцвечивания почвы (общий азот  $0,35 - 0,55$  %, общий фосфор около  $0,0 - 0,2$  %, общий калий  $0,01$  %).

### ***Желто-красная ферралитовая почва (Fs)***

Эта почва образуется из продукта выветривания материнских сланцевых пород и отличается желто-красным/красно-желтым цветом. Площадь данного типа почвы составляет около 29900 га, она сосредоточена на больших участках, распределенных на территории большинства коммун района. Гранулометрический состав этого типа почвы варьирует от супеси, тяжелого

ила до глины. Показатели кислотности почвы составляют  $pH_{KCl}$  4,2–4,3. Количество органических веществ в почве невелико: 1,65–3,51 %, общего азота 1,06–0,19 %. Количество общего фосфора, сконцентрированного в среднем поверхностном слое, характеризуется малыми и средними показателями. Общее содержание калия в верхнем горизонте варьирует от 0,93 до 1,19 %, в нижних слоях отмечается большое количество калия. Количество легкоусвояемого калия колеблется от 7,3 до 11,2 мг/100г почвы. Также отмечается наличие в почве малого количества кальция и магния, содержание  $Fe^{3+}$  и  $Al^{3+}$  в почве относительно высоко.

### ***Красно-желтая ферралитовая почва (Fq)***

Этот тип почвы образуется вследствие выветривания песчаника, кварцита и конгломерата. Площадь ее залегания составляет около 2,000 гектаров, она широко распространена в коммуне Хань Лам и некоторых других коммунах. Гранулометрический состав этого типа почвы представлен супесью, также в почве высока доля крупных фракций песка. Химические и физические свойства почвы характеризуются низкими показателями.

### ***Эродированная до камней ферралитовая почва (E)***

Почва на исследуемой территории формируется посредством продуктов выветривания различных типов материнских пород, чаще всего сланцев, мела и кварцита. Занимает площадь около 12000 га. Раньше эти места отличались наличием сильно выветренных скал, гладкой густой почвы, густых лесов и даже больших деревьев. Однако вследствие неизбирательной эксплуатации и неразумного возделывания культур некоторые земельные участки подверглись эрозии, при этом мощность верхнего слоя почвы значительно сократилась.

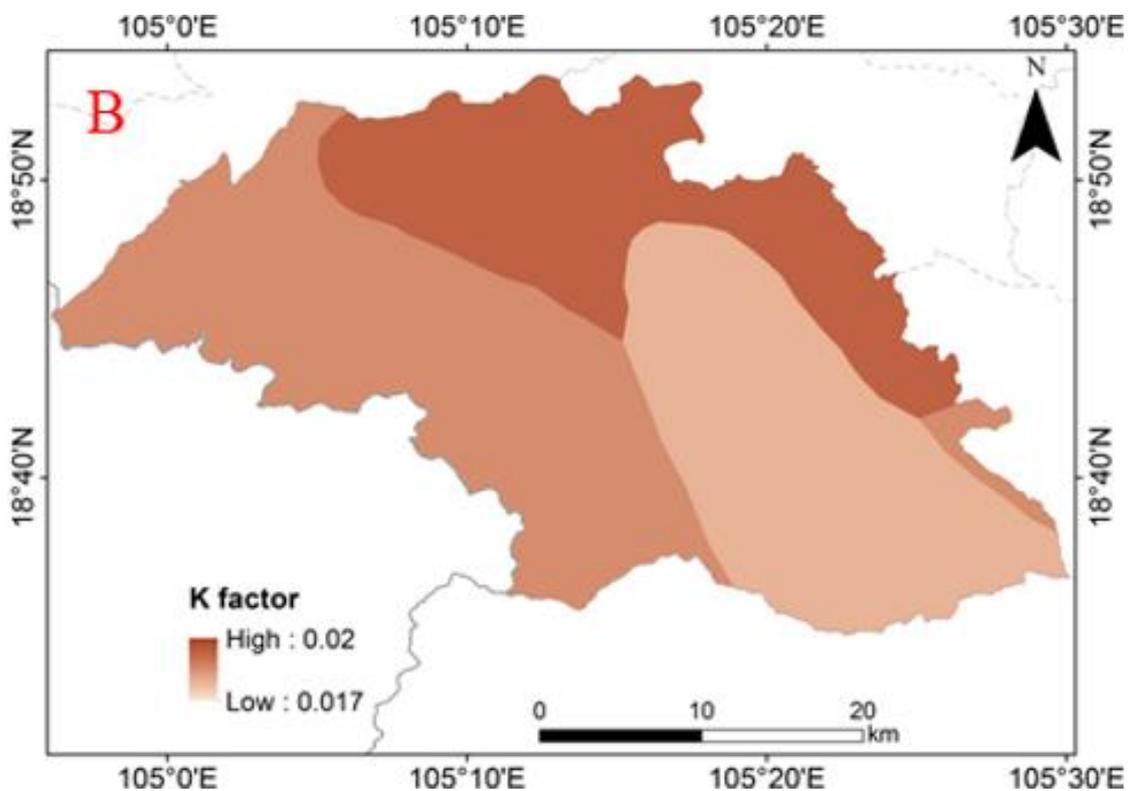
### ***Желтая горная ферралитовая почва (H)***

Желто-красная ферралитовая почва формируется в горной местности, ее площадь составляет около 47250 га. В горных районах высотой от 200 до 800 м этот тип почвы широко распространен в западных горных районах исследуемой территории. Гранулометрический состав этого типа почвы варьируется от

легкого до среднего суглинка. Почва богата азотом (от 0,1 до 0,2%), бедна фосфором (от 0,03 до 0,04 %). Количество калия в среднем колеблется от 0,2 до 1,5 %, показатель кислотности почвы  $pH_{KCl} < 5,0$ . Этот тип почвы в основном покрыт природными лесами, однако по причине эксплуатации в течение прошлых лет, на некоторых участках остались только кустарники, а кое-где – голые холмы. Этот тип почвы предназначен в основном для лесохозяйственных целей.

В горных районах высотой от 800 до 2000 м почва отличается кислотным составом, характеризуется медленной скоростью разложения органических веществ, наличием в составе высокого содержания гумуса. Этот тип почвы в основном покрыт природными лесами, его используют только для лесохозяйственных целей.

Карта распределения значений (К-Фактор) учитывает скорость потерь почвы, с учетом индекса стоковой эрозии, возникшей вследствие осадков. Обычно данный фактор рассчитывают на основе текстуры и структуры почвы, содержания органического вещества и водопроницаемости (Abdo & Salloum, 2017).



**Рисунок 10. Эрозия почвы (К-Фактор) на исследуемой территории**

Карта распределения значений (К-Фактор) района Тхань Чуонг представлена на рисунке 10. Нами установлено, что исследуемая нами территорию можно разделить по скорости потерь почвы следующим образом:

1. К-Коэффициент на исследуемой территории колеблется от 0,017 до 0,02  $\text{Мг}\cdot\text{ч}\text{МДж}^{-1}\text{мм}^{-1}$ .

Наименьшее значение К (от 0,017 до 0,018  $\text{Мг}\cdot\text{ч}\text{МДж}^{-1}\text{мм}^{-1}$ ) на юге распространено в таких коммунах, как: Тхань Лам, Тхань Суан, Тханьзянг, Тхань Тунг, Тхань Лонг, Во Лиет, Тхань Кхе, Донг Ван, Тхань Чуонг.

2. Значения К от среднего до высокого (от 0,018 до 0,019  $\text{Мг}\cdot\text{ч}\text{МДж}^{-1}\text{мм}^{-1}$ ).

Распространены в таких коммунах, как: Тхань Тхуй, Нгок Лам, Тхань Сон, Хань Лам, Тхань Дык.

3. Наибольшее значение К (от 0,019 до 0,02  $\text{Мг}\cdot\text{ч}\text{МДж}^{-1}\text{мм}^{-1}$ )

Распространено на Севере исследуемой территории в таких коммунах, как: Кат Ван, Фонг Тхинь, Тхань Хоа, Тхань Нхо, Тхань Фонг, Тхань Хунг, Тхань Ван. Чем выше у почвы значение К, тем выше ее эрозионный потенциал.

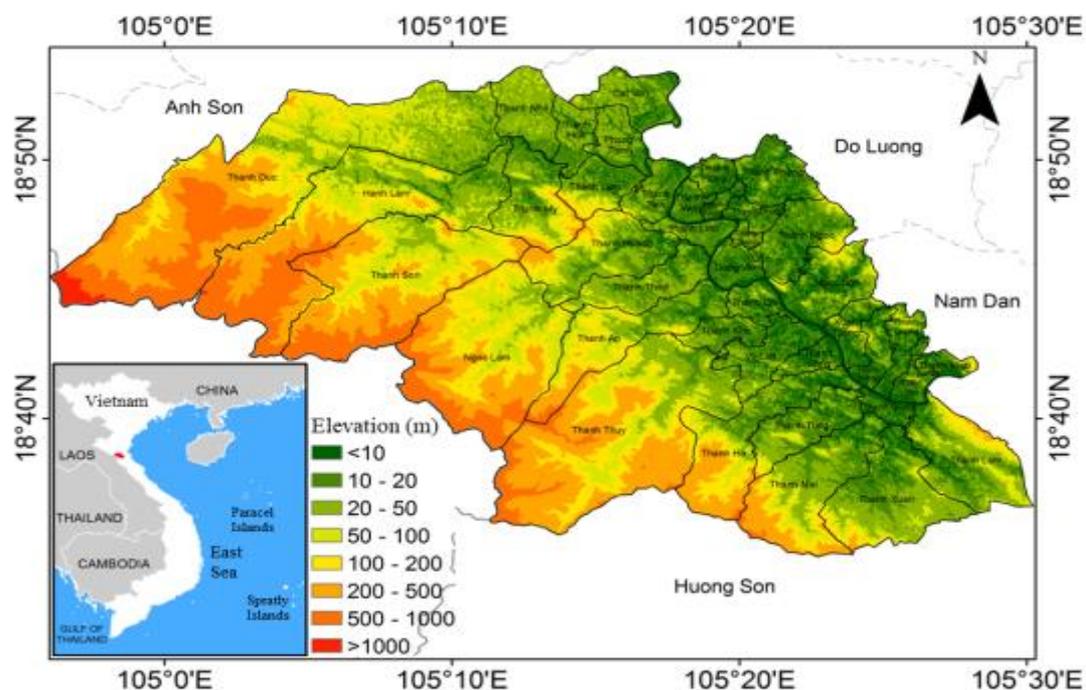
#### **4.3. Влияние рельефа местности на эрозию почвы на исследуемой территории (LS)**

Рельеф района Тхань Чуонг подразделяют на следующих три типа:

*Равнина:* в основном расположена по обоим берегам реки Лам, отсутствует на больших территориях, разбросана на небольших участках, составляет около 26 % природной площади, около 12 % земли ежегодно подвергается затоплению. Аллювиальные равнины расположены вдоль рек и низменностей вдоль ручьев, остальные площади подтопляются мало либо не подтопляются совсем. Данный тип почвы используют в основном для выращивания продовольственных культур, таких, как рис, кукуруза, картофель, краткосрочных технических культуры и овощей.

*Холмы:* занимают довольно большую территорию, составляя около 30 % естественной площади, в основном это холмы в форме перевернутых чаш или

волнистые холмы, чаще всего высотой менее 100 м. Почва на данных холмах в основном формируется на сланцах.



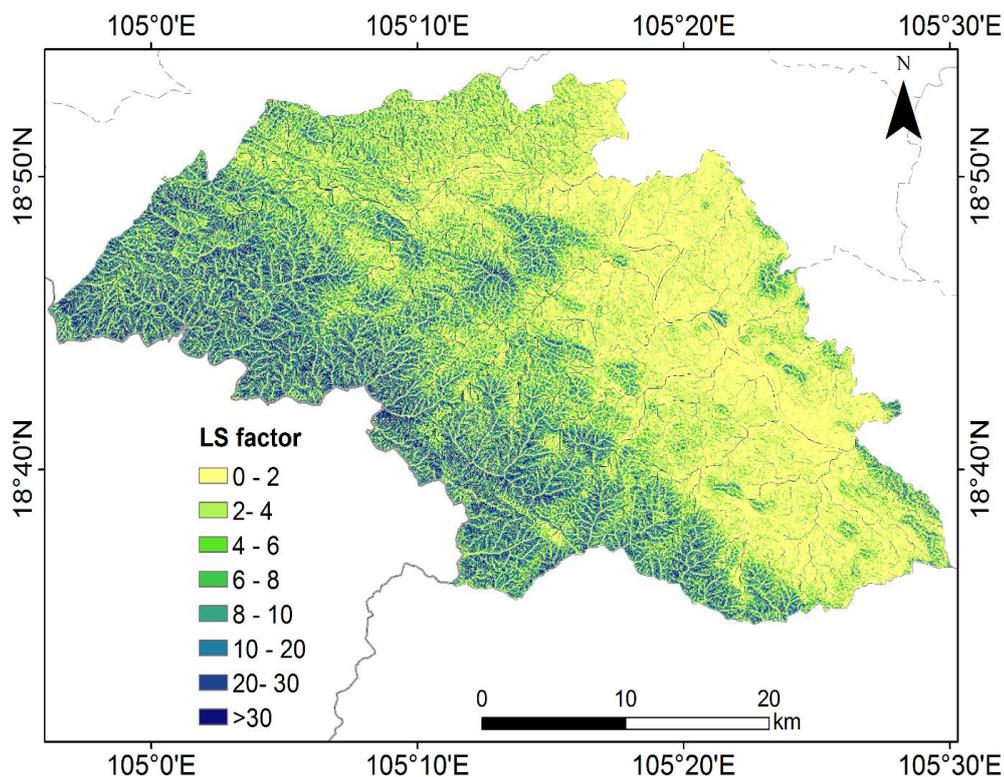
**Рисунок 11. Топографическая карта исследуемой территории**

- Почва и ее плодородие отличаются пригодностью для выращивания многолетних технических культур, плодовых деревьев и пастбищ для скота. Вследствие нецелесообразной эксплуатации у почвы маломощный плодородный слой, что приводит к незначительному урожаю, местами отмечена оголенная и каменистая поверхность.

- *Горы:* эта территория занимает около 44 % от общей природной площади и расположена в основном в приграничной зоне между Вьетнамом и Лаосом. Рельеф на этой территории отличается сложной дифференциацией, длина склонов варьирует, склоны отличаются крутизной. Высокие горы (> 800 м) занимают около 17 % площади, остальную часть составляет низкогорье (200–800 м).

Нашими исследованиями установлено, что фактор рельефа (топографический) представляет собой влияние длины и крутизны склонов на процесс возникновения эрозии.

Расчет в качестве входных данных LS-Коэффициента осуществлялся с учетом накопления потока и уклона (в процентах).



**Рисунок 12. LS-Коэффициент на исследуемой территории**

Нашими исследованиями установлено:

- самые низкие LS-значения были выявлены в восточных областях долины реки Лам: Тханьзянг, Тхань Йен, Тхань Тунг, Тхань Лонг, Тхань Зыонг, Суан Туонг, Во Лиет, Тхань Луонг, Нгок Шон...

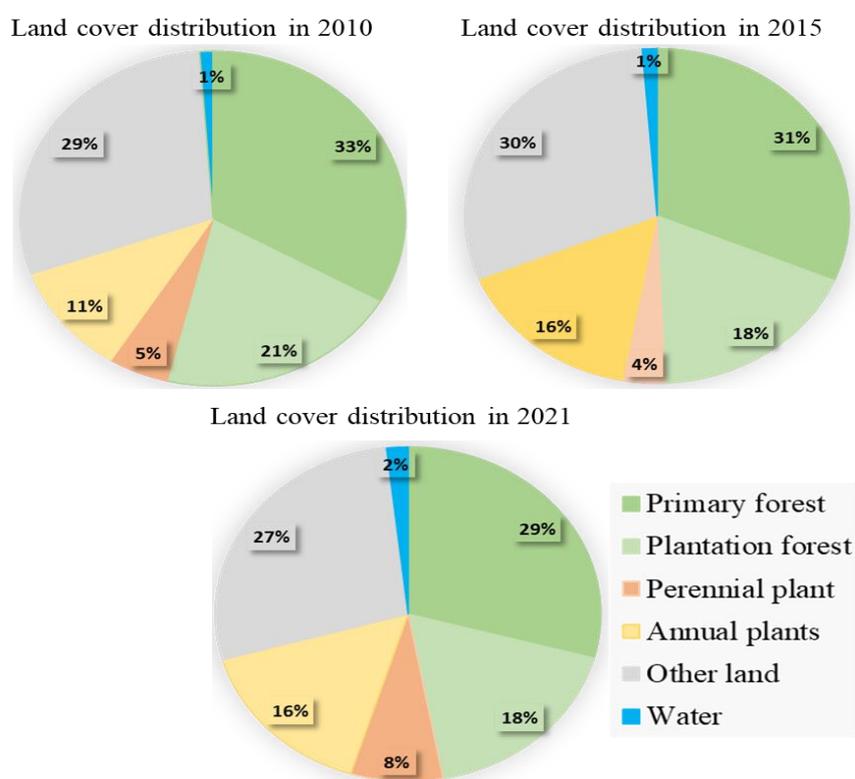
- самые высокие LS-значения распределены на сложном рельефе, с крутыми склонами между антиклинальными складками на Юго-западе изучаемого района: Тхань Ха, Тхань Тхуй, Нгок Лам, Тхань Сон, Хань Лам, Тхань Дык (Рис. 12).

LS-Фактор на исследуемой территории подразделяется на 8 (восемь) классов: от 0 до 2; от 2 до 4; от 4 до 6; от 6 до 8; от 8 до 10; от 10 до 20; от 20 до 30; и >30.

#### 4.4. Влияние растительного покрова на эрозию почвы на исследуемой территории (С)

Нашими исследованиями по составлению карт почвенного покрова территории за 2010, 2015 и 2021 годы установлены и разделены на шесть классов (рис. 13 А, В, С).

В 2010 году наибольшую площадь (до 37200,2 га) занимала почва с первичными лесами, за ней следовали другие типы почвы (32832,0 га), третье место по площади занимали лесопосадки (около 23223,8 га); при этом площадь однолетних насаждений составила 12,002,5 га (10,70 %), многолетних – 5659,9 га, водоемов – всего 1247,5 га (рис. 13 А, табл.7).



**Рисунок 13. Распределение почвенного покрова в (А) 2010 г., (В) 2015 г. и (С) 2021 г.**

В целом изменения растительного покрова проявляются в первичных и лесопосадках общей площадью до 60.424,0 га. Основной причиной того, что естественные и плантационные леса занимают наибольшую площадь, является хорошая защищенность лесов, мало эксплуатируются в области сельского хозяйства и строительства инфраструктуры.

В 2015 году насчитывали 35117,4 га первичных лесов, 33554,5 га других земельных участков, 20233,3 га лесопосадок, 17881,2 га однолетних насаждений, 4006,2 га многолетних насаждений и 1377,9 га водных объектов (рис. 13).

**Таблица 7. Изменение растительного покрова за период 2010-2021 гг.**

Тип покрова	Общая площадь покрова (га)			Изменение тенденций по периодам (%)		
	2010	2015	2021	2010-2015	2015-2021	2010-2021
Первичный лес	37.200,2	35.117,4	32.797,0	-1,86	-2,07	-3,92
Лесопосадки	23.223,8	20.233,3	20.027,3	-2,67	-0,18	-2,85
Многолетние насаждения	5.659,9	4.006,2	8.667,6	-1,47	+4,16	+2,68
Однолетние насаждения	12.002,5	17881,2	17702,9	+5,24	-0,16	+5,08
Прочие земли	32.832,0	33.554,5	30.951,5	+0,64	-2,32	-1,67
Вода	1.247,5	1.377,9	2.012,1	+0,12	+0,57	+0,68

В период 2010-2015 годов произошло значительное сокращение площади первичных лесов (2082,8 га), лесополос (2990,5 га) и площади многолетних насаждений (1653,7 га), в то время как однолетние насаждения, другие земли, площади водных объектов имели определенную тенденцию к увеличению (увеличение на 5878,2; 722,5 и 130,4 га соответственно). Уменьшение площади лесов и увеличение площади посевных площадей обусловлены расширением сельского хозяйства, что, в свою очередь, имело целью удовлетворение растущих потребностей местного населения в продовольствии. Результаты исследований влияния лесомелиоративных мероприятий на свойства почвы, проведенное Динь и Казуто (Dinh&Kazuto, 2022)<sup>165</sup>, показали, что площади,

<sup>165</sup>Dinh, T.K.H.; Kazuto, S.M. Effects of forest reclamation methods on soil physicochemical properties in North-Central Vietnam // Research on Crops. 2022. v.23, p.110-118.

ранее занятые лесом, использовали для возделывания плантаций акации и маниоки.

В 2021 году произошло резкое сокращение площади лесов и лесопосадок на 7.599,7 га, после чего последовало уменьшение других видов растительного покрова, которые сократились на 1.880,5 га. Напротив, в этот период времени произошло наибольшее расширение площади многолетних и однолетних насаждений до 8.708,1 га, а также отмечена определенная тенденция к увеличению водных объектов, площадь которых возросла примерно на 764,6 га за счет снижения площадей лесопосадок и лесов.

В целом площади первичных лесов и лесополос постоянно сокращались в период с 2010 по 2021 годы, за счет постоянного увеличения площади обрабатываемых почв.

Таким образом, нами установлено, что площадь лесных угодий сократилась вследствие растущей необходимости расширения сельскохозяйственной деятельности и исследуемая территория сталкивается с экзистенциальными рисками деградации почвы, а также экологическим дисбалансом.

### ***Характеристика факторов, влияющих на эрозию почв***

С-Фактор известен как фактор растительного покрова и управления им, который зависит от типа растительности, и площади покрова (El-Jazouli et al., 2017)<sup>166</sup>. С-Фактор представлен в справочных таблицах (Ganasri & Ramesh, 2016)<sup>167</sup>, основанных на диапазоне известных LUMP.

---

<sup>166</sup>Aafaf El Jazouli, Ahmed Barakat, Abdessamad Ghafiri, Saida El Moutaki, Abderrahim Ettaqy & Rida Khellouk. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco) // Geoscience Letters, 2017, Volume 4, article number 25

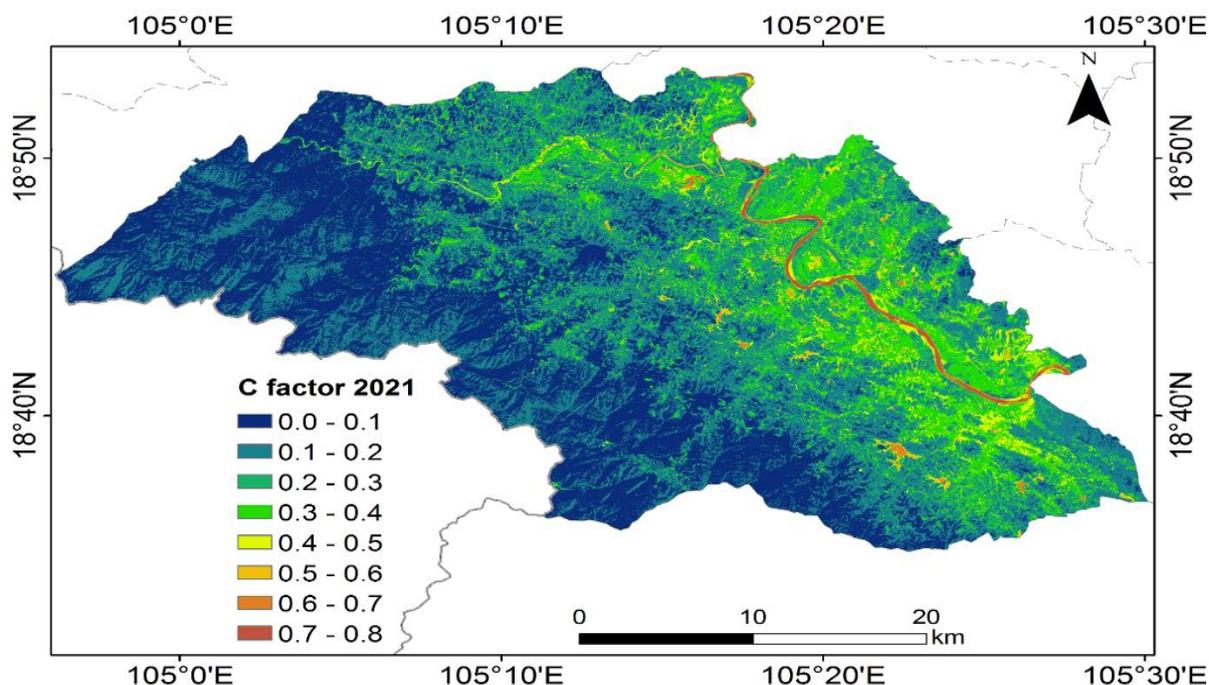
<sup>167</sup>Ganasri, B. P.; Ramesh, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin // Geoscience Frontiers. 2016. v.7, p.953-961

**Таблица 8. С-Фактор для различных методов землепользования и управления, используемых в исследовании**

Растительный покров	Диапазон С-Фактора	Среднее значение
Первичный лес	0.001-0.002	0.0015
Лесополосы	0.01-0.02	0.015
Многолетние насаждения	0.1-0.3	0.2
Однолетние насаждения	0.3-1.0	0.65
Другие земли	0.5-1.0	0.75
Водные объекты	0	0

В наших исследованиях исходные значения С-Фактора для классов LUMP, используемые в данной работе, представлены в таблице 8.

Значения С-Фактора нами разделены на диапазоны, соответствующие растительному покрову (0 – водные объекты; от 0-0,1 – первичные леса и лесополосы; 0,1-0,3 многолетние насаждения; 0,3-0,5 – однолетние насаждения; 0,5-0,8 – другая почва (рис. 14).



**Рисунок 14. С-Фактор на исследуемой территории**

Нами установлено, что большую часть растительного покрова занимают природные леса и лесополосы, где отмечается более низкий уровень влияния коэффициента покрова на эрозию почвы.

#### 4.5. Влияние природоохранных мероприятий на эрозию почв исследуемой территории (P)

Коэффициент P отражает скорость потери земель из-за антропогенного воздействия, он определяется на основе мер по борьбе с эрозией на склонах. Коэффициент P представляет собой коэффициент потери почвы, который устанавливается на основе методов контроля (рис. 15).

Соответственно, для районов с хорошими почвосберегающими технологиями обычно используют значение P, поскольку оно ограничивает объем и скорость стока и способствует отложению осадков на поверхности склона. Потенциал эрозии почвы, обусловленный стоком в результате выпадения осадков, и их влияние на особенности бассейна выражают с помощью стока с поверхности почвы.

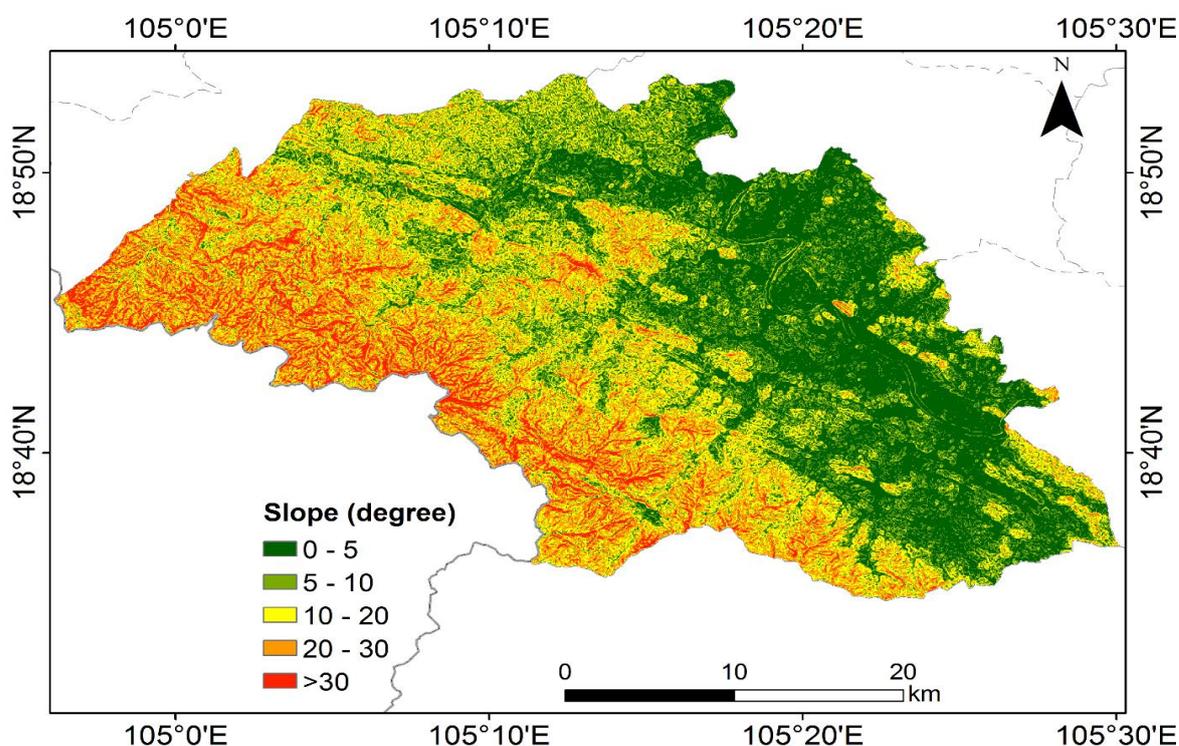


Рисунок 15. P-Фактор на исследуемой территории

Нами установлено, что Р-Фактор контролируется склоном местности и уклон разделен на 5 диапазонов:

- от 0 до 5;
- от 5 до 10;
- от 10 до 20;
- от 20 до 30;
- > 30.

На исследуемой территории склон имеет четкую дифференциацию, наибольшие показатели склона представлены на Западе и Юге, постепенное уменьшение отмечается к Востоку и Юго-востоку (рис. 15).

#### 4.6. Карта эрозии почв на исследуемой территории

На рисунке 16. представлена карта рисков эрозии исследуемой территории. Результаты исследования показали, что потери почвы по причине эрозии варьировались от 0 до 50 т га<sup>-1</sup> в год в период с 2010 по 2021 годы.

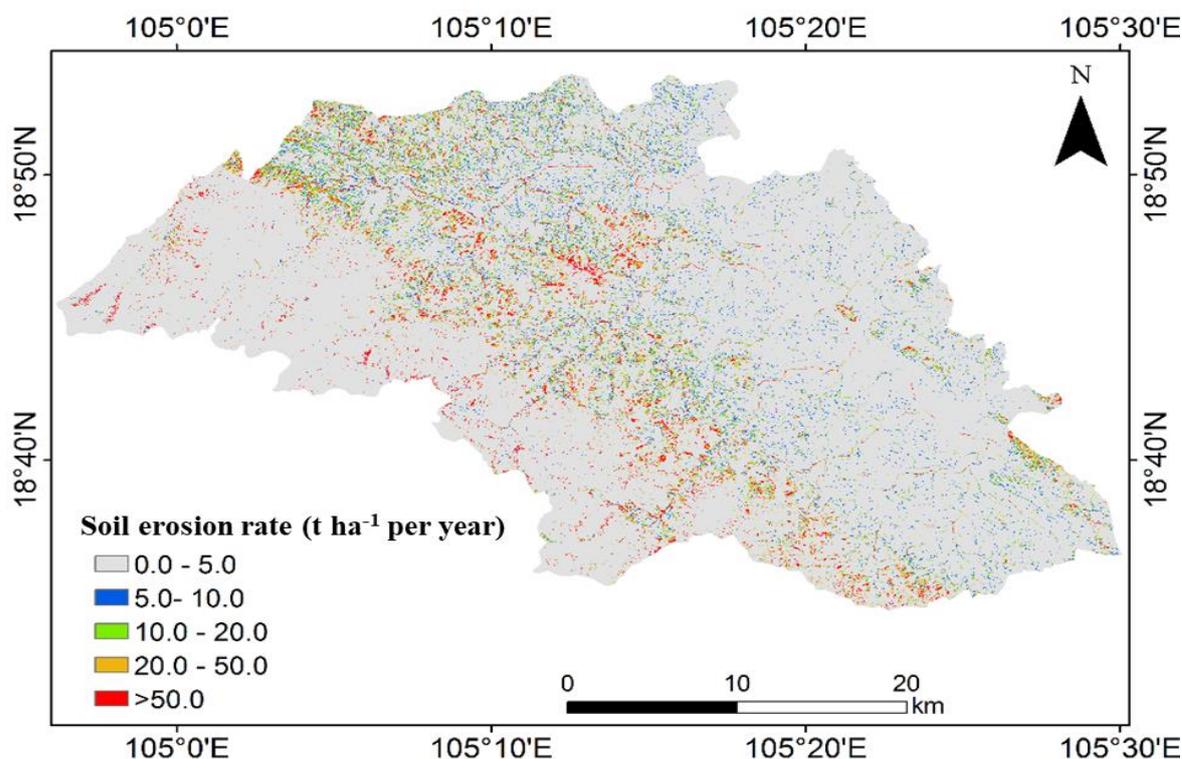


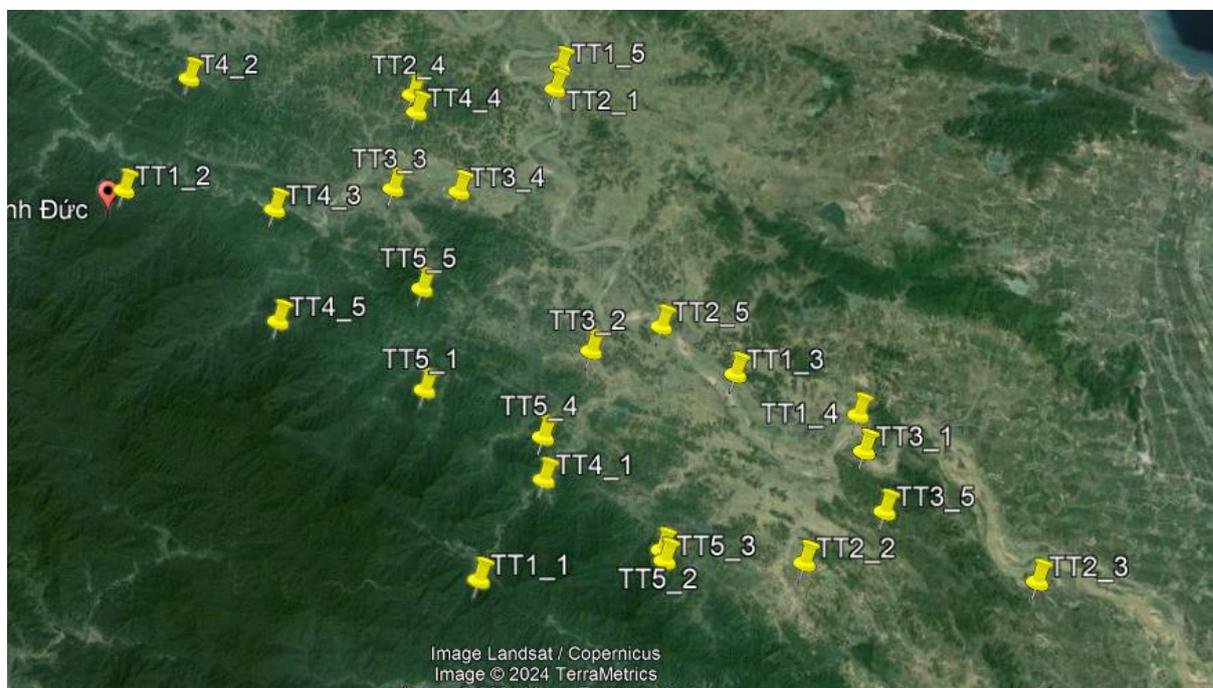
Рисунок 16. Карта эрозии почвы на исследуемой территории

Средняя потеря почвы в размере  $25 \text{ т га}^{-1}$  в год, оцененная с помощью показателей модели RUSLE, согласуется с проведенными наблюдениями. На Рисунке 16 показано, что на некоторых участках исследуемой территории зафиксирована высокая потеря почвы, обусловленная наличием крутых склонов и интенсивностью осадков. Отмечается, что на большей части исследуемой территории был выявлен низкий уровень эрозии, который можно было наблюдать почти во всех регионах, в то время как высокий уровень эрозии отмечен только в нескольких районах, где по причине УЕА (Неустойчивая эксплуатационная деятельность) существуют крутые склоны с бесплодной землей. Анализ карты уровня эрозии показал, что около 18 % территории относят к категориям с высокой и очень высокой эрозией. Умеренная эрозия отмечается на территории, пролегающей с Северо-запада на Юго-запад, где встречаются УЕА и крутые склоны. Районы, в которых наблюдался рост эрозии почвы, в основном расположены в Юго-западной и Северо-восточной частях исследуемой территории, они характеризуются наличием крутых склонов и высокой интенсивностью осадков. В то же время Восточная, Юго-восточная и Северо-западная части исследуемой территории отличаются умеренной эрозией почвы, поскольку в этих районах преобладают пологие склоны и осадки характеризуются меньшим уровнем интенсивности. Незначительная эрозия почвы широко распространена на исследуемой территории, что обусловлено изменениями почвенного покрова, переходом от первичных и плантационных лесов к сельскохозяйственным и бесплодным землям. Эти же факторы способствуют увеличению потерь почвы. По мнению В. Броди и М. Кэтрин (Brodie & Catherine, 2020)<sup>168</sup>, особенности растительного и почвенного покровы могут помочь уменьшить эрозию почвы, особенно под лесами и плантационными культурами.

---

<sup>168</sup>Brodie, V.; Catherine, M.P. Alpine vegetation in the context of climate change: A global review of past research and future directions // Science of The Total Environment. 2020. v.748, p.1-17.

Верификационные точки эрозии выбраны на исследуемой территории (рис.17). Точки съемки должны отличаться репрезентативностью, быть распределенными по всей территории исследования, которой является район Тхань Чуонг, провинция Нгеан, Вьетнам.



**Рисунок 17. Верификационные точки исследования эрозии на исследуемой территории**

Настоящими исследованиями на основе изображений, полученных в разные периоды времени установлено, что вследствие различий во времени записи загруженных изображений, покров территории мог претерпевать большие изменения, что способствовало увеличению С-Фактора и, в конечном итоге, вело к интенсификации потерь почвы на исследуемой территории.

#### **4.7. Разработка мер по борьбе с эрозией на исследуемой территории**

Эрозия, вызванная деятельностью человека, является одной из причин деградации лесных почв во всем мире, оказывая прямое воздействие на развитие лесных насаждений, включая снижение продуктивности лесов. Поэтому, чтобы внедрить методы устойчивого управления лесными насаждениями, важно оценить потери почвы при различных видах лесохозяйственной деятельности. Чтобы соотнести эти аспекты, необходимо

было собрать данные о количестве дождевой воды, достигшей уровня почвы, выраженные в интенсивности дождя, на которую непосредственно влияют фитосанитарные условия, состояние лесов косвенно зависит и от консистенции древостоев.

### ***Определение порога покрова и противозерозионной эффективности растительности***

В географических условиях центральной части Вьетнама, где до 80 % территории занимают склоны, на которые влияют природные факторы, а также интенсивная деятельность человека, почва и растительность страдают от серьезного экологического дисбаланса. Для оценки древостоев с точки зрения противозерозионной эффективности, мы предлагаем рассчитать количество деревьев, вес саженцев и поверхностный сток с точки зрения количества осадков и удержания почвы в насаждаемом лесу. На каждой стадии потери почвы важно определить количество деревьев на гектар, а также количество кустарников, саженцев и подстилки, которые оказывают положительное влияние на задержку осадков и, таким образом, снижают их скорость и интенсивность эрозии в насаждениях.

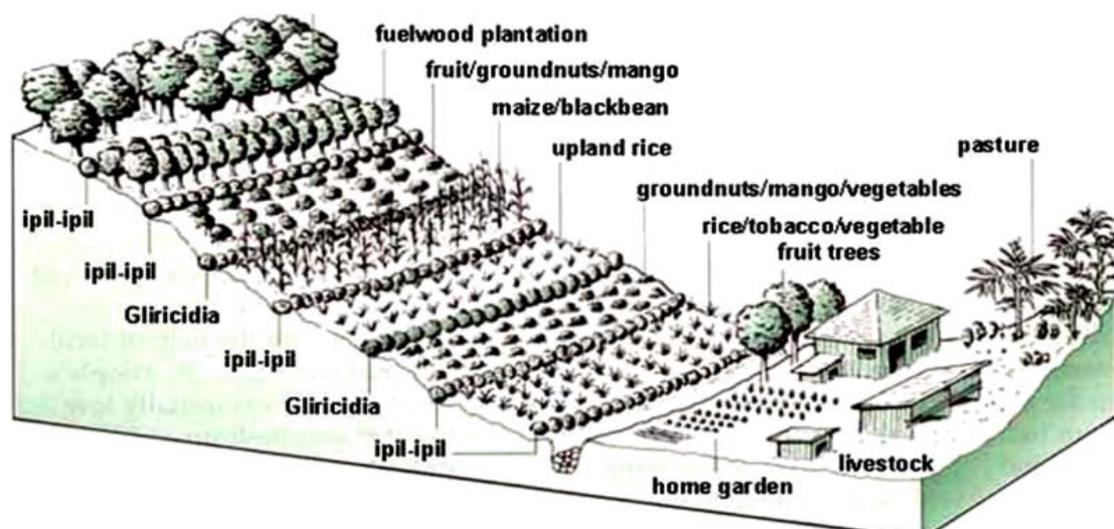
Поэтому необходимо реализовать разработку комплекса мер, направленных на совершенствование управления землепользованием для создания условий сельскохозяйственной деятельности на территории эрозионных зон на региональном уровне.

### ***Разработка моделей ведения сельского и лесного хозяйства на сильно эродированных землях***

На местном территориальном уровне защита земель от эрозии характеризуется недостаточным методическим обеспечением и недостатком соответствующих технологий.

Технология склоновых сельскохозяйственных земель (англ. Sloping Agriculture Land Technology) (SALT) обеспечивает необходимые соответствующие методы борьбы с эрозией на исследуемой территории. SALT

- это комплексная технология сохранения почв и производства продуктов питания, объединяющая в себе различные меры, направленные на сохранение почв. По сути, SALT - это метод выращивания полевых и многолетних насаждений посредством полос шириной от 3 до 5 метров между контурными рядами азотфиксирующих деревьев.



**Рисунок 18. Устойчивое производство сельскохозяйственных культур на склонах на примере кукурузы**

### *Применение модели SALT 3 на ферме*

Антропогенным фактором эрозии может служить невнимательность людей. Одна плохо обработанная животноводческая ферма может легко повлиять на окружающую местность, и только внедрение установки SALT 3 может легко исключить загрязнение окружающей среды.

Эта модель агротехники объединяет мелкомасштабное лесоразведение с производством продуктов питания. Подходящая структура землепользования составляет 40 % для сельского хозяйства и 60 % - для лесного. Таким образом, земля эффективно охраняется, обеспечивая при этом больше продовольствия, топливной древесины и других продуктов, увеличивая доходы фермеров. По сути, эта модель также является координацией, согласованием и расширением разумного планирования выращивания сельскохозяйственных культур, но особое внимание уделяется расширению площади лесов. Эта модель может быть распространена на производство с относительно большим земельным фондом (около 5-10 га) на многих типах местности или, в более широком масштабе.

Результатами модели по агротехнике землепользования установлено, что в структуре площадей многолетние насаждения должны быть разнообразными и составлять не менее 20 % от общего количества деревьев на землях, предназначенных для сельскохозяйственного производства, в отличие от исследуемой нами территории, где в основном выращивали акацию.

### ***Применение модели SALT 1 на чайных плантациях***

Согласно данной модели, организация проводит посадки однолетних культур вперемежку с многолетними, для соответствия особенностям и потребностям в почве этих пород деревьев, а также для обеспечения регулярного сбора урожая. В настоящее время чайные плантации на холмах высаживают по контурным линиям, между основными полосами посевов отсутствуют узкие полосы азотфиксирующих деревьев, которые необходимы для защиты почвы от эрозии, создания тени, внесения сидератов (удобрений) или получения древесины. Азотфиксирующие деревья сажают густо, двойными рядами. Когда дерево достигает высоты 1 м, ветки обрезают и укладывают листья у основания.

Для районов коммун Тханьми и Тханьхьонг структура посевов в модели обычно составляет 75 % сельскохозяйственных культур, 25 % – лесных. Из

сельскохозяйственных культур 50 % – однолетние насаждения, 25 % – многолетние насаждения. Это простая модель земледелия, применяемая на склоновых землях, позволяет фермерам получать в 1,5 раза больше дохода, чем при обычном выращивании маниоки. Использование данного метода ведет к снижению эрозии на 50 % по сравнению с традиционными системами земледелия на возвышенностях.

На участках, засаженных чайными плантациями, между которыми отсутствуют участки с лесополосой, деревья необходимо высаживать дополнительно вдоль контурных линий, при этом в приоритете должны быть азотфиксирующие деревья. Эти меры способствуют предотвращению эрозии почвы, способствуют затенению чайных плантаций, внесению сидератов (удобрений) и сбору древесины. Структура насаждений в модели обычно состоит из 75 % чайных плантаций (основной доход), 25 % лесных деревьев, что представляет собой улучшенную модель ведения сельского хозяйства по сравнению с теми районами выращивания чая, которые уже расположены на холмистой местности в коммунах Тхань Май, Тхань Ан, Тхань Тхуй.

#### ***Модель SALT 4***

Модель SALT 4 – это техническая модель выращивания цитрусовых с помощью органических методов в сочетании с выращиванием продовольственных культур. В этой модели особое внимание уделяют таким тропическим фруктовым деревьям, как апельсиновые и грейпфрутовые деревья, поскольку их продукцию можно продавать за наличные деньги. Также они являются многолетними деревьями, поэтому способны легко сохранять стабильность и долговечность. Апельсиновые и грейпфрутовые деревья более экологически устойчивы, чем однолетние растения. Для выращивания фруктовых деревьев требуется более плодородная почва и, соответственно, более интенсивные инвестиции (с точки зрения подготовки земли, внесения удобрений и выбора семян). Модель SALT 4 имеет большое значение, так как помимо продуктов питания, сюда включена также продукция

азотфиксирующих растений, что предотвращает эрозию и улучшает состояние почвы. К преимуществам данной модели также относят производство товарной продукции и фрукты, реализуемые за наличные деньги и покупки других необходимых вещей. Эту модель применяют в таких коммунах, как Тхань Нхо, Тхань Дык, Тхань Лиен, Тхань Тхинь, Тхань Ми.

### ***Строительство траншей и их насыпей***

Целью данных мероприятий является разделение склона на более мелкие участки для уменьшения силы потока вниз по склону. Расстояние между этими барьерами зависит от мест с разными уклонами. При наличии большого уклона расстояние между ограждениями должно составлять 3–4 м; при умеренном уклоне - 5–6 м. В местах со средней мощностью почвы могут быть вырыты горизонтальные траншеи вдоль контурных линий. Целью строительства траншей является как предотвращение вымывания почвы, так и уменьшение потока воды, что позволит большему количеству дождевой воды проникать в почву, вследствие чего она дольше остается влажной после прекращения дождя. Рытье траншеи и устройство насыпи по горизонтали необходимо производить одновременно, траншею выкапывают по горизонтали глубиной около 30 см, ширина насыпи траншеи должна составлять около 50 см и высота – около 30 см.

В местах с маломощным плодородным слоем почвы или большим количеством камней, где невозможно вырыть траншеи по контурным линиям, эффективным решением является создание каменных заграждений. Каменная стена располагать вдоль контурной линии, этот барьер также может уменьшить скорость потока воды и эрозию. Для сооружения каменного заграждения необходимо создать по всей линии контура ровную траншею шириной около 50 см. Данная траншея составит фундамент каменной стены. Камень надо укладывать в траншею до тех пор, пока он не достигнет высоты 50–80 см. Высота стены будет зависеть от уклона склона холма, имеющихся ресурсов камня и человеческих ресурсов. Устройство траншейных насыпей или

возведение заграждений из камней следует начинать с вершины холма. Если начало работы производят у подножия холма, во время дождя сила текущей сверху воды может уничтожить результаты работы, сделанные внизу.

### ***Воспроизведение модели создания террасированных холмов***

В условиях пологой холмистой местности широкое террасное строительство будет весьма эффективным средством предотвращения эрозии. Позитивные результаты созданных лестниц проявляются быстро, однако их построение требует много времени и усилий. При строительстве террасы первым делом необходимо определить размер ступеней и расстояние между ними, это будет зависеть от типа почвы. На участке с небольшим уклоном ступеньки должны быть большего размера; на участке с крутым уклоном ступеньки должны быть меньше. Размер террас и расстояние между террасами зависит от потребностей фермера и реальных условий местности. После определения размеров террас и расстояния между ними необходимо приступить к рытью террас. Для предотвращения засыпания верхнего слоя почвы следует снять верхний слой почвы, отложить в сторону и выровнять выкопанную почву снаружи для создания более низкой ступеньки в сторону склона холма. По внешнему краю лестницы необходимо соорудить насыпь или создать небольшую берму, а по внутреннему краю лестницы выкопать канаву с целью ограничения сильного потока дождевой воды сверху. После завершения работ ранее снятый плодородный слой почвы возвращают.

Таким образом, для снижения эрозии почв рекомендуем использовать модель SALT - метод выращивания полевых и многолетних насаждений посредством полос шириной от 3 до 5 метров.

В условиях пологой холмистой местности эффективным средством предотвращения эрозии является воспроизведение модели создания террасированных склонов, широкое террасное строительство.



**Рисунок 19. Холмы с чайными плантациями возделывают вдоль контурных линий на исследуемой территории**

Строительство траншей и их насыпей приведет к разделению склона на более мелкие участки и уменьшению силы потока вниз по склону. Как уже описано выше при большем уклоне расстояние между ограждениями должно составлять – 3-4 м; при умеренном уклоне – 5-6 м.

Модель SALT 4 предполагает посадку многолетних насаждений, таких как апельсины, так как их деревья обладают азотфиксирующим свойством, являются продуктом питания, предотвращает эрозию и улучшает состояние почвы.

*Применение модели SALT 1 на чайных плантациях* требует посадки однолетних культур попеременно с многолетними, для соответствия особенностям и потребностям в почве этих пород деревьев, а также для обеспечения регулярного сбора урожая. Структура посевов в модели должно соответствовать 75 % сельскохозяйственных культур, 25 % – лесных. Из сельскохозяйственных культур 50 % – однолетние насаждения, 25 % – многолетние насаждения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований эрозии почвы по обоснованию возможности использования GIS технологии, дистанционного зондирования и применимости RUSLE модели для оценки и расчета параметров эрозии почвы в районе тропических муссонов в районе Тхань Чуонг, провинция Нгеан (Вьетнам) было установлено:

1. Вероятность эрозии почвы определяют уровнем интенсивности и продолжительности обильных осадков в период муссонов.
2. Степень эрозионной устойчивости ландшафтов определяют уклоном рельефа, параметрами растительного покрова и количеством осадков. При этом высокие темпы потерь почвы связаны с сочетанием несоответствия используемых типов землепользования местным агро-климатическим и метеорологическим условиям, агрофизическими параметрами почвы и особенностями рельефа.
3. Агроэкологическая оценка земель по разработанной карте уровня эрозии показала, что около 18 % территории относят к категориям с высокой и очень высокой степенью проявления эрозии.
4. Среднегодовые потери почвы в горном районе Тхань Чуонг провинции Нгеан, определенные на основе параметров модели RUSLE, составляют 25 т в год.
5. Установлены данные об эрозии почвы на сельскохозяйственных угодьях у трех типов сельскохозяйственного производства:
  - выращивание чайных и цитрусовых деревьев вдоль контурных линий на холмистой местности;
  - производство однолетних сельскохозяйственных культур на склоновых землях;
  - возделывание многолетних насаждений на склонах, включая акацию и маниоку.

6. Дистанционное зондирование с использованием программного обеспечения Географической информационной системы (ГИС) GIS по результатам верификационной оценки эрозии для каждого уровня эрозии выделено 5 позиций:

- очень низкая (0-5 т га/в год);
- низкая (5-10 т га/в год);
- умеренная (10-20 т га/в год);
- высокая (20-50 т га/в год);
- очень высокая (>50 т га/в год).

7. Оценки эрозии почв на основе изображений Landsat 8 для LS-Фактора подразделяется на 8 (восемь) классов: от 0 до 2; от 2 до 4; от 4 до 6; от 6 до 8; от 8 до 10; от 10 до 20; от 20 до 30; и >30

8. Разработанные меры, ориентированные на борьбу с эрозией на исследуемой территории, включают:

- определение типа покрова и противоэрозионной эффективности растительности;
- проектирование строительства траншей и насыпей;
- тиражирование модели устройства террасных холмов на обширных территориях;
- разработку и оптимизацию моделей сельского и лесного хозяйства на сильно эродированных землях (модель SALT 1, 3, 4).

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

LUMP	Платформа моделирования землепользования
GIS	географические информационные системы
QGIS	Квантовая географическая информационная система
UEA	Неустойчивая эксплуатационная деятельность
EU	Евросоюз
SALT	Технология наклонных сельскохозяйственных угодий
LCC	Изменение растительного покрова
LULC	Землепользование и земельный покров
USLE	Универсальное уравнение потери почвы
RUSLE	Пересмотренное универсальное уравнение потери почвы
RST	Технологии дистанционного зондирования
RS	Дистанционное зондирование
FAO	Пищевая и Сельскохозяйственная организация
OAE	Организации африканского единства
CCTA	Комиссия по техническому сотрудничеству в Африке южнее Сахары
SARCCVS	Региональный совет по охране и использованию земель Южной Африки
BIS	Панафриканское земельное управление
ARS	Службой сельскохозяйственных исследований
ML	Машинное обучение
DEM	Цифровая модель рельефа
SEIM	Модель индекса эрозии почвы
SWAT	Инструмент оценки почвы и воды
WEPP	Проект прогнозирования водной эрозии
USDA	Министерства сельского хозяйства США
BMO	Всемирная Метеорологическая Организация
SCOPSA	Устойчивое производство кукурузы на склонах

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бастраков Г.В. Эрозионная устойчивость рельефа и противо-эрозионная защита земель // Брянск: Изд-во БГПИ. 1994. 260 с
2. Голосов В.Н., Жидкин А.П., Петелько А.И., Осипова М.С., Иванова Н.Н., Иванов М.М. Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область) // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1321–1338. DOI: 10.31857/S0032180X22100045
3. Горбачева Е.Н. Применение универсального уравнения потерь почвы от эрозии (RUSLE) при оценке интенсивности водно-эрозионных процессов на основе ГИС // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 2 (47). С. 42-51.
4. Демихов В.Т., Долганова М.В. Гидрометеорологический фактор эрозии почв на территории Брянской области // Биоразнообразиие и антропогенная трансформация природных экосистем: материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Балашов, 16-17 октября 2014 г.). Саратов: Саратовский источник. С. 43.
5. Д.С. Аюпов, А.Д. Лукманова, Н.А. Зотова. Агротехнические мероприятия по защите земель от эрозии [Текст] // Наука молодых-инновационному развитию АПК. 2015. - №5. - С. 162-166.
6. Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 3 (12). С. 1-12.
7. Канатьева Н.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф. Современные изменения климатических факторов эрозии в Северном Приволжье // Эрозия почв и русловые процессы, 2010, М.: Географический факультет МГУ. Вып. 17. С. 14-27.
8. КА Риверос, ЕВ Кузнецов, Оценка потенциала водной эрозии методами RUSLE, ГИС и дистанционного зондирования в кубанском гидрографическом бассейне // Устойчивое развитие науки и образования. 2019.
9. Козлов В.П. К изучению эрозии почвы на западных и южных склонах Среднерусской возвышенности // Материалы по изучению процессов

- почвенной эрозии и плодородия смытых почв. 1953. М.: Изд-во АН СССР. С. 118–210.
10. Кузнецов М.С., Демидов В.В., Демидова Е.В. Влияние глобальных изменений климата на эрозионные процессы в Центральной Черноземной области России // Тр. VI Всерос. Гидрол. 2006. съезда. Секция 6. Проблемы русловых процессов, эрозии и наносов. М.: Метеоагентство Росгидромета. С. 102-104.
  11. Моисеев К. Г. Влияние увеличения количества осадков на структуру почвенного покрова и текстурные свойства почв // Агрофизика. 2019. № 4. С. 22-30.
  12. Нгуен Ван Тхинь. Биоразнообразие и свойства почв биосферного заповедника Донг Най Южного Вьетнама [Текст] : монография / Нгуен Ван Тхинь, А. А. Околелова ; Министерство образования и науки РФ, Волгоградский государственный технический университет. - Волгоград : ВолГТУ, 2017. - 158
  13. Риверос К.А., Кузнецов Е.В. Оценка потенциала водной эрозии методами RUSLE, ГИС и дистанционного зондирования в кубанском гидрографическом бассейне // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. № 3. С. 227-232.
  14. Aafaf El Jazouli, Ahmed Barakat, Abdessamad Ghafiri, Saida El Moutaki, Abderrahim Ettaqy & Rida Khellouk. Soil erosion modeled with USLE, GIS, and remote sensing: a case study of Ikkour watershed in Middle Atlas (Morocco) // Geoscience Letters, 2017, Volume 4, article number 25
  15. Abdo, H.; Salloum, J. Mapping the soil loss in Marqya basin: Syria using RUSLE model in GIS and RS techniques // Environ. Earth, 2017, Sci. 76, 114
  16. Adornado H. A., Yoshida M., & Apolinar H. A. Erosion vulnerability assessment in REINA, Quezon Province, Philippines with raster-based tool built within GIS environment // Agricultural Information Research, 2009, 18(1), 24-31.
  17. Allafta, H.; Opp, C. Soil erosion assessment using the RUSLE model, remote sensing, and GIS in the Shatt Al-Arab Basin (Iraq-Iran) // Appl. Sci. 2022, v.12, 7776.
  18. Arnold, J.G., et al. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I:

- Model Development // Wiley Online Library, 1998, Hoboken.
19. Arnold, J.G., et al. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation // Transactions of the ASABE, 2012, 55(4), 1491–1508. doi:10.13031/2013.42256
  20. Aksoy, H., & Kavvas, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models // CATENA, 2005, 64(2-3), 247–271.
  21. Babur, Emre, et al. Studying soil erosion by evaluating changes in physico-chemical properties of soils under different land-use types // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2021. 20.3. 190-197.
  22. Benavidez R., B. Jackson, Maxwell D. and 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 // Hydrol. Earth Syst. 2018. Sci. 22(11), pp. 6059-6086.
  23. Bennett H.H. Soil Conservation (Graw - Hill, New York and London) // McGraw-Hill Book Company, 1993.
  24. Boardman J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches // Catena, 2006, 68(2-3), 73-86.
  25. Brodie, V.; Catherine, M.P. Alpine vegetation in the context of climate change: A global review of past research and future directions // Science of The Total Environment. 2020. v.748, p.1-17.
  26. Chepil, W. S. Properties of soil which influence wind erosion: V. Mechanical stability of structure // Soil Science, 1951,72.6: 465-478.
  27. Ding, C., Xia, Y., Yuan, Z., Yang, H., Fu, J. & Chen, Z. Performance prediction for a fuel cell air compressor based on the combination of backpropagation neural network optimized by genetic algorithm (GA-BP) and support vector machine (SVM) algorithms // Thermal Science and Engineering Progress, 2023, 44, 102070
  28. Dinh, H.L., Shibata, M., Kohmoto, Y., Nguyen, H.L, Funakawa, S. Analysis of the processes that generate surface run off and soil erosion using a short-term water budget on a mountainous sloping cropland in central Vietnam // Catena, 2022, 211, 106032.
  29. Dinh, T.K.H.; Kazuto, S.M. Effects of forest reclamation methods on soil

- physicochemical properties in North-Central Vietnam // *Research on Crops*. 2022. v.23, p.110-118.
30. Doanh L.Q., H.D. Tuan, A. Chabanne. Upland Agro - Ecology Research and Development in Vietnam // *Building an Agro-Ecological Network through DMC in Southeast Asia*, Vientiane, Lao, 2005, p. 7.
31. Dung, B. X., Trang, P. Q., Linh, N. T. M., Hoa, D. T., Gomi T. Soil erosion and overland flow from Acacia plantation forest in headwater catchment of Vietnam // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 266
32. Ellison W.D. Soil Erosion Studies - Part I // *Agricultural Engineering*. 1947. 28, pp. 145-146.
33. El-Swaify, S.A., Dangler, E.W., Armstrong, C.L. Soil erosion by water in the tropics // *College of Tropical Agriculture and Human Resources*. 1982. University of Hawaii, Honolulu
34. Evan A. Thaler, Jeffrey S. Kwang, Brendon J. Quirk, Caroline L. Quarrier; Rates of Historical Anthropogenic Soil Erosion in the Midwestern United States // *Earth's Future Research* article, 2022, Volume 10, Issue 3.
35. FAO – UNESCO; Digital soil map of the world and derived soil properties // FAO, 2004, Rome
36. Flanagan D. C., Gilley J. E. & Franti T. G. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development history, model capabilities, and future enhancements // *Transactions of the ASABE*, 2007, 50(5), 1603-1612.
37. F.L. Duley, M.F. Miller, Erosion and Surface Runoff under Different Soil Conditions // *University of Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station*. 1923. *Research Bull.*, 63
38. Fu, B.J.; Zhao, W.W.; Chen, L.D.; Zhang, Q.J.; Lü, Y.H.; Gulinck, H.; Poesen, J. Assessment of soil erosion at largewatershed scale using rusle and GIS: A case study in the Loess Plateau of China // *Land Degrad.* 2005. *Dev*, 16, 73–85.
39. Ganasri, B. P.; Ramesh, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin // *Geoscience Frontiers*. 2016. v.7, p.953-961.

40. Geen, R., Bordoni, S., Battisti, D. S., & Hui, K. Monsoons, ITCZs, and the concept of the global monsoon // *Reviews of Geophysics*, 2020, 58, e2020RG000700.
41. Nguyen Thi Thuy Ha, Astarkhanova Tamara Sarzhanovna, et al; Potential risks of soil erosion in North-Central Vietnam using remote sensing and GIS // *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, November 2023, Volume 27, N.11, p.910-916 (SCIE Q2) ISSN 1415-4366
42. Hickey, R. Slope angle and slope length solutions for GIS // *Cartography*, 2000, vol. 29, no.1, pp. 1-8.
43. Hung, T.T; Doyle, R.; Eyles, A.; Mohammed, C. Comparison of soil properties under tropical Acacia hybrid plantation and shifting cultivation land use in northern Vietnam // *Southern Forests: a Journal of Forest Science*. 2017. v.79, p.9-18, 2017.
44. Hudson, N.W. *Soil Conservation* // Iowa State University Press, 1995, 3rd Edition, Ames, IA. 392 pages.
45. Karine Vezina, Ferdinand Bonn, Cu Pham Van. Agricultural land-use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands // *J. Landscape Ecology*, 2006, vol. 21, No.8, pp.1311-1325, Springer, Netherlands, No 0921-2973.
46. Kazuya Takahashi, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Species composition, habitat structure and sedimentation in a *Sonneratia caseolaris* stand at the Lam River estuary, Vietnam // *The Fundamental and Applied Agriculture (FAA)*, June 2020, Volume 5 Issue 2, 157-166.
47. Kazuya Takahashi, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Effect Chemical Characteristic of Soil on Orange Productivity: A Case Study of Nghe An Province, Vietnam; *Indian Journal of Ecology*, August 2020, 607-613 (scopus Q4) ISSN 0304-5250
48. Kazuya Takahashi, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Population dynamics of a *Sonneratia caseolaris* stand in the Lam river estuary of Vietnam: A restoration perspective // *Landscape and Ecological Engineering*, November 2020 (SCIE Q3)
49. Khosravi, Golkarian, A., K., Panahi, M. & Clague, J. J. Spatial variability of soil water erosion: Comparing empirical and intelligent techniques // *Geoscience*

Frontiers, 2023, 14, 101456.

50. Lal, R. Soil erosion in the tropics: principles and management // McGraw-Hill, 1990, New York.
51. Le Trong Cuc, A. Terry Rambo, Michael R. Digregorio. The Challenges of Highland Development in Vietnam // East-West Center, 1995.
52. Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes // Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1994, 37(6): 1835–1840.
53. Locatelli, B., Imbach, P., Wunder, S. Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica // Environ. Conserv. 2014. 41, 27–36.
54. L. Tamene, W. Abera, B. Demissie, G. Desta, K. Woldearegay, and K. Mekonnen; Soil erosion assessment in Ethiopia: A review // Journal of soil and water conservation, 2021.
55. Lufafa, A.; Tenywa, M.M.; Isabirye, M.; Majaliwa, M.J.G.; Woomer, P.L. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using GIS based Universal Soil Loss mode // Agric. Syst., 2003, 76, 883–894.
56. Lung, Nguyen Ngoc, et al. Final report on forest ecological stratification in Vietnam // UN-REDD Program Vietnam: Hanoi, Vietnam, 2011.
57. Lynden GWJ and Oldeman LR. The assessment of the status of human-induced soil degradation in South and South-East Asia // United Nations Environment Programme (UNEP), Food and Agriculture Organization (FAO), and International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), 1997, Wageningen.
58. MCCool, D.K, G.O. George, M. Freckleton, C.L. Douglas, Jr., and R.I. Papendick. Topographic effect on erosion from cropland in the northwestern wheat region. // Transactions of the ASAE, 1993, 36 (4): 1067-1071.
59. Merritt W. S., Letcher R. A., & Jakeman A. J. A review of erosion and sediment transport models // Environmental modelling & software, 2003, 18(8-9), 761-799
60. Mohtadi, M., Prange, M. & Steinke, S. Palaeoclimatic insights into forcing and response of monsoon rainfall // Nature, 2016, 533, 191–199.

61. Moore, I.D. & Wilson, John. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation // *Journal of Soil & Water Conservation*. 1992. 47. 423-428.
62. Morgan, R. *Soil Erosion and Conservation* // Blackwell Publishing Ltd., Carlton, 2005, 3rd Edition.
63. Morgan R. P. C. & Duzant J. H. Modified MMF (Morgan Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion // *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 2008, 33(1), 90-106
64. Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R. et al. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions // *Bull Eng Geol Env*, 2000, 58, 275–287.
65. Narayan, D.V.V. and Babu R; Estimation of Soil Erosion in India // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1983, 109, 419-431.
66. Ngo Thanh Son, Tran Trong Phuong, Nguyen Thi Phuong Mai, Nguyen Thu Ha. Overview of soil erosion prediction models and applications // *Journal of forestry science and technology*, 2022, (1), 103–113.
67. Nguyen Quyet Chien, Nguyen Thi Thuy Ha, Astarkhanova Tamara Sarzhanovna, et al; Mapping of soil erosion susceptibility using advance machine learning models at Nghe An, Vietnam // *Journal of Hydroinformatics*, November 2023, (SCIE Q2) ISSN 1464-7141
68. Nguyen X. H. and A. H. Pham, Assessing Soil Erosion by Agricultural and Forestry Production and Proposing Solutions to Mitigate: A Case Study in Son La Province, Vietnam // *Applied and Environmental Soil Science*, 2018, pp. 10.
69. N. Hudson, Đào Trọng Năng và Nguyễn Kim Dung dịch, Bảo vệ đất và chống xói mòn // Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 1981, Hà Nội. (N. Hudson, Дао Чонг Ханг и Нгуен Ким Дунг, Защита почв и предотвращение эрозии // Издательство науки и технологий, 1981, Ханой.)
70. Niu, Rq., Du, B., Wang, Y. et al. Impact of fractional vegetation cover change on soil erosion in Miyun reservoir basin, China // *Environ Earth*, 2014, Sci 72, 2741–

- 2749.
71. Nelva B. Riquetti, Samuel Beskow, Li Guo, Carlos R. Mello; Soil erosion assessment in the Amazon basin in the last 60 years of deforestation // *Environmental Research*, 2023, Volume 236
  72. P.A. Ochoa, A. Fries, D. Mejía, J.I. Burneo, J.D. Ruíz-Sinoga, A. Cerdà, Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes // *CATENA*, 2016, Volume 140, Pages 31-42, ISSN 0341-8162
  73. Pineda, L., Ntegeka, V., Willems, P. Rainfall variability related to sea surface temperature anomalies in a Pacific–Andean basin into Ecuador and Peru // *Adv. Geosci.* 2013. 33, 53–62.
  74. Quinton J. N. & Catt J. A. Enrichment of heavy metals in sediment resulting from soil erosion on agricultural fields // *Environmental science & technology*, 2007, 41(10), 3495-3500.
  75. R. Bou Kheir, C. Abdallah, Khawlie; Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS // *Engineering Geology*; June 2008, Volume 99, Issues 3–4, 23, Pages 239-254
  76. Renard K.G., Ferreira V.A. RUSLE model description and database sensitivity // *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22, 458–466.
  77. Renard K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, D.C. Yoder; Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // *Agricultural Handbook*, 1997, No. 703, U. S. Dept. of Agr, Washington DC, p. 384
  78. Renard K.G., Laflen, J.M., Foster, G.R. and McCool, D.K. The revised universal soil loss equation // In: Lad, R. (Ed.), *Soil Erosion: Research Methods*, 1994, pp. 105–126
  79. Tian, W.T., Hu, W.Y., Li.J. et al. The status of soil and water loss and analysis of countermeasures in China // *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(4), 204 - 209.
  80. Tran Thi Tuyen, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Evaluation of Mangrove Ecosystem Importance for Local Livelihoods in Different Landscapes A Case Study

- of the Hau and Hoang Mai River Estuaries in Nghe An, North-Central Vietnam // Sustainability Journal, February 2023, Volume 15, Issue 4 (SCIE Q1).
81. Tran Duc Toan, Podwojewski, P., Orange, D., Nguyen Duy Phuong, Do Duy Phai, Bayer, A., Nguyen Van Thiet, Pham Van Rinh, Renaud, J. and Koikas, J. Effect of land use and land management on water budget and soil erosion in a small catchment in northern part of Vietnam // International conference on innovative practices for sustainable sloping lands and watershed management, 5-9 September 2004, Chiang Mai, Thailand.
82. Tran Thi Tuyen, Nguyen Thi Thuy Ha, et al; Integrating Remote Sensing, GIS and Machine Learning Approaches in Evaluation of Landslide Susceptibility in Mountainous Region of Nghe An Province, Vietnam // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; May 2024, GeoShanghai – Volume 6; <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1345/1/012008/pdf> (Scopus) ISSN:1755-1307 E-ISSN:1755-1315
83. Sana Khan, Rebecca Bartley, Anne Kinsey-Henderson, Aaron Hawdon; Assessing gully erosion and rehabilitation using multi temporal LiDAR DEMs: Case study from the Great Barrier Reef catchments, Australia // International Soil and Water Conservation Research, 2024, Volume 12, Issue 1, March 2024, Pages 184-199.
84. Sustainable Corn Production in Sloping Areas (SCOPSA) Handout // Training Module by Mindanao Baptist Rural Life Center
85. Toxopeus A.G. Cibodas: the erosion issue ILWIS 2.1 for Windows // Applications guide, 1996, Chapter 23. Soil.
86. Vásquez-Méndez, Rebeca, et al. Soil erosion processes in semiarid areas: the importance of native vegetation // INTECH Open Access Publisher, 2011, 1: 25-41.
87. Vijith, H., Suma, M., Rekha, V.B. et al. An assessment of soil erosion probability and erosion rate in a tropical mountainous watershed using remote sensing and GIS // Arab J Geosci 5, 2012, 797–805.
88. Wen, X., & Deng, X. Current soil erosion assessment in the Loess Plateau of China: A mini-review // Journal of Cleaner Production, 2020, 123091.

89. Wenyi Sun, Quanqin Shao, Ji Yuan Liu, Jun Zhai, Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China // *CATENA*, 2014, Volume 121, Pages 151-163, ISSN 0341-8162.
90. Wischmeier W.H. and D.D. Smith, Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning // USDA/Science and Education Administration, 1978, vol Agriculture Handbook No. 537, US. Govt. Printing Office, Washington, DC., 58.
91. W.H. Wischmeier, D.D. Smith; Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains; Guide for selection of practices for soil and water conservation, Agriculture Handbook, 1965, No. 282, Agricultural Research Service, U. S. Dept. of Agric, Washington DC, p. 47
92. W.H. Wischmeier, D.D. Smith; Predicting rainfall-erosion losses-A guide to conservation planning // Agriculture Handbook, 1978, No. 537, U. S. Dept. of Agric, Washington DC, p. 58
93. Xuexian Zhang, Jinxi Song, Yirui Wang, Haotian Sun, Qi Li, Threshold effects of vegetation coverage on runoff and soil loss in the Loess Plateau of China: A meta-analysis // *Geoderma*, 2022, Volume 412, 115720, ISSN 0016-7061.
94. Yan, Y., Xin, X., Xu, X. et al. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China // *Plant Soil*, 2013, 369, 585–598.
95. Yesuph, A. Y. & Dagne, A. B, Soil erosion mapping and severity analysis based on RUSLE model and local perception in the Beshillo Catchment of the Blue Nile Basin, Ethiopia // *Environmental Systems Research*, 2019, 8, 1–21.
96. Yuchun Yan, Xiaoping Xin, Xingliang Xu, Xu Wang, Guixia Yang, Ruirui Yan & Baorui Chen. Quantitative effects of wind erosion on the soil texture and soil nutrients under different vegetation coverage in a semiarid steppe of northern China // *Plant and Soil*, 2013, Vol. 369, No. 1/2, 585-598 ref. 3
97. Zhidkin A., Gennadiev A., Fomicheva D., Shamshurina E., Golosov V. Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary // *Geoderma*. 2023. V. 430. P. 116322.

98. Zhidkin A., Fomicheva D., Ivanova N., Dostal T., Yurova A., Krasa J. A detailed reconstruction of changes in the factors and parameters of soil erosion over the past 250 years in the forest zone of European Russia (Moscow region) // Int. Soil Water Conservation Res. 2022. V. 10. P. 149–160.

**На вьетнамском языке:**

99. Báo cáo Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2030 của huyện Thanh Chương // Ủy ban nhân dân huyện Thanh Chương, 2021 (Отчет о планировании землепользования района Тхань Чуонг до 2030 года // Народный комитет района Тхань Чуонг, 2021).

100. Bùi Quang Toàn. Nghiên cứu đánh giá và quy hoạch sử dụng đất khai hoang ở Việt Nam // Đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ 02-15-02-01, Viện Quy hoạch và Thiết kế nông nghiệp, 1991, Hà Nội (Буй Куанг Тоан. Исследования по оценке и планированию мелиорированных земель во Вьетнаме // Научно-технологический исследовательский проект 02-15-02-01, Институт сельскохозяйственного планирования и проектирования, 1991, Ханой).

101. Đào Châu Thu, Báo cáo tổng kết Nghiên cứu bảo vệ đất đồi huyện Tam Nông // Dự án nghiên cứu bảo vệ đất đồi EU-BORASSUS 2005-2008, 2008, Hà Nội. (Дао Чау Ту, Краткий отчет об исследованиях по защите горных земель в районе Там Нонг // исследовательский проект ЕС-БОРАССУС по защите холмистых земель 2005-2008 гг., 2008, Ханой)

102. Dao, C.T. Đánh giá đất / C.T.Dao, K. Nguyen // Nhà xuất bản nông nghiệp, – 1998. – 144 pp (Dao Ч.Т. Оценка почвы/ Дао Ч.Т, К. Нгуен // Сельскохозяйственное издательство, – 1998. – 144 с.)

103. Đặng Quang Phán, Đào Châu Thu và Thân Thế Hùng, Kết quả nghiên cứu phủ thảm bện hữu cơ chống xói mòn đất đồi huyện Tam Nông, tỉnh Phú Thọ // Tạp chí Khoa học đất. 2008. số 29. (Данг Куанг Фан, Дао Чау Тху и Тан Хунг, Результаты исследований органических плетеных ковриков для предотвращения эрозии холмистой почвы в районе Там Нонг, провинция Фу Тхо // журнал Soil Science Magazine. 2008. № 29)

104. Emma Rochelle-Newall, Do Phai, Jean-Louis Janeau, Pascal Jouquet, Thierry Tureaux, Jean-Luc Maeght, Nguyen Phuong, Nguyen Thiet, Didier Orange, Pham Rin, Pascal Podwojewski, Olivier Ribolzi, Anneke Rouw, Norbert Silvera, Doan Thuy, Tran Tien, Tran Toan, Hai Tran và Christian Valentin, Kết quả hợp tác nghiên cứu về quản lý tài nguyên đất giữa Viện Nghiên cứu phát triển Pháp và Viện Thổ nhưỡng Nông hóa, Hội thảo quốc gia Đất Việt Nam - Hiện trạng sử dụng và thách thức // NXB Nông nghiệp, 2015, Hà Nội, tr. 266-273. (Emma Rochelle-Newall, Do Phai, Jean-Louis Janeau, Pascal Jouquet, Thierry Tureaux, Jean-Luc Maeght, Nguyen Phuong, Nguyen Thiet, Didier Orange, Pham Rin, Pascal Podwojewski, Olivier Ribolzi, Anneke Rouw, Norbert Silvera, Doan Thuy, Tran Tien, Tran Toan, Hai Tran và Christian Valentin, Результаты совместных исследований по управлению земельными ресурсами между Французским институтом исследований в области развития и Институтом агрохимических почв, Национальная почвенная конференция Вьетнама - Текущее состояние использования и проблемы // Сельскохозяйственное издательство, 2015, Ханой, с. 266-273)

105. Hà, N.M. Ứng dụng phương trình mất đất phổ dụng (USLE) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đánh giá xói mòn tiềm năng đất Tây Nguyên và đề xuất giảm thiểu xói mòn // Tạp chí Các khoa học về Trái đất, 12/2013, số 35(4), trang 403-410. (Ха, Н.М. Применение универсального уравнения потери почвы (USLE) и географической информационной системы (ГИС) для оценки потенциала эрозии почвы в Центральном нагорье и предложения мер по смягчению эрозии // Журнал наук о Земле, декабрь 2013 г., номер 35 (4), страницы 403–410.)

106. Hoàng Tiến Hà, Ứng dụng công nghệ hệ thống thông tin địa lý (GIS) để dự báo xói mòn đất tại huyện Sơn Động, tỉnh Bắc Cạn // Luận văn Thạc sĩ, 2009, Đại học Thái Nguyên, 75 trang. (Хоанг Тьен Ха, Применение технологии географической информационной системы (ГИС) для

прогнозирования эрозии почвы в районе Шон Донг, провинция Баккан // магистерская диссертация, 2009, Университет Тай Нгуен, 75 страниц.)

107. Lê Văn Khoa. Phương pháp phân tích đất, nước, phân bón, cây trồng // Nhà xuất bản Giáo dục Hà Nội, 2001. (Ле Ван Хоа. Методы анализа почвы, воды, удобрений и растений // Ханойское образовательное издательство, 2001.)

108. Le, Q.T. Đánh giá đất / Q.T. Le // Đại học Cần Thơ, – 1997. – 80 pp (Ле, К.Т. Оценка почвы/ К.Т. Ле// Университет Кантхо, – 1997. – 80 с.)

109. Nguyễn Đình Dũng, Nguyễn Cảnh Thái, Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Thái Hoàng, Nghiên cứu đặc điểm đất bồi lắng hồ chứa vừa và nhỏ ở Hà Tĩnh // Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 2020, số 60, pp. 99-105. (Нгуен Динь Зунг, Нгуен Кань Тай, Нгуен Конг Тханг, Нгуен Тай Хоанг, Исследование характеристик почвы малых и средних водоемов в Ха Тинь // Журнал ирригационной науки и техники, 2020, № 60, стр. 99-105)

110. Nguyễn Quang Mỹ, Bước đầu nghiên cứu xói mòn và thử nghiệm chống xói mòn đất Trung Du // Báo các hội nghị khoa học về sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường, 1983, Hà Nội, tr. 19 -23. (Нгуен Куанг Ми, Первоначальные исследования эрозии и испытания по предотвращению эрозии почвы в средней полосе // Отчет научных конференций по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды, 1983, Ханой, стр. 19 -23)

111. Nguyễn Tử Siêm, Thái Phiên, Đất đồi núi Việt Nam thoái hóa và phục hồi // NXB Nông nghiệp, 1999, Hà Nội (Нгуен Ту Сием, Тай Пьен, Деградация и восстановление горных земель Вьетнама // Ханойское сельскохозяйственное издательство, 1999)

112. Nguyễn Thị Mai Hương, Xây dựng bản đồ nguy cơ xói mòn đất và đề xuất mô hình sản xuất nông nghiệp hợp lý cho huyện Quản Bạ, tỉnh Hà Giang // luận văn thạc sĩ, 2019, Đại học Quốc gia Hà Nội. (Нгуен Тхи Май Хуонг, Построение карты риска эрозии почвы и предложение разумной модели сельскохозяйственного производства для района Куан Ба, провинция

Хазянг // магистерская диссертация, 2019, Ханойский национальный университет)

113. Nguyễn Trọng Hà. Xác định các yếu tố gây xói mòn và khả năng dự báo xói mòn trên đất dốc // Luận án tiến sỹ. 1996. Đại học Thủy lợi, Hà Nội. (Нгуен Чонг Ха. Выявление факторов, вызывающих эрозию, и возможность прогнозирования эрозии на склоновых землях // Докторская диссертация. 1996. Университет водных ресурсов, Ханой.)

114. Nguyễn Trọng Hà, Trần Minh Chính. Nghiên cứu hiệu chỉnh hệ số cây trồng (C) trong dự báo xói mòn đất sử dụng cho vùng núi phía Bắc Việt Nam // Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 2020, số 62. (Нгуен Чонг Ха, Чан Минь Чинь. Исследования по корректировке коэффициента урожая (C) при прогнозировании эрозии почвы для использования в горных районах Северного Вьетнама // Журнал ирригационной науки и технологий, 2020, № 62.)

115. Nguyễn Văn Dung, Trần Đức Viên. Ảnh hưởng của mưa và một số phương thức sử dụng đất đến xói mòn đất và thu nhập của người dân ở vùng đất dốc Tân Minh - Đà Bắc - Hoà Bình. Tạp chí Nông nghiệp và PTNT kỳ 1 tháng 12/2005, Tr 36-38. (Нгуен Ван Зунг, Чан Дык Вьен. Влияние дождя и некоторых методов землепользования на эрозию почвы и доходы населения на склонах Тан Минь – Да Бак – Хоа Бинь. Журнал сельского хозяйства и развития сельских районов, выпуск 1, декабрь 2005 г., стр. 36–38.)

116. Nguyễn Văn Khiết, Nghiên cứu xác định vai trò của một số yếu tố liên quan đến xói mòn đất ở nước ta // Tạp chí khoa học lâm nghiệp. 2014. 3145-3153 (Нгуен Ван Кхит, Исследования по определению роли некоторых факторов, связанных с эрозией почвы в нашей стране // Журнал лесоведения. 2014. 3145-3153)

117. Niên giám thống kê 2015 / Tổng cục thống kê Hà Nội – 2016– 948с. (Статистический ежегодник 2015 г. / Главное статистическое управление Ханоя – 2016– 948с.)

118. Niên giám thống kê 2016 / Tổng cục thống kê Hà Nội – 2017– 948с. (Главное статистическое управление Ханоя – 2017– 948с.)
119. Niên giám thống kê 2017 / Tổng cục thống kê Hà Nội – 2018– 1000с. (Главное статистическое управление Ханоя – 2018– 1000с.)
120. Phạm Ngọc Dũng., Nghiên cứu một số biện pháp chống xói mòn trên đất đỏ bazan trồng chè vùng Tây nguyên và xác định giá trị của các yếu tố gây xói mòn đất theo mô hình Wischmeier W. H and Smith D.D // Luận án Phó tiến sĩ khoa học Nông nghiệp. Hà Nội, 1991 (Фам Нгок Дунг., Исследование некоторых мер по предотвращению эрозии красной базальтовой почвы для выращивания чая в Центральном нагорье и определение значения факторов, вызывающих эрозию почвы в соответствии с моделью Вишмайера У.Х. и Смита Д.Д // Докторская диссертация по сельскохозяйственным наукам. Ханой, 1991 г.)
121. Trần Đức Toàn, Thái Phiên, Đỗ Duy Phái. Ảnh hưởng của biện pháp canh tác đến lượng đất xói mòn trong lưu vực. Tạp chí Khoa học đất 2005, số 21, Tr 172-177. (Чан Дык Тоан, Тхай Пьен, До Дуй Пхай. Влияние методов ведения сельского хозяйства на степень эрозии почв в бассейне. Журнал почвоведения 2005, № 21, стр. 172-177)
122. Trần Quốc Vinh, Nghiên cứu sử dụng Viễn thám (RS) và Hệ thống thông tin địa lý (GIS) để đánh giá xói mòn đất huyện Tam Nông tỉnh Phú Thọ // Luận án Tiến sĩ, 2012, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội, Hà Nội. (Чан Куок Винь, Исследование по использованию дистанционного зондирования (ДЗ) и географической информационной системы (ГИС) для оценки эрозии почвы в районе Там Нонг, провинция Фу Тхо // докторская диссертация, 2012, Сельскохозяйственный университет Хазянг Ной, Ханой).
123. Trần Trọng Phương, Ngô Thanh Sơn, Trần Văn Khải, Nguyễn Khắc Việt Ba. Đánh giá tình hình quản lý, sử dụng đất nông nghiệp phục vụ công tác quy hoạch sử dụng đất huyện Diên Châu, tỉnh Nghệ An // Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2021 (Чан Чонг Фуонг, Нго Тхань Сон, Чан Ван Кхай, Нгуен Хак Вьет Ба. Оценка ситуации с управлением и использованием сельскохозяйственных земель для планирования землепользования в районе Дьен Чау, провинция Нгеан // Журнал сельского хозяйства и развития сельских районов, 2021 г.)

124. Võ Đại Hải. Nghiên cứu cấu trúc rừng phòng hộ đầu nguồn ở Việt Nam // Luận án tiến sĩ khoa học nông nghiệp. 1996. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam. (Во Дай Хай. Исследование структуры водораздельных защитных лесов Вьетнама // Докторская диссертация по сельскохозяйственным наукам. 1996. Вьетнамская академия лесных наук).
125. Vũ Anh Tuấn, Nghiên cứu biến động hiện trạng lớp phủ thực vật và ảnh hưởng của nó tới quá trình xói mòn lưu vực sông Trà Khúc bằng phương pháp Viễn Thám và Hệ thống tin địa lý // Luận án tiến sĩ địa lý, 2004, Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội. (Ву Анх Туан, Исследование изменений состояния растительного покрова и его влияния на процесс эрозии бассейна реки Тра Хук с использованием методов дистанционного зондирования и географической информационной системы // докторская диссертация по географии, 2004, Университет естественных наук, Ханойский национальный университет. Ханой.)
126. Vũ Thị Thuý, Nguyễn Việt Tuấn, Phạm Thị Hương Lan. Ứng dụng phương trình USLE và GIS xây dựng bản đồ xói mòn đất khu vực Tây Nguyên // Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 2019, số 66 (Ву Тхи Туý, Нгуен Вьет Туан, Фам Тхи Хуонг Лан. Применение уравнений USLE и ГИС для построения карт эрозии почвы в Центральном высокогорье // Журнал ирригации и экологии, Технологии, 2019, № 66)
127. Zakharov và Ngô Quốc Trân dịch, Xói mòn đất và các biện pháp phòng chống // Nhà xuất bản Nông nghiệp, 1981, Hà Nội. (Zakharov и Нго Куок Тран, Эрозия почвы и меры по ее предотвращению // Сельскохозяйственное издательство, 1981, Ханой.)
128. Nguyễn Xuân Quát. Kinh tế hộ gia đình ở miền núi, sử dụng đất dốc bền vững // Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội, 1994 (Нгуен Суан Кват. Экономика домохозяйств в горных районах, устойчивое использование склоновых земель // Ханойское сельскохозяйственное издательство, 1994.)

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Приложение 1: Краткое изложение исследований эрозии с использованием модели универсального уравнения потерь почвы

номер	Автор	Место исследования	R - фактор	K - фактор	LS - фактор	C - фактор	P - фактор
1	David (1988)	Многие бассейны на Филиппинах (Philippines)	Mihara (1951) и Hudson (1971)	Wischmeier и Mannering (1969)	Madarcos (1985) и Smith и Whitt (1947)	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы
2	Eiumnoh (2000)	Бассейн Сакаэ Кранг (Таиланд) (Sakaе Krang basin (Thailand))	El-Swaify и др (1987); Merritt (2004)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
3	Fernandez и др (2003)	Юристы Крик Бассейн (Lawyers Creek (USA))	USDA-ARS (2002)	По данным SSURGO (Министерство Сельское хозяйство США (USDA))	Способ зонирования склона и местности	Используйте данные из программы RUSLE	Использование данных из программного обеспечения (RUSLE software)
4	Merritt и др (2004)	Бассейн Мэй Чем (Mae Chem (Thailand))	El-Swaify и др. (1987) цитирует Мерритта и др. (2004)	Наследование предыдущих исследований в той же области	По модельному методу USLE	Наследование предыдущих исследований в той же области	Наследование предыдущих исследований в той же области
5	Post и Hartcher (2005)	Бассейн Мэй Чем (Mae Chem (Thailand))	El-Swaify и др. (1987) цитируется Merritt и др. (2004)	Наследование предыдущих исследований в той же области	L=1 S=: взято из цифровой модели рельефа DEM.	Наследование предыдущих исследований в той же области	Нет оценки P=1

номер	Автор	Место исследования	R - фактор	K - фактор	LS - фактор	C - фактор	P - фактор
6	Dumas и Fossey (2009)	Остров Эфате (Efate Island (Vanuatu))	Roose (1975) и Morgan (1974) цитируется Morgan (2005)	По модельному методу USLE	По методу модели USLE по значению пикселя	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
7	Adornado и др (2009)	REINA (Philippines)	El-Swaify и др (1987) как указано в Merritt и др 2004)	Используйте таблицу Stewart et al. (1975)	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
8	Schmitt (2009)	Остров Негрос (Negros Island (Philippine))	По методу коррекции RUSLE	По модельному методу USLE	По методу модели USLE по значению пикселя	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследование предыдущих исследований в той же области
9	Jayasinghe и др (2010)	Nuwaraeliya (Sri Lanka)	El-Swaify и др (1987) как указано в Merritt и др 2004)	Используйте таблицу Stewart и др (1975)	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
10	Jain и Das (2010)	Jharkhand (India)	Ram и др (2004) цитируется Jain и Das (2010)	По модельному методу USLE	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
11	Adornado и др Yoshida (2010)	Bukidnon (Philippines) и REINA (Philippines)	El-Swaify и др (1987) цитируется Merritt и др. (2004)	Используйте таблицу Stewart и др. (1975))	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
12	Boyle и др (2011)	California (USA)	Наследование предыдущих исследований	Наследование предыдущих исследований	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
13	Chen и др. (2011)	Бассейн Сянси (Xiangxi (China))	Wischmeier и Smith (1978)	Williams и Renard (1983)	Способ зонирования склона и местности	Использование NDVI (ГИС)	Нет оценки P=1
14	Demirci и Karaburun (2012)	Бассейн Бююкчекмедже (Büyükçekmece)	Arnoldus (1980)	орри и др. (1997) уравнение	Способ зонирования склона и местности	Использование NDVI (ГИС)	Нет оценки P=1

номер	Автор	Место исследования	R - фактор	K - фактор	LS - фактор	C - фактор	P - фактор
15	Nontananandh и Changnoi (2012)	Бассейн Сонгкрам (Songkhram) (Thailand)	Стоимость от отдела землеустройства (2000)	Стоимость от отдела землеустройства (2000)	По методу коррекции RUSLE	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
16	Ozsoy и др (2012)	Мустафакемальпа-ша-Басин (Mustafakemalpaşa (Turkey))	Наследование предыдущих исследований в той же области	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
17	Delgado и Canters (2012)	Claveria (Philippines)	Shamshad и др. (2008)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	По словам Дэвида (1988 г.) David (1988)
18	Hernandez и др (2012)	Pagsanjan (Philippines)	El-Swaify и др (1987) как указано в Merritt и др 2004)	Wischmeier и Mannering (1969)	Уравнения в SedNet	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
19	Sinha и Joshi (2012)	Maharashtra (India)	Roose (1975)	По модельному методу USLE	Morgan (1986)	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследуйте коэффициент в универсальном уравнении потери почвы.
20	Nigel и Rughooputh (2012)	Mauritius	Arnoldus (1980) цитируется Le Roux и др (2005)	Из предыдущих исследований	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы
21	Životić и др (2012)	Нишавский бассейн (Nišava) (Serbia)	Wischmeier и Smith (1978)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Использование NDVI (ГИС)	Нет оценки P=1

номер	Автор	Место исследования	R - фактор	K - фактор	LS - фактор	C - фактор	P - фактор
22	Rozos и др (2013)	Остров Эвбея (Euboea Island (Greece))	Flabouris (2008)	По геохимическим характеристикам	Morgan (1986)	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
23	Bagherzadeh (2014)	Mashhad plain (Iran)	Wischmeier и Smith (1978)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE		Нет оценки P=1
24	Ferreira и Panagopoulos (2014)	Alqueva (Portugal)	Похожий на Loureiro и Coutinho (2001)	По модельному методу USLE	Способ зонирования склона и местности	Использование NDVI (ГИС)	Нет оценки P=1
25	Li и др (2014)	Guangdong (China)	Zhou и др. (1995)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Использование NDVI (ГИС)	1 для пустырей и застроенных территорий, 0,5 для лесов, 0,2 для садовых земель, 0,35 для пахотных земель.
26	Zakerinejad и Maerker (2015; sử dụng USPED, như thành phần của USLE)	Mazayjan (Iran)	Ferro и др (1991); Renard и Freimund (1994); Sadeghifard и др (2004)	По модельному методу USLE	Уравнение USPED	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
27	Jahun и др (2015)	Crete (Greece)	Fu и др (2006)	По модельному методу USLE	Способ зонирования склона и местности	Использование NDVI (ГИС)	Наследование предыдущих исследований в той же области

номер	Автор	Место исследования	R - фактор	K - фактор	LS - фактор	C - фактор	P - фактор
28	Farhan и Nawaiseh (2015)	Wadi Kerak (Jordan)	Eltaif и др (2010)	По модельному методу USLE	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы
29	Panagos и др (2015)	Europe	Калькулятор осадков (RIST)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы
30	Russo (2015)	Brunei Darussalam	Rosewell и Turner (1992)	Rosewell (1997)	Согласно методу модели RUSLE	На основе поверхностных покрытий	Нет оценки P=1
31	Nakil и Khire (2016)	Gangapur (India)	Nakil (2014)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы
32	Raissouni и др (2016)	Smir Dam (Morocco)	Аналогично методу Арнольдуса (Arnoldus (1980))	Merzouk (1985)	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
33	Fernandez и Daigneault (2016)	Waikato (New Zealand)	Институт водных исследований (2015)	Dymond et al. (2010)	Способ зонирования склона и местности	Оценка от 1 (древесные растения) до 10 (травы и голая почва)	

номер	Автор	Место исследования	R - фактор	K - фактор	LS - фактор	C - фактор	P - фактор
34	Duarte и др. (2016)	Montalegre (Portugal)	Loureiro и Coutinho (2001)	По модельному методу USLE	По модельному методу USLE	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы
35	B.P. Ganasri, H. Ramesh (2016)	Nethravathi Basin	Wischmeier и Smith (1978)	Wischmeier и Smith (1978)	Wischmeier и Smith (1978)	Karaburun (2010)	Нет оценки P=1
36	Gaubi и nnk. (2017)	Lebna (Tunisia)	Rango и Arnoldus (1987)	По модельному методу USLE	Способ зонирования склона и местности	Наследуйте фактор C в универсальном уравнении потери почвы	Нет оценки P=1
37	Avijit Mahala (2018)	Район на окраине плато тропической среды: бассейн БКангсабати.	Renard и Freimund (1994)	Beskow et al. 2009	Ganasri и Ramesh (2015)	Pandey and Chowdary (2007)	Pandey и Chowdary (2007)
38	Tran Thi An (2022)	Город Дананг, Вьетнам.	Ha, N.T. 1996	Наследование предыдущих исследований в той же области	Mitasova, H.; Hofier, J.; Zlocha, M.; Iversen 1996	De Jong, S.M (1994)	Нет оценки P=1
39	Allafta, H.; Opp, C (2022)	Бассейн Шатт-эль-Араб (Ирак-Иран)	Choudhury, M.K.; Nayak, T. (2003)	Stone, R.P.; Hilborn, D. Fact Sheet (2000)	Moore, I.D.; Burch, G.J. (1986)	Swarnkar, S.; Malini, A.; Tripathi, S.; Sinha, R (2018)	Wener (1981)

## Приложения 2: Точки проверки для классификации эрозии почв

	Код	Имя_класса	Долгота	Широта	Коммуна	Изображение
1	TT1_1	Эрозия 1 уровня	105°14'53.14"E	18°36'45.88"N	Тхань Туй	
2	TT1_2	Эрозия 1 уровня	105° 3'0.03"E	18°48'57.38"N	Тхань Дык	
3	TT1_3	Эрозия 1 уровня	105°23'10.39"E	18°42'57.01"N	Тхань Лонг	
4	TT1_4	Эрозия 1 уровня	105°27'5.40"E	18°41'39.92"N	Тхань Кхай	

5	TT1_5	Эрозия 1 уровня	105°17'35.06"E	18°53'0.75"N	Кат Ван	
6	TT2_1	Эрозия 2 уровня	105°17'24.12"E	18°52'15.92"N	Кат Ван	
7	TT2_2	Эрозия 2 уровня	105°25'9.06"E	18°37'12.24"N	Тхань Суан	
8	TT2_3	Эрозия 2 уровня	105°32'26.71"E	18°36'36.02"N	Тхань Лам	

9	ТТ2_4	Эрозия 2 уровня	105°12'34.08"E	18°52'6.38"N	Тхань Нхо	
10	ТТ2_5	Эрозия 2 уровня	105°20'48.73"E	18°44'27.89"N	Тхань Чи	
11	ТТ3_1	Эрозия 3 уровня	105°27'12.40"E	18°40'32.51"N	Тхань Лам	
12	ТТ3_2	Эрозия 3 уровня	105°18'30.39"E	18°43'42.32"N	Нгок Лам	

13	ТТ3_3	Эрозия 3 уровня	105°11'58.27"E	18°48'58.02"N	Хань Лам	
14	ТТ3_4	Эрозия 3 уровня	105°14'10.10"E	18°48'50.95"N	Тхань Лиен	
15	ТТ3_5	Эрозия 3 уровня	105°27'46.17"E	18°38'43.06"N	Тхань Лам	
16	ТТ4_1	Эрозия 4 уровня	105°16'56.52"E	18°39'44.65"N	Тхань Тхуй	

17	ТТ4_2	Эрозия 4 уровня	105° 4'58.89"E	18°52'42.06"N	Тхань Дык	
18	ТТ4_3	Эрозия 4 уровня	105° 8'2.28"E	18°48'18.29"N	Хань Лам	
19	ТТ4_4	Эрозия 4 уровня	105°12'42.84"E	18°51'30.88"N	Тхань Нхо	
20	ТТ4_5	Эрозия 4 уровня	105° 8'17.42"E	18°44'41.28"N	Тхань Дык	

21	ТТ5_1	Эрозия 5 уровня	105°13'6.64"E	18°42'30.39"N	Тхань Тхинь	
22	ТТ5_2	Эрозия 5 уровня	105°20'39.20"E	18°37'36.76"N	Тхань Ха	
23	ТТ5_3	Эрозия 5 уровня	105°20'44.01"E	18°37'17.78"N	Тхань Май	
24	ТТ5_4	Эрозия 5 уровня	105°16'55.60"E	18°41'2.17"N	Тхань Тхуй	

25	TT5_5	Эрозия 5 уровня	105°12'59.08"E	18°45'42.41"N	Нгок Лам	
----	-------	-----------------	----------------	---------------	----------	---

### Приложения 3: Точки исследований для классификации покрова почв

Код	Имя_класса	Долгота	Широта	Коммуна	Изображение
MGI-1	Естественный лес	105°16'54"	18°38'15"	Тхань Тхуй	
MGI-2	Посаженные леса	105°21'24"	18°39'8"	Тхань Тунг	
MGI-3	Многолетние растения	105°4'21"	18°49'50"	Тхань Дык	

MGI-4	однолетние растения	105°18'34"	18°41'40"	Тхань Тхуй	
MGI-5	Другая земля	105°22'1.36"	18°48'54.14"	Тхань Фонг	
MGI-6	Вода	105°22'18"	18°38'47"	Тхань Май	

**Приложения 4: Изображения эрозии почвы на исследуемой территории**



