

СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Мендель Вадим Павлович

УДК 528.4

ДИСЕРТАЦІЯ
**Фотограмметричне та картографічне
забезпечення оцінки стану ерозійних процесів
(на прикладі Волинського Опілля)**

Спеціальність 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія
193 – Геодезія та землеустрій

Подається на здобуття наукового ступеня: кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело, які приведені в списку використаних джерел.

Науковий керівник: Мельник Володимир Миколайович
доктор технічних наук, професор

Луцьк – 2018

АНОТАЦІЯ

Мендель В.П. Фотограмметричне та картографічне забезпечення оцінки стану ерозійних процесів (на прикладі Волинського Опілля). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.24.01 „Геодезія, фотограмметрія та картографія” (193 – Геодезія та землеустрій). – Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк; – Національний університет „Львівська політехніка”, Львів, 2018.

З часу набуття Україною незалежності спостерігаються тенденції до земельно-правових реформ в організації земельного фонду. При такому підході є необхідним вдосконалення системи землеустрою: оптимальний поділ земельного фонду, формування екологічно збалансованих агроландшафтів. Відповідно першочерговою задачею є поглиблений аналіз і класифікація методів визначення і запобігання проявів ерозійних процесів (водної, вітрової, іригаційної тощо), встановлення домінуючих факторів для конкретного регіону.

В першому розділі дисертаційної роботи даний ґрунтовний аналіз і класифікація математичних моделей та методів дослідження водної ерозії, встановлені домінуючі фактори їх прояву, обґрунтовані критичні тенденції динаміки площинної ерозії ґрунтового покриву для конкретних регіональних умов півдня Волині. Зроблено акцент на вдосконаленні методів дослідження водної ерозії з застосуванням короткобазисної фотограмметрії (КБФ) та растрової електронної мікроскопії (РЕМ).

В другому розділі обґрунтована доцільність використання фотограмметричних методів дослідження площинної ерозії та властивостей ґрунтів як оперативного аналогу відповідних класичних досліджень (короткобазисна фотограмметрія – стокові майданчики, РЕМ-мікроскопія – ґрунтознавчі дослідження).

Перспективність застосування КБФ у ерозієзнавстві підтверджують дослідження проф. Глотова В.М. та доц. Процика М.Т. На відміну від їх досліджень нами запропоновано модифікований варіант цього методу через

незначну репрезентативність, зокрема, для визначення об'ємів змитого ґрунту в межах площадок розміром 1×1 м – елементарних стокових майданчиках. Проте метод КБФ має низку переваг: метод вирізняється оперативністю (швидкість встановлення обладнання на схилі до 10 хв), точністю отриманих об'ємів (в межах 2 %) та практичністю похідного використання отриманих результатів (визначення параметрів R-функцій).

Запропонована нами модифікація має оригінальну методику визначення параметрів математичних моделей змиву – субмоделей на основі R-функцій. Пошук невідомих параметрів, як правило, знаходять на основі використання багаторічних статистичних даних, що не завжди відповідає змінним умовам домінуючих факторів ерозії. Нами запропоновано здійснювати визначення основних параметрів R-функцій шляхом використання натурних спостережень, отриманих за методом короткобазисної фотограмметрії. Комп'ютерна інтерпретація запропонованих алгоритмів покладена в основу створеного програмного модулю „EROSION”. Достовірність визначення параметрів R-функцій ($\alpha_j, a_j, b_j, c_j, d_j$) в межах 5-8%.

В третьому розділі запропоновано удосконалену методику морфологоспектрального аналізу зразків ерозійно-небезпечних зразків ґрунту з використанням ентропійного підходу. Така методика є новаторською і потребує подальших досліджень.

Важливим фактором ерозійних процесів є поровий простір та гранулометрія орного шару ґрунтів. Нами розроблено нестандартну методику вивчення порового простору ерозійно піддатливих ґрунтів засобами РЕМ-мікроскопії. В результаті растрово-електронно-мікроскопічних і лабораторних досліджень отримані конкретні рівняння регресій та кореляційних залежностей загальної пористості типових ґрунтів Волинського Опілля: чорноземів та дерново-підзолистих ґрунтів. Досліджувані параметри властивостей ґрунту отримані за оригінальною методикою (без використання загально вживаних ситових підходів в ґрунтознавстві). Знайдені параметри (коефіцієнт порового простору, площа та периметр пор) використані при розробці ґрунтознавчо-

гранулометричної моделі водної ерозії ґрунту. Результати проведених досліджень підтвердили важливість морфологічних характеристик ґрунтів. Точність верифікації моделі порядку 85%.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений розробці оригінальної методики комплексного картографічного відображення ерозійного стану земель регіонального рівня із застосуванням карт пластики рельєфу. Вперше у вітчизняній практиці ерозієзнавчих досліджень проведено теоретичне обґрунтування та розроблено алгоритми побудови цілої серії тематичних карт (з різнотипових за морфометричною структурою картографічні моделі), які за своєю суттю є піонерськими у вітчизняній тематичній картографії. Різнопланова практична апробація теоретико-експериментальних досліджень здійснена на дослідному полігоні – комплексному регіональному геостаціонарі площею 450 га.

Нами розроблено програмний модуль побудови анаморфованих картографічних зображень. Обґрунтовано доцільність, ефективність та перспективність використання тематичних анаморфованих карт для забезпечення моніторингових досліджень динаміки ерозійних процесів в межах шести південних районів Волинського Опілля. Запропоновано використовувати розроблений програмний модуль побудови анаморфованих картографічних зображень інтегрований у середовище геоінформаційної системи ArcGIS.

Нами розроблено алгоритм використання запропонованих в дисертації методів під час розробки рекомендацій до впровадження комплексних протиерозійних заходів. Запропонована сучасна концепція поетапних модифікацій з підбирання коефіцієнтів дозволяє оперативніше реагувати на зміни інтенсивності змиву, з високою вірогідністю прогнозувати (близько 90%) та, відповідно, спрогнозувати розвиток деградації ґрунтового покриву, значно поліпшивши екологічний стан довкілля на регіональному рівні. Запропонований комплексний підхід дозволяє формувати екологічно збалансовані агроландшафти на регіональному рівні.

Ключові слова: наземне стереофотограмметричне знімання, R-функція, ґрунтознавчо-гранулометрична модель, РЕМ-мікроскопія; стереолого-

планіметричний аналіз, карти пластики рельєфу, анаморфовані картографічні зображення.

SUMMARY

Mendel V.P. Photogrammetric and Cartographical Appraisal Appliance of Erosion Processes Condition (using the example of Volyn Opillya). – Qualifying research paper manuscript copyright.

Thesis for a candidate degree (PhD) on specialty 05.24.01 “Geodesy, Photogrammetry and Cartography” (193 – Geodesy and Land arrangement). – Lesya Ukrainka Eastern European University, Lutsk; – National University “Lviv Politechnic”, Lviv, 2018.

Since Ukraine gained its independence, there are tendencies to land legal reforms in the organization of land. This approach is necessary to improve the system of land arrangement: the optimum division of the land fund, the formation of ecologically balanced agricultural landscapes. Accordingly, primary objective is thorough analysis and classification of methods for determining and preventing erosion processes (water, wind, irrigation, etc.), the establishment of the dominant factors for a particular region.

In the first chapter of the thesis is given detailed analysis and classification of mathematical models and methods of study water erosion, established the dominant factor in their manifestation, and substantiated the critical trends in dynamics of the areal soil erosion for specific regional conditions at the south of Volyn. The focus is made on improving methods for the study of water erosion using short basic photogrammetry (SBP) raster electron microscopy (REM).

In the second chapter it is proved the feasibility of using photogrammetric methods of investigation of areal erosion and soil properties as appropriate analogue of corresponding classical studies (short basic photogrammetry – water harvesting catchment, REM-microscopy – soil science research).

The promising outlook of SBP using in the erosion study is confirmed by the researches of prof. Hlotov V.M. and ass. prof. Protsyk M.T. Unlike their researches we proposed a modified version of this technique through a small representation, in particular for determining the volume of soil washed off within areas 1×1 m – elementary water harvesting catchment. However SBP method has several advantages:

method has operational efficiency (speed of equipment installation on a slope up to 10 minutes), accuracy of the volume (within 2%) and practicality original exploitation of results (determining the parameters of R-functions).

The proposed modification has an original method for determining the parameters of mathematical models flushing – submodels based on R-functions. Search of the unknown parameters are typically based on the use of long-term statistical data that does not always coincide with changing conditions of erosion dominating factors. We suggested to carry out the basic parameters of determining the R-functions using field observations obtained by short base photogrammetry. Computer interpretation of proposed algorithms was founded into created software module “EROSION”. The reliability of determining the R-function parameters ($\alpha_j, a_j, b_j, c_j, d_j$) is within 5-8%.

In the third chapter we proposed an improved method of morphological-spectral analysis of samples from erosion-dangerous soil samples using entropy approach. This technique is innovatory and requires further research.

An important factor of erosion process is nonsolid space and tilth-top soil granulometry. We have developed an unusual method of nonsolid space studying of erosion compliant means by REM-microscopy. As a result, through raster-electron microscopic and laboratory tests we obtained specific regression equations and correlation dependencies of total soil porosity typical at Volyn Opillya, black soil and mulch-podzol soils. Investigated parameters of soil properties obtained by the original method (without using commonly used approaches in soil science). Found parameters (coefficient of pore space, area and perimeter of pore spaces) are used in the development of soilstudying-granulometric model of soil water erosion. The studies have confirmed the importance of morphological characteristics of the soils. Model accuracy verification is close to 85%.

The fourth chapter of the thesis is devoted to the development of the original complex methods of cartographic mapping of soil erosion on regional level using maps of plastic relief. For the first time in domestic erosion studies the theoretical basis and algorithms it was developed a series of thematic maps (3 different types according to morphometric structure of mapping model), which is essentially a pioneer in the national

thematic cartography. Diverse practical testing of theoretical and experimental studies was carried out on the ground research – integrated regional geostation area of 450 hectares.

We developed a software module of anamorphic geographical presentation building. It was established the expediency, efficiency and perspectives of thematic anamorphic maps to ensure monitoring studies of the dynamics of erosion processes within six southern districts of Volyn Opillya. A designed software module was proposed to use in constructions of anamorphic cartographic images integrated into the geographic information environment system ArcGIS.

We have developed an algorithm of using in the thesis proposed methods when developing recommendations to implement comprehensive anti-erosion measures. The proposed modern concept of incremental modifications of the matching ratios allows responding to changes in the intensity of flushing, to predict with high probability (nearly 90%) and thus predict the development of soil degradation, greatly improving the ecological environment at the regional level. The proposed integrated approach allows creating the environmentally balanced agricultural landscapes at the regional level.

Key words: land stereophotogrammetric recording, R-function, soil studying-granulometric model, REM-microscopy; stereological-planimetric analysis, plastic relief maps, anamorphic cartography images.

Список публікацій здобувача

Публікації в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Мельник В. М. Морфолого-спектральна оцінка параметрів гідромеханічної моделі ерозії ґрунту / В. М. Мельник, В. П. Мендель, В. Ф. Радзій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва – 2012. – № I (23) – С. 188-192.

2. Мельник В. М. Дискретна оцінка площинної ерозії методами короткобазисної фотограмметрії / В. М. Мельник, В. П. Мендель // Інженерна геодезія: науково-технічний збірник. 2014. – №61 – С. 92-101.

3. Мельник В. М. Ентропійна концепція визначення рівнів ерозії ґрунту за даними РЕМ-мікроскопії / В. М. Мельник, В. П. Мендель, В. Л. Расюн // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 6. – С. 11-16.

4. Мендель В.П. Застосування методів математичної морфології при дослідженні ерозійних процесів за матеріалами аерофотозйомки / В.П. Мендель // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2017. – Вип.85. – С.83-92.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Мельник В. Деякі питання ідентифікації моделей водної та вітрової ерозії / В. Мельник, В. Радзій, В. Мендель // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва – 2013. – № I (25) – С. 139-144.

2. Мельник В. Математичний формалізм трансформації радіоекологічного стану території із застосуванням матриць Маркова і РЕМ-мікроскопії / В. Мельник, Ю. Бліндер, В. Мендель // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. – 2014. – 2(4), Issue 32. – P. 42-48.

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

1. Король П. П. Аналіз та класифікація моделей площинного змиву ґрунту / П. П. Король, В. П. Мендель // Вісник НУВГП – 2012. – №1 (57) – С. 155-164.

2. Мендель В.П. Деякі питання дослідження ерозійно – трансформованих земель півдня Волині / В.П. Мендель // V Міжнародна науково-практична конференція студентів і аспірантів «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень». – Луцьк. – 2011. – С.222-223.

3. Мендель В.П. Апробація моделей ерозії ґрунту за топографічним фактором / В.П. Мендель // VI Міжнародна науково-практична конференція студентів і аспірантів «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень». – Луцьк. – 2012. – С.80-82.

4. Мендель В.П. Картографування сільськогосподарських земель в умовах прояву водної ерозії / В.П. Мендель // Вісник НУВГП – 2013. – №3 – С. 41–42.

ЗМІСТ	
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ЕРОЗІЄЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕГІОНАЛЬНИХ АСПЕКТІВ СУЧАСНОГО СТАНУ ЕРОДОВАНОСТІ ЗЕМЕЛЬ ВОЛИНСЬКОГО ОПІЛЛЯ.....	19
1.1. Аналіз і класифікація методів, моделей площинної ерозії та їх картографічного супроводу.....	20
1.2. Сучасний стан і тенденції прояву ерозійних процесів для умов Волинського Опілля.....	29
1.3.Методологічні основи дослідження ерозійних процесів для умов Волинського Опілля.....	34
1.3.1. Умови виникнення водної ерозії	35
1.3.2. Вибір модельного об'єкту досліджень	43
Висновки до розділу 1.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ У РОЗДІЛІ 1.....	46
РОЗДІЛ 2. ФОТОГРАММЕТРИЧНІ ПІДХОДИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ТА ТЕОРЕТИКО-ЕМПІРИЧНА ОЦІНКА ПЛОЩИННОГО ЗМИВУ ҐРУНТУ.....	56
2.1. Фотограмметричне забезпечення ерозієзнавчих досліджень.....	56
2.2. Дискретна оцінка площинної ерозії методом короткобазисної фотограмметрії – метод елементарних стокових майданчиків.....	62
2.3. Ідентифікація параметрів математичних моделей ерозійно- небезпечного ґрунту.....	70
2.3.1. Теоретичні аспекти порівняльного аналізу апроксимуючих функцій.....	70
2.3.2. Моделювання R-функціями основних чинників водної ерозії.....	73
Висновки до розділу 2	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ У РОЗДІЛІ 2.....	81
РОЗДІЛ 3. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ МОРФОЛОГО-МОРФОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТИПОВИХ ҐРУНТІВ ВОЛИНСЬКОГО ОПІЛЛЯ ТА ҐРУНТОЗНАВЧО- ГРАНУЛОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ.....	84

3.1. Растрово-електронно-мікроскопічні дослідження властивостей ерозійно небезпечних ґрунтів.....	84
3.2. Морфолого-ентропійні ерозієзнавчі дослідження за даними РЕМ-мікроскопії.....	90
3.2.1. Суть морфолого-спектрального аналізу.....	90
3.2.2. Ентропійна концепція площинної ерозії ґрунту.....	95
3.3. Ґрунтознавчо-гранулометрична модель водної ерозії для умов Волинського Опілля.....	101
3.3.1. Встановлення залежностей фізико-механічних властивостей зразків ґрунту і планіметричних даних РЕМ-мікроскопії.....	101
3.3.2. Моделювання гранулометричної складової процесу ерозії.....	108
Висновки до розділу 3.....	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ У РОЗДІЛІ 3.....	114
РОЗДІЛ 4. КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ЕРОЗІЄЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	116
4.1. Локальні дослідження рельєфу комплексного регіонального геостаціонару картометричним методом.....	116
4.1.1. Системний аналіз досліджуваного рельєфу комплексного регіонального геостаціонару за допомогою програмних пакетів ГІС.....	121
4.1.2. Застосування методу карт пластики рельєфу для виділення ерозійно-небезпечних частин дослідної ділянки.....	124
4.1.3. Математико-морфологічний підхід при дослідженні ерозійних процесів	131
4.2. Регіональні дослідження ерозії земель півдня Волині.....	137
4.2.1. Моделювання існуючого та прогнозного стану розвитку водної ерозії.....	138
4.2.2. Синтетичне анаморфоване картографування	140
4.3. Етапи вивчення площинної ерозії та оптимізація землекористування. Рекомендації.....	144
Висновки до розділу 4.....	150
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ У РОЗДІЛІ 4.....	151
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	155
ДОДАТКИ.....	158

Перелік умовних позначень

- АКФ – автокореляційна функція
- ЕГЧ – елементарні ґрунтові частки
- ЕНР – ерозійний потенціал рельєфу
- ЕСМ – елементарні стокові майданчики
- ДЗЗ – дистанційне зондування землі
- КБФ – короткобазисна фотограмметрія
- КРГ – комплексний регіональний геостаціонар
- МНК – метод найменших квадратів
- ПЗ – програмне забезпечення
- ПЛС – польовий локальний стаціонар
- РЕМ – растрова електронна мікроскопія
- РЗ – розрізнявальна здатність
- УЗГ – універсальний зональний геостаціонар
- ЦМР – цифрова модель рельєфу
- ЦММР – цифрова модель мікрорельєфу
- ЦФС – цифрова фотограмметрична станція

Вступ

Актуальність теми дослідження. Процес ерозії ґрунтів як результат дії природно-антропогенних чинників, що спричиняє деградацію родючого шару, завдає значних екологічних і економічних збитків. Надмірно інтенсивне використання орних земель на схилах призводить до порушення екологічно збалансованого співвідношення площ ріллі, природних кормових угідь, лісів та водойм. Це негативно позначилося на стійкості агроландшафтів і зумовило значне техногенне навантаження на екосферу.

Висока розораність, схиловий рельєф, фізико-механічні характеристики ґрунтів та відсутність протиерозійних заходів призвели до того, що в Україні процеси водної та вітрової ерозії проявляються на площі близько 12,5 млн га, де в кожній ґрунтово-кліматичній зоні є значна частина еродованих земель (Полісся – 1,5 млн га, Лісостеп – 4,5 млн га, Степ – 6,5 млн га). Важливим чинником виникнення змиву є морфометричні характеристики рельєфу. В зоні лісостепу один із найвищих показників використання ерозійно-небезпечних схилів, які використовуються при веденні сільського господарства (76 %).

Сьогодні дослідження, які пов'язані з аналізом, класифікацією форм та моделюванням рельєфу є визначальним елементом геологічних, ґрунтових та ерозієзнавчих досліджень. Параметри рельєфу є об'єктом сучасних морфометричних досліджень. Карти горизонтальної, вертикальної, Гауссової та акумуляційної кривин відіграють важливу роль у прикладних морфометричних дослідженнях. Розробкою класифікації морфометричних величин, їх описом та знаходженням алгоритмів розрахунку ґрунтово займався П. Шарий [1]; питанням впливу морфометрії рельєфу на вологість ґрунтів присвячені праці І. Флоринського [2], Є. Романової [3]; кількісному аналізу морфології земної поверхні та принципам дешифрування дистанційних матеріалів для геоморфологічних досліджень, що є базовими принципами сучасного технологічного рішення використання даних супутникових систем, присвячені роботи А. Ласточкина, Д. Лопатіна [4], І. Черваньова [5], Г. Байрак [6],

М. Процика [7]; детальною оцінкою рельєфу шляхом порівняння серії морфометричних картосхем з картосхемою поширення еродованих ґрунтів, що дає змогу отримувати кількісні показники розвитку ерозійно-аккумулятивних процесів, характеризується науковий доробок І. Ковальчука [8]; Р. Рудим [9] запропоновано методи пошуку структурних форм рельєфу, використання яких при моделюванні змивних процесів дають змогу отримувати показники об'ємів змиву, числові значення яких відповідають натурним спостереженням.

Проте наявність значної фактичної бази напрацювань у питаннях морфометрії не вирішує існуючих проблем, пов'язаних із дослідженням ерозійних процесів. Оскільки встановлення характеристик основних факторів, які визначають інтенсивність ерозійного процесу залежить від масштабу виконуваних досліджень. Це, насамперед, пояснюється технічною можливістю фіксування таких властивостей на різних рівнях досліджень [7; 8; 9]. Водночас при моделюванні водної ерозії мало уваги приділяється ґрунту як головному об'єкту змиву. З метою усунення даних недоречностей нами пропонується розв'язання таких концептуальних напрямків дисертаційної роботи:

- пошук універсальних способів отримання інформації про об'єкт дослідження (рельєф, ґрунт) на різних масштабних рівнях;
- адаптація існуючих моделей водної ерозії до природних умов території, що вивчаються;
- використання удосконалених нестандартних методів картографування ерозійно-небезпечних територій з метою визначення ділянок, які найбільше піддатливі змиву.

Надійне кількісне обґрунтування ґрунтозахисного землеустрою, протиерозійного землеробства та створення екологічно збалансованих агроландшафтів неможливо здійснити без детального визначення параметрів, що впливають на процеси ерозії з безпосереднім врахуванням фактичної структуризації землеволодінь (наявність різних за площею земельних ділянок). Розв'язання таких завдань потребує застосування різнопланових методик дослідження складових частин ерозійного процесу. Цей діапазон питань

формує своєчасність, актуальність, науково-практичну значимість запропонованих в дисертації досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Запропоновані дослідження відповідають тематиці наукових досліджень кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки: „Розробка теорії і практики цифрової фотограмметрії – мікрофотограмметрія, растрова електронна мікроскопія, тривимірна реконструкція мікрооб'єктів”, а також науково-дослідній роботі, що проводилась на цій кафедрі в період 2011–2013 рр. за темою: „Дослідження сучасного стану та розробка засобами ГІС-технологій і РЕМ-мікроскопії засад раціонального землекористування ерозійно-деградованих земель Волинської височини” (реєстраційний номер 0111 U 002146).

Тематика дисертаційної роботи відповідає Концепції боротьби з деградацією земель та опустелюванням, схваленої Кабінетом Міністрів України від 22. 10. 2014 р. № 1024 р., а також перспективі отримання грантів від Глобального екологічного фонду та Фонду адаптації, які створені як механізми фінансування проектів, що позитивно впливають на стан глобального навколишнього середовища, зокрема, у вивченні та запобіганні деградації земель та опустелювання.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є розробка ієрархічних методів моніторингу стану еродованих земель Волинського Опілля та встановлення закономірностей їх географічного розподілу, розробка теоретичних і практичних засад фотограмметричних і картографічних методів дослідження площинної ерозії.

Основні завдання ерозієзнавчих досліджень, які були поставлені для досягнення мети дисертаційної роботи:

- встановити сучасні тенденції і проблеми використання земельних ресурсів Волинської височини;

- розробити оперативний фотограмметричний метод визначення параметрів R-функцій, якими можливе коректне моделювання домінуючих регіональних факторів ерозії ґрунту;

- адаптувати растрово-електронно-мікроскопічний метод дослідження мікроструктурних властивостей ґрунту в ерозієзнавчих цілях та встановити його взаємозв'язок з параметрами порового простору та протиерозійною стійкістю;

- удосконалити відомі моделі водної ерозії, які адаптивні до регіональних властивостей рельєфу та гранулометрії ґрунтів;

- розробити методику комплексної картографічної оцінки ерозійного стану земель Волинського Опілля;

- розробити алгоритм використання запропонованих методів під час розробки науково-обґрунтованих рекомендацій оптимального використання ерозійно уражених земель з метою створення екологічно збалансованого землекористування в межах Волинського лісостепу.

Об'єкт досліджень. Деградовані землі Волинського Опілля внаслідок водної ерозії.

Предмет досліджень. Картографічний, фотограмметричний та РЕМ-мікроскопічний підходи при дослідженні процесу водної ерозії з метою розробки альтернативних математичних моделей розрахунку площинного змиву адаптованих до регіональних умов Волинського Опілля.

Методи досліджень. Для розв'язання комплексу питань, які пов'язані з використанням комбінованих методів дослідження водної ерозії, з погляду на сучасні тенденції оперативно-економічного напрямку при вирішенні нагальних потреб сільськогосподарського виробництва застосовувалися різномасштабні способи фіксування, обробки, аналізу, відтворення систематичних спостережень – геоморфологічні, картографічні, ґрунтознавчі, прикладної математики, цифрової фотограмметрії.

Наукова новизна отриманих результатів:

- запропоновано методику дискретної оцінки площинної ерозії ґрунту із застосуванням методів короткобазисної фотограмметрії, а також використання отриманих даних для знаходження параметрів R-функцій;
- розроблено методику визначення ентропії поверхонь сколів ґрунту за даними растрової електронної мікроскопії (РЕМ-мікроскопії) для характеристики протиерозійної стійкості;
- удосконалено методики отримання карт пластики рельєфу як можливого варіанту досліджень сільськогосподарських земель на наявність потенційно небезпечних зон (ерозійно-небезпечних ділянок) та карт анаморфоз – для простеження динаміки ерозійних процесів на значних територіях.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені методики та запропоновані практичні рішення можуть бути використані:

- в роботі ерозієзнавців для встановлення залежностей між протиерозійною стійкістю ґрунту, розміром мікрочасток та поровим простором досліджуваних зразків ґрунту;
- в плануванні сівозмін шляхом визначення ерозійно небезпечних зон за допомогою карт пластики рельєфу як додаткової морфометричної характеристики території;
- для фермерських господарств під час проектування протиерозійних споруд та заходів, пов'язаних із раціональним використанням території;
- місцевими органами самоврядування під час прийняття рішень щодо впорядкування та захисту сільськогосподарських угідь від негативного впливу природно-антропогенних чинників.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковані в 6 працях у співавторстві [35, 106, 109, 117, 122, 143] та 1 одноосібній [159]. Зокрема: в праці [35] автор проаналізував наукові літературні джерела з математичного моделювання водної ерозії та склав відповідні класифікаційні схеми; в роботі [106] – здійснено обробку РЕМ-стереозображень для визначення вихідних даних побудови ЦММР

та виконано морфолого-спектральний аналіз поверхні зразків ґрунту; в науковій статті [109] – виконано калібрування опорних точок тест-об’єкта, отримано формулу апіорної точності запропонованого методу, виконано польові стереознімальні роботи, опрацьовано вхідну інформацію та отримані числові характеристики об’ємів змитого ґрунту; в праці [117] – здійснено порівняння апроксимуючих функцій, проаналізовано статистичні дані порового простору отримані за допомогою ПП “STIMAN”, опрацьовано результати дифрактометричних досліджень; в роботі [122] – реалізовано комп’ютерний алгоритм прогнозу радіоекологічного стану уражених територій з використанням матриць Маркова, частково опрацьовано РЕМ-зображення кісткової тканини та отримані відповідні дані; в науковій статті [143] – апробовано методику визначення ентропії для оцінки мікрорельєфу поверхні зразка ґрунту, виконано експериментальні дослідження профільних характеристик зразків та отримані конкретні числові значення.

Дисертаційна робота виконана під керівництвом Мельника В.М. – заслуженого працівника народної освіти України, доктора технічних наук, професора кафедри геодезії, землепорядкування та кадастру (ГЗіК) Східноєвропейського національного університету (СНУ) ім. Лесі Українки. Виконання автором окремих підпунктів дослідження здійснювалось з врахуванням порад та консультацій співробітників кафедри ГЗіК СНУ ім. Лесі Українки, зокрема, доцентів Радзія В.Ф., Короля П.П., Волошина В.У., Мельника О.В. за що автор висловлює свою подяку. Особливу вдячність автор висловлює професору кафедри фотограмметрії та геоінформатики НУ “Львівська політехніка” Бурштинській Х.В.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- V, VI, VIII Міжнародних науково-практичних конференціях студентів і аспірантів „Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень” (Луцьк, 2011 р., 2012 р., 2014 р.);

- Всеукраїнській науково-практичній конференції професорсько-викладацького складу „Проблеми землеустрою та геоінформатики” (Рівне, 2012 р.);
- Фестивалі науки Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки (Луцьк, 2013 р.);
- Всеукраїнській науково-практичній конференції „Геодезія. Землеустрій. Природокористування: Присвячується пам’яті П. Г. Черняги” (Рівне, 2014 р.)”;
- Міжнародній науковій конференції з природничих, математичних і технічних наук „NaMaTech-2014” (Будапешт, 2014 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 праць, в тому числі: 1 стаття в науковому періодичному виданні іншої держави, яке включено до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття в науковому періодичному виданні України, яке включено до міжнародних наукометричних баз даних, 5 статей у наукових фахових виданнях України, 3 – у збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 195 сторінок, у тому числі 130 сторінок основного тексту, ілюстрації складають 50 рисунків (з них 5 на окремих аркушах) та 25 таблиць. Бібліографія включає 183 найменування поданих вкінці кожного розділу та сумарно складає загальний об’єм в 16 сторінок.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ЕРОЗІЄЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РЕГІОНАЛЬНИХ АСПЕКТІВ СУЧАСНОГО СТАНУ ЕРОДОВАНOSTІ ЗЕМЕЛЬ ВОЛИНСЬКОГО ОПІЛЛЯ

Діяльність людини на поверхневий шар літосфери є однією із сторін багатогранного негативно-руйнівного процесу, який безпосередньо впливає на природне середовище. Ґрунти як важлива складова частина екосистеми має для неї не другорядне значення. Безпосередній вплив людини здійснюється передусім у процесі землеробського використання земель, що охоплює приблизно 1/10 частину суші планети: обробіток ґрунту, внесення органічних та мінеральних добрив, хімізація, вапнування кислих ґрунтів та гіпсування солонцюватих ґрунтів, промивання засолених ґрунтів, зрошення та осушення тощо [10]. Щорічно фіксується вивід із господарського вжитку 7–8 млн га родючих земель, що свідчить про високу тенденцію процесів руйнування поверхневого шару ґрунту. При цьому загальна площа придатних для сільськогосподарського використання ґрунтів дорівнює 3,2 млрд га. За даними доповіді ФАО, в якій подано глобальну оцінку стану земельних ресурсів планети, розподіл площ за станами наступний: 25 % – сильно деградовані, 8 % – помірно деградовані, 36 % – стабільні або злегка ушкоджені й 10 % класифіковані як такі, що „розвиваються”, 18 % – безлісні ділянки, 2 % – внутрішні водойми (подані цифри характеризують всі види землекористувань) [11].

Для України небезпечною проблемою є інтенсивний розвиток ерозійних процесів, що призводить до значної деградації ґрунтів у вигляді водної та вітрової ерозії. Основною причиною ерозії ґрунтів в Україні є недосконала організація сільськогосподарського виробництва та висока частка еродованих територій, які ще досі використовуються для ведення сільського господарства. Станом на 1 січня 2015 р. сільськогосподарські угіддя займають 68,8 % території України, що становить 41511,7 тис. га, з яких орні землі займають 32531,1 тис. га (53,9%), 2407,3 тис. га (4,0%) – сіножаті; 5441,0 тис. га (9,0%) – пасовища; 892,9 тис. гектарів (1,5%) – багаторічні насадження; 239,4 тис. га

(0,4%) – перелоги, інші сільськогосподарські землі – 1219,8 тис. га (2,0%) від загальної площі території країни [12]. Загальна площа угідь, що піддаються негативному впливу сукупності природних та антропогенних чинників, становить 13,4 млн га (32 % від загальної площі країни), у т. ч. 10,6 млн га – рілля. Безпосередньо в складі орних земель налічується 4,5 млн га з сильно-та середньо еродованими ґрунтами [13].

Зниження якісних властивостей ґрунту призводить до значного скорочення їх продуктивної здатності та корисної площі. Нераціональне сільськогосподарське використання земель, відсутність професійного управління землекористуванням, вирубування лісів, знищення флористичної складової, використання важкої техніки в господарюванні, недотримання ротатії сівозмін спричинюють деградацію земель – явища цілком закономірного, інтенсивність якого збільшується внаслідок екстенсивного типу ведення сільськогосподарського виробництва.

Глибинний аналіз проблеми еродованих земель, факторів їх виникнення, а також застосування нових підходів в математичному моделюванні та картографічному дослідженні змиву, необхідний для встановлення закономірностей поширення та розвитку деградаційних процесів.

1.1. Аналіз і класифікація методів, моделей площинної ерозії та способів їх картографічного супроводу

Зібрані в ході ерозієзнавчих досліджень дані можна цілком закономірно використовувати у суміжних дисциплінах під час застосування конкретних оцінних та проектних рішень. До таких напрямів відносяться заходи, що пов'язані з ландшафтно-екологічним обґрунтуванням та ґрунтозахисним землеробством, грошовою оцінкою сільськогосподарських земель, кадастром порушених територій (у даному випадку ерозією), ґрунтознавством, агрохімією. Таке різноманіття є відповідно однією з „причин” виникнення аналогічних методів досліджень. Кожен спосіб визначення характеристик об'єктів, які піддаються еродуючим процесам застосовується у відповідності до

специфіки конкретного напрямку. Сьогодні існує значна кількість способів дослідження процесу водної ерозії. Проте, на нашу думку, актуальними є ті, що безпосередньо пов'язані з ґрунтом та морфометричними властивостями схилів як з головними факторами виникнення деструктивного процесу.

Використання польових або лабораторних методів дослідження водної ерозії ґрунту залежить від поставлених завдань та матеріально-технічної бази (рис.1.1). Першими та, як показує досвід, актуальними для визначення об'ємів змиву в реальних умовах є **натурні (польові) методи**. Багаторічні спостереження вимагають використання специфічних наборів теоретичних розробок та відповідних інструментів, щоб їх реалізувати. До таких методів можна віднести метод шпильок, ґрунтово-морфологічний, корелятивних відкладів, геометричного нівелювання, тахеометричного знімання тощо. Їх специфіка достатньо широко описана в значній кількості літературних джерел [14; 15; 16; 17; 18; 19] та проведених досліджень. Оскільки створення нових методів та способів фіксування змін поверхні схилу внаслідок змиву неможливе без їх співставлення з уже існуючими методами, які перевірені часом, нами використані деякі з них. Результати такого порівняння слугували додатковими підтвердженнями запропонованих методів (розділ 2, п.2.2).

Зважаючи на часткову обмеженість або взагалі трудність проведення польових досліджень, доцільно використовувати **лабораторні** дослідження водної ерозії [20].

Одним із оригінальних та нестандартних способів визначення динаміки деструктивних процесів як індикатора еродованості ґрунту в 70-х роках ХХ століття був радіоізотопний метод [21-24]. Суть його полягала у визначенні кількості мігруючого цезій-137, який абсорбувався поверхневим шаром ґрунту (5–10 см), а під дією води „вимивався”, що свідчило про транзитно-акумуляційні процеси водної ерозії [24- 27].

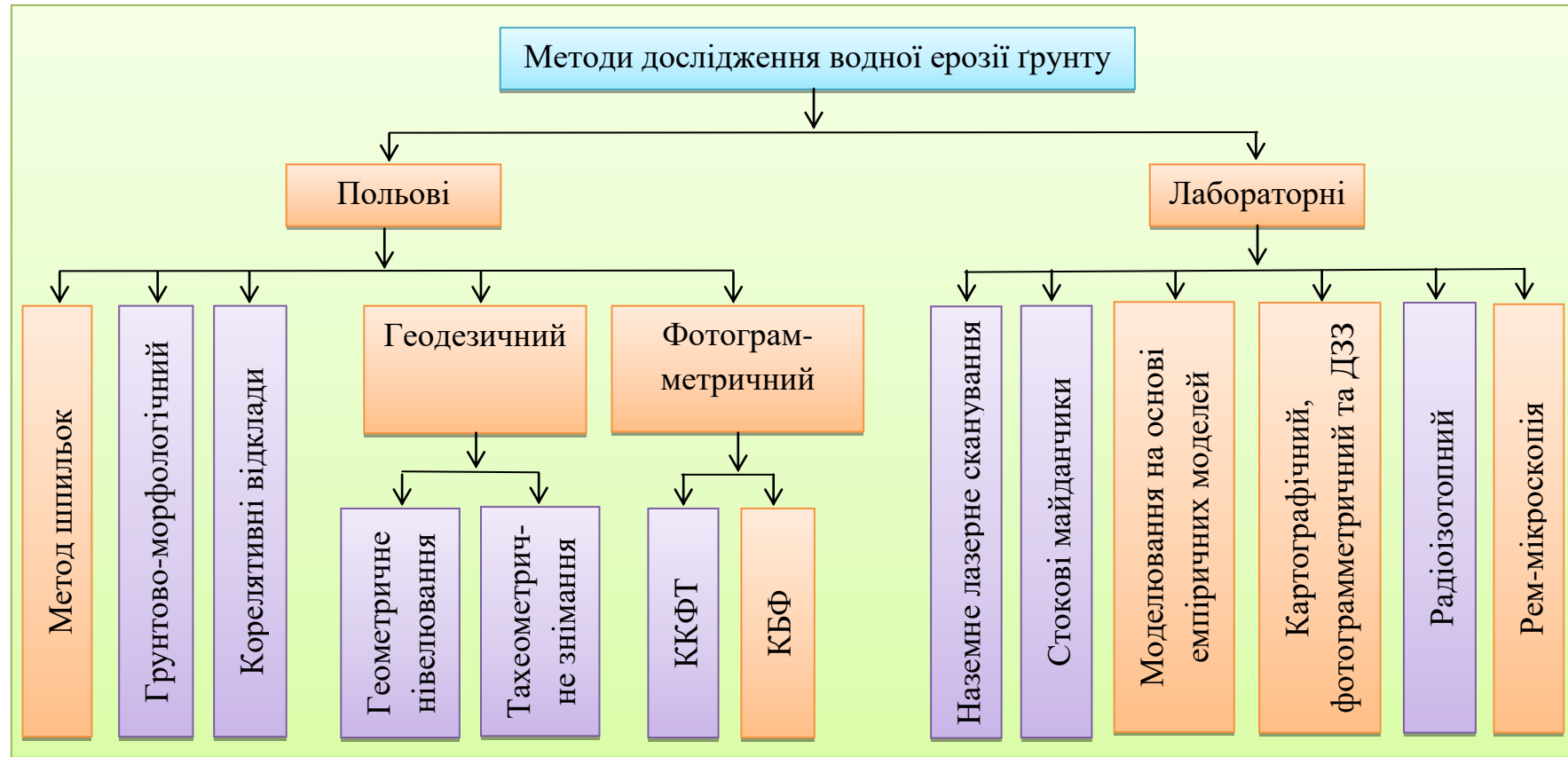


Рис.1.1. Напрями розвитку досліджень водної ерозії ґрунту

(складені за результатом аналізу літератури по ерозії та власних досліджень)¹.

¹ Де КБФ – короткобазисна фотограмметрія, ККФТ – квазіконвергентна фототопографія.

Стокові майданчики є основним методом вивчення й оцінки поверхневого змиву ґрунту та відповідно встановлення коефіцієнтів емпіричних рівнянь змиву [28]. Закладене ще В. Г. Вішмеєром та Д. Д. Смітом метод користується популярністю в ерозієзнавчій науці і тепер. На території Волинської області свої дослідження проводить Поліська філія Інституту ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського з організованими стаціонарами в межах Горохівського району.

Слідом за класичними методами визначення зміни висотних позначок схилу приходять інноваційні методи дослідження. Один з таких способів отримання цифрової метричної інформації є **наземне лазерне сканування** (НЛС). Цей метод дослідження базується на використанні лазерних високошвидкісних сканерів для проведення високоточного сканування та документування вимірювань. Використання технології лазерного сканування дає змогу отримати тривимірну цифрову модель геопросторового розташування предметів. Сьогодні відомо більше десятка скануючих систем відомих фірм геодезичного приладобудування, а саме: Leica, Geosystems, Topcon, Trimble, Zoller+Froehlich, RIEGL тощо. Аналіз типів, індивідуальних характеристик та можливих областей їх застосування викладені в працях [29-31].

Використання можливостей НЛС при дослідженні водної ерозії відомо в працях [32; 33]. Проте, як показують проведені дослідження, використання НЛС в порівнянні з класичним фотограмметричним підходом має значно гірші показники в отриманні інформації про ділянку схилу. А саме: невизначений вплив невідкаліброваного сканера та електричного двигуна; тривалий період отримання інформації про ділянку (площа сканування 8 м², час сканування 4 год), аналогічний період з отримання інформації фотограмметричним шляхом становить 10 хв; кількість отриманої інформації про схил, яка не відповідала дійсності була в 2 рази вищою ніж аналогічна з використанням фотограмметричного підходу; висока вартість скануючої системи в порівнянні з приладами для отримання фотографічних стереозображень.

Математичне моделювання водної ерозії на основі емпіричних моделей передбачає визначення факторів, що суттєво впливають на виникнення змиву ґрунту (механічні та гранулометричні властивості ґрунтів, об'єм та інтенсивність опадів, характеристики мікрорельєфу, тип агрофону тощо) шляхом введення коефіцієнтів, які ілюструють максимальну відповідність та кондиційність відображення процесу.

Розробка математичних моделей змиву ґрунту є трудомістким та, як засвідчує практика, достатньо складним процесом. Це пов'язано, насамперед, з недостатньою кількістю отриманих в ході експериментальних досліджень статистичних даних, змодельований за якими подальший розвиток еродуючих процесів дасть відхилення від його реальних умов. Ще одним важливим моментом є відмінність показників факторів, результати яких були отримані, від території на яку інтерполюються дані з тестової ділянки. Проте, не зважаючи на такі моменти метод визначення реального об'єму змитого ґрунту шляхом співставлення розрахункових даних та даних, що отримані експериментальним шляхом у польових умовах є відомою практикою.

Саме тому формули перших дослідників ерозії в США В. Г. Вішмеєра та Д. Д. Сміта базуються на інтерпретації водної ерозії з фізичної сторони процесу [34]. Проте, зважаючи на значний інформаційний фонд накопичених досліджень, відбулося розгалуження підходів математичного вивчення змиву. Як наслідок математичне моделювання як і всі його складники – формули змиву поділяються на декілька груп, а саме: емпіричні моделі та теоретичні [35].

Чітка класифікація моделей ерозії дає змогу підібрати оптимальний для даних умов варіант, що забезпечує необхідну точність кінцевих результатів. В загальному вигляді класифікаційну схему можна представити так як подано на рис. 1.2.

До першого типу відносяться моделі, що не враховують просторову неоднорідність водозбору, ерозійний потенціал території та режим сівозмін, а їх рівняння, як правило, утворені добутком коефіцієнтів, кожен з яких, певним

чином враховує вплив відповідного чинника. Емпіричні моделі, у свою чергу, поділяються на два підтипи: формально-статистичні та фізико-статистичні.

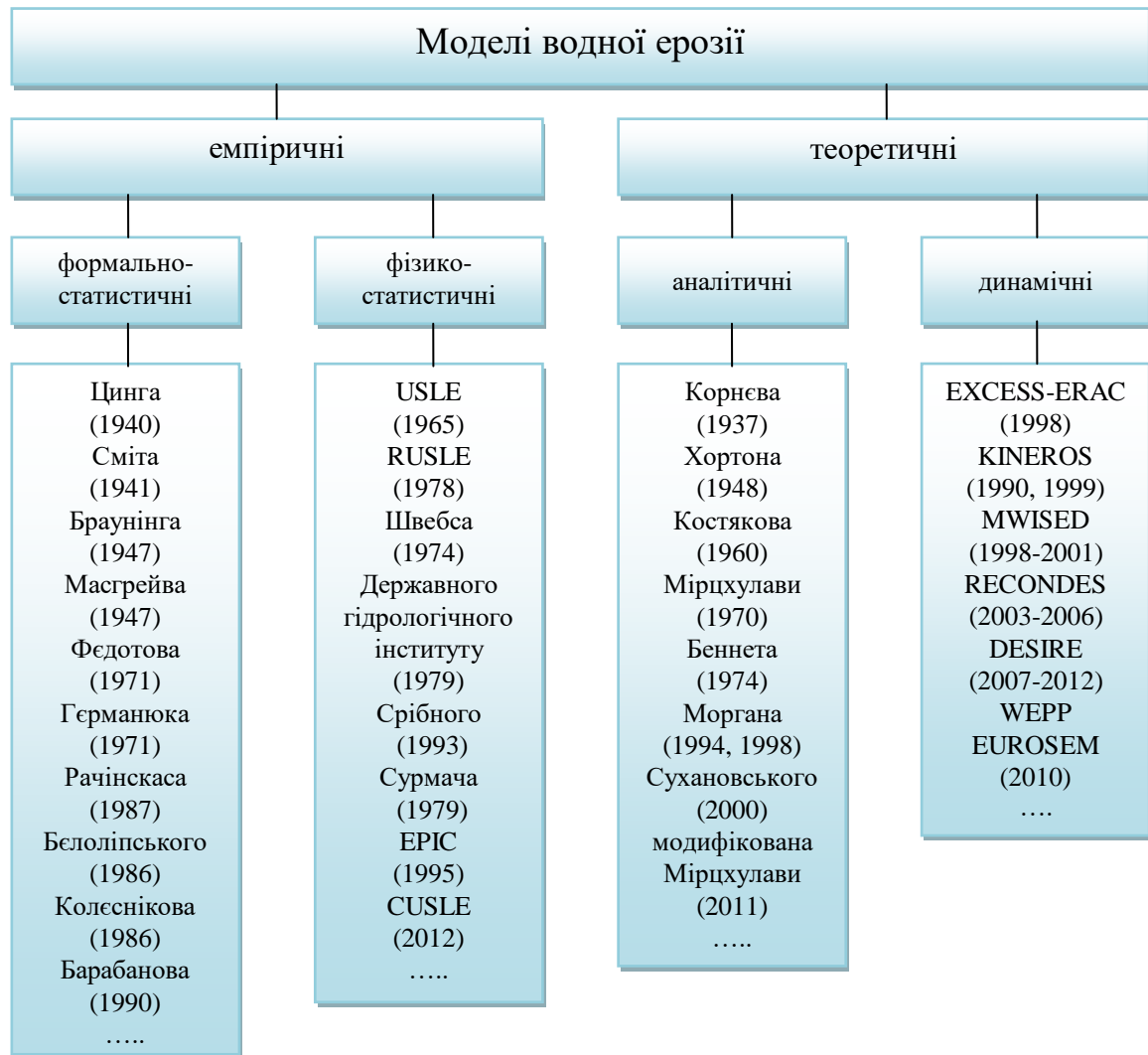


Рис. 1.2. Класифікація моделей площинного змиву ґрунту [35].

До другого типу відносять моделі, що враховують чинники впливу складових частин ерозійно-аккумуляційного процесу: стокоутворення → стік → утворення наносів → транспортування → перевідкладення наносів. Теоретичні моделі, у свою чергу, також поділяються на два підтипи: аналітичні та динамічні.

Важливим та актуальним для сьогодення методами дослідження деструктивних процесів, що проходять на земній поверхні є використання даних безконтактних способів фіксування: аеро- (картографо-фотограмметричний метод) та космознімачь (методи дистанційного зондування Землі – ДЗЗ).

Фотограмметричний метод використовується для фіксування змін поверхні Землі (зсуви, деформації, лінійна та площинні ерозії і тощо) за певний

проміжок часу (5, 10, 15, 20 р. і т. д.) на незначних територіях 100-1000 га [36]. за аерофотознімками. Він дає змогу успішно визначати вогнища новоутворених ерозійних форм, які проходять стадію зародження. На них чітко виділяються, особливо при стереоскопічному спостереженні, вихід ґрунотвірних порід на поверхню досліджуваної площини у вигляді світлих смуг різної ширини та конфігурації. Порівняльний аналіз сучасних та вже проведених аерофотознімків дає змогу виділити зміни, що сталися, а, отже, встановити закономірності розвитку процесів ерозії [37].

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з використанням апаратів супутникових систем є одними з сучасних багатофункціональних засобів оцінки ерозії, що дає змогу вивчати ґрунт, об'єкт ерозійних процесів, при відсутності передумов до використання вище перелічених методів [7].

На сьогодні в прикладних ерозієзнавчих дослідженнях відомі використання даних космозйомки, багатозональної сканерної, інфрачервоної, радіолокаційної та наземного лазерного знімків. Вони є кроком уперед, оскільки, при їх використанні виконання спостережень може виконуватись кілька разів на добу та в будь-яку пору дня. Такі можливості є безпрецедентними та дають змогу у режимі реального часу стежити за територіями з проявом небезпечних явищ. Сьогодні відомо близько десятка супутникових систем, які здатні здійснювати роботи з моніторингу територій, не поступаючись аерофотозйомці. Серед них варто відзначити такі, які мають високу розрізнявальну здатність (РЗ) результуючих зображень. Це IRS-1CІ (РЗ – 6 м/пікс) IRS-1D (РЗ – 6 м/пікс), SPOT 7 (РЗ – 6 м/пікс), GeoEye-1 (РЗ – 2 м/пікс), Pleiades-1B (РЗ – 2 м/пікс), EROS (РЗ – 1,8 м/пікс), WorldView-3 (РЗ – 1,2 м/пікс), OrbView 3 (РЗ – 1 м/пікс), IKONOS (РЗ – 1 м/пікс), Quickbird (РЗ – 0,61 м/пікс) [38-41] тощо.

Такі технічні характеристики є одними з основних переваг використання ДЗЗ в ерозієзнавчих дослідженнях. Адже вони пропонують можливість швидкого отримання інформації про значні території з утрудненим доступом, опрацювання матеріалів повторно для уникнення випадкових помилок,

складання паралельних звітів спостережень разом з іншими способами моніторингу за динамікою ерозійних процесів та залежно від поставлених завдань використання у багатьох допоміжних роботах у боротьбі з деструктивним явищем (планування протиерозійних заходів, ландшафтно-екологічна організація сільськогосподарських угідь тощо).

Важливою складовою досліджень будь-якого геопросторового об'єкта є використання **картографічних матеріалів** як основи планування таких досліджень так і фіксування поетапних його змін або кінцевого результату. Картографічна складова є невід'ємною частиною сучасних вивчень площинної ерозії. В залежності від масштабів досліджень виникає потреба у використанні специфічного масштабного ряду та спеціальних тематичних карт. Гарними ілюстративними матеріалами в даному напрямку є праці Ю. С. Бліндера [42], Г. Р. Байрак [6], М. Т. Процика [7] та І. П. Ковальчука [8]. Саме в цих роботах представлена комбінація використання сучасних систем та картографічного підходу в зображенні досліджуваної території. Це говорить про значимість застосування карт-матеріалів в просторі і часі.

Здійснення сучасних комплексних моніторингових досліджень динаміки просторових змін якісних характеристик ґрунтів неможливе без використання ГІС-технологій (географічні інформаційні системи) [43]. Це пов'язано насамперед з складністю деградаційних процесів (змив, видування), неможливістю характеризувати об'єкт дослідження з одного масштабного рівня спостережень та об'ємністю інформаційних блоків, які необхідно опрацювати з найбільш ймовірнісним прогностичним варіантом.

В нашому випадку дослідження площинного змиву ґрунту за допомогою ГІС-технологій повинно здійснюватись за запропонованою технологічною схемою, яку подано на рис.1.3.



Рис.1.3. Технологічна схема етапів опрацювання інформації ерозійних процесів програмними продуктами ГІС

Використання різних підходів в спостереженні за ерозійно-небезпечними землями передбачає відповідну консолідацію геопросторових даних, які ілюструють сучасний стан, його динаміку та перспективи використання порушених змивом сільськогосподарських угідь. Сучасне повноцінне застосування методів досліджень вимагає: встановлення чітких параметрів фіксування змивних процесів; залучення прикладних ГІС; розробки методик створення просторової та семантичної бази даних про потенційно ерозійно-небезпечні землі як варіант єдиної складової державного земельного кадастру сільськогосподарських земель.

1.2. Сучасний стан і тенденції прояву ерозійних процесів для умов Волинського височини.

Актуальним питанням сьогодення є збереження та раціональне використання природних ресурсів. Внаслідок постійної дії джерела негативного впливу відбувається поступове зниження, а подекуди, унеможливлення використання сільськогосподарських земель за цільовим призначенням. Інтенсивній деструкції піддаються одні з найродючіших ґрунтів – чорноземи та дерново-підзолисті, які дислокуються в лісостепових і степових природних зонах [44].

Однією з ерозійно-небезпечних природних частин України є лісостепова зона, якій характерна ерозія викликана дощами та талими водами. Інтенсивне землекористування (розораність становить близько 70 %) із наявністю високої частки просапних культур у загальній кількості сільськогосподарських угідь (цукрові буряки, кукурудза, соняшник) в комплексі з 76 % схилових земель (близько 30 % з яких є еродованими) є передумовами формування територій з найбільш небезпечним видом ерозії ґрунтів – водною ерозією [12].

В межах Волинської області Лісостепова зона знаходиться в південній частині краю між Волинським та Малим Поліссям та охоплює шість адміністративних районів: Володимир-Волинський, Локачинський, Луцький, Ківерцівський, Горохівський та Іваничівський. За фізико-географічним районуванням уся територія відноситься до Волинської височинної фізико-географічної області (Волинське лісостепове Опілля), яка належить до природної області – Західноукраїнської фізико-географічної провінції [45]. Волинське Опілля ділиться на чотири фізико-географічні райони: Надбузький, Луцько-Рівненський, Корецький, Мізоч-Повчанський (рис. 1.4).



Рис.1.4. Волинська височина в межах адміністративних районів Волинської області [46].

Характерними рисами цієї території є: суцільне поширення лесовидних суглинків легкого гранулометричного складу (пилуваті фракції розміром 0,05–0,01 мм складають понад 65 % усієї маси породи); слабка розчленованість поверхні річковими долинами і балками з пологими терасованими схилами й широкими заплавами; незначна лісистість (11 %); відносно велике розповсюдження луків і боліт, що займають до 10 % загальної площі угідь; складна комбінація сірих лісових ґрунтів [47].

З даних табл. 1.1 випливає, що регіону властива тенденція до збільшення площі ріллі [47]. Залучення нових площ часто відбувається за рахунок схилових земель, де локалізуються малогумусні ґрунти легкого гранулометричного складу з низькою ємністю вбирання, малою буферністю, що в комплексі з низьким рівнем використання протиерозійних заходів призводить до значного збільшення деградованих земель.

Відповідно до „Регіональної програми захисту земель від водної та вітрової ерозій, інших видів деградації земель Волинської області” на 1995–2010 рр. та Регіональної доповіді про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2014 р. на сільськогосподарських угіддях нараховується 104,2 тис. га змитих ґрунтів (10 % від площі сільськогосподарських угідь

області). З них у Горохівському районі – 31,2 тис. га (рілля – 83 %), Луцькому – 26,6 тис. га (рілля – 89 %), Локачинському – 17,2 тис. га (рілля – 84 %), Володимир-Волинському – 12,5 тис. га (рілля – 80 %), Іваничівському – 9,2 тис. га (рілля – 88 %), Ківерцівському – 7,5 тис. га (рілля – 81 %).

За крутизною схилів та ступенем змитості орні землі охарактеризовані в [додатку А](#) (табл. А.1, А.2). Вони становлять 85 % площі еродованих земель (близько 88,3 тис. га). В межах Волинської височини нараховується 52,8 тис. га слабозмитих, 25,5 тис. га середньозмитих і 10,0 тис. га сильнозмитих ґрунтів. Сірі опідзолені, темно-сірі ґрунти, чорноземи опідзолені, чорноземи малогумусні й слабогумусовані ґрунти мають високий ерозійний потенціал, що є однією з основних причин формування інтенсивного змиву.

Не менш впливовим деструктивним процесом для земель південної частини Волині є процес дефляції. Вітрова ерозія (дефляція) – це процес видування та перенесення ґрунту, який виникає за умови наявності постійних вітрів та ґрунтів легкого механічного складу. Відповідно для ґрунтів супіщаного гранулометричного складу вітрова ерозія проявляється при швидкості вітру 3–4 м/с, легкосуглинкових – 4–6 м/с, важкосуглинкових – 5–7 м/с, глинистих – 7–8 м/с.

Площа дефляційно небезпечних земель складає 54,6 тис. га, що відповідає 21 % від загальної кількості сільськогосподарських угідь в межах Волинського Опілля. З них розміщено у Володимир-Волинському районі – 16,4 тис. га, Іваничівському – 4,6 тис. га, Луцькому – 6,7 тис. га, Горохівському – 7,2 тис. га, Локачинському – 7,8 тис.га, Ківерцівському – 11,9 тис. га [47].

Приріст площ змитих земель за останні 25 років є додатнім та становить 27 % (в середньому 2 тис. га/рік). Залежно від виду культур і типу обробітку ґрунту з одного гектара схилів щорічно змивається від 7 до 10 т його родючого шару. Відповідно, під час проходження процесу змиву разом із поверхневим шаром виноситься від 150 до 240 кг поживних речовин, причому такий показник часто перевищує їх об'єм, який вноситься добривами.

Таблиця 1.1

Структура земельного фонду Волинської області

Угіддя	Роки									
	2011		2012		2013		2014		2015	
	Всього, тис. га	% до загальної площі території	Всього, тис. га	% до загальної площі території	Всього, тис. га	% до загальної площі території	Всього, тис. га	% до загальної площі території	Всього, тис. га	% до загальної площі території
Разом, усього	2014,4	100	2014,4	100	2014,4	100	2014,4	100	2014,4	100
у тому числі :										
1. Сільськогосподарські угіддя	1050,3	52,14	1080,9	53,7	1081,0	53,7	1080,8	53,7	1080,8	53,7
з них :										
рілля	674,3	33,47	673,2	33,41	673,3	33,42	673,2	33,42	673,2	33,42
багаторічні насадження	11,5	0,57	11,7	0,6	11,6	0,58	11,7	0,58	11,7	0,58
сіножаті і пасовища	364,5	18,095	363,5	18,1	363,5	18,05	363,8	18,06	363,7	18,06
2. Ліси та інші лісовкриті площі	695,1	34,51	697,7	34,6	697,7	34,64	697,7	34,64	697,7	34,64
з них: вкритих лісовою рослинністю	642,2	31,88	642,2	31,88	646,5	32,09	646,5	32,09	646,5	32,09
3. Забудовані землі	59,2	2,94	60,0		60,1	2,98	60,1	2,98	60,7	3,01
4. Відкриті заболочені землі	116,7	5,79	115,9	5,7	115,9	5,75	115,9	5,75	115,8	5,75
5. Відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (піски, яри, землі, зайняті зсувами, щебенем, галькою, голими скелями)	15,0	0,74	14,5	0,7	14,5	0,72	14,5	0,72	14,6	0,72
6. Інші землі	78,1	3,88	78,1	3,88	32,5	1,61	32,5	1,61	32,5	1,61
Усього земель (суша)	1969,0	97,75	1969,0	97,75	1969,0	97,75	1969,0	97,75	1969,0	97,75
Території, що покриті поверхневими водами	45,4	2,25	45,4	2,25	45,4	2,25	45,4	2,25	45,4	2,25

Дослідження Інституту ґрунтознавства і агрохімії ім. О. Н. Соколовського [48] ілюструють загальні втрати поживних речовин на 1 га. Валові показники такі: втрати азоту становлять 12–17 кг, фосфору – 10–14 кг і калію – 80–90 кг. Ці показники корелюють із крутизною схилів – чим більша крутизна, тим більші втрати. Для прикладу, із схилів крутизною до 5° змив ґрунту в середньому становить до 20 т/га (втрати поживних елементів 185 кг відповідно), для схилів крутизною від 5° до 12° – 56 т/га (або 510 кг поживних речовин). Така тенденція призвела до зниження вмісту гумусу в поверхневому шарі ґрунту з динамікою в 0,032 % або 0,6 т/га та значних об'ємів змитого ґрунту (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Сучасні тенденції втрат від площинної ерозії в межах півдня Волині

№ п/п	Назва адміністративного району	Динаміка втрат під дією водної ерозії			
		гумусу		ґрунту	
		т/га	тис. т	т/га	тис. м ³
1	Володимир-Волинський	0,6	5	21	196
2	Горохівський	0,7	15	23	548
3	Іваничівський	0,3	2	17	133
4	Ківерцівський	0,5	2	22	128
5	Локачинський	0,6	8	20	283
6	Луцький	0,6	12	21	470

Середньорічні об'єми змиву ґрунту зі схилів різної крутизни (тис. м³) у розрізі окремих адміністративних районів суттєво відрізняються (табл.1.3) [47].

Таблиця 1.3

Середні значення інтенсивності змиву протягом року зі схилів різної крутизни у південних районах Волинської області, тис.м³

№ п/п	Назва адміністративного району	Крутизна схилів					Всього
		1°-2°	2°-3°	3°-5°	5°-7°	понад 7°	
1	Володимир-Волинський	3,22	55,62	74,20	47,84	15,47	196,35
2	Горохівський	–	111,31	186,08	191,62	58,84	547,85
3	Іваничівський	11,51	54,27	43,41	16,27	7,92	133,38
4	Ківерцівський	1,62	36,29	30,13	51,73	7,80	127,57
5	Локачинський	–	68,81	108,11	73,80	32,17	282,89
6	Луцький	–	89,75	166,16	173,11	41,06	470,08

Об'єми максимального змиву ґрунту зафіксовані на схилах різної крутизни ($2-3^\circ$, $3-5^\circ$, $5-7^\circ$) в межах Горохівського, Луцького та Локачинського районах. Сумарна величина на території цих адміністративно-територіальних утворень становить, відповідно, 547,85; 470,08; 282,89 тис. м³. Решта районів півдня Волинської області (Володимир-Волинський, Іваничівський, Ківерцівський) характеризуються зменшенням загального об'єму змиву у зв'язку з дещо відмінною морфометричною будовою рельєфу та геолого-геоморфологічною складовою. В [додатку Б](#) (рис.Б.1) показана цифрова модель рельєфу Волинської височини з просторовим поділом території за крутизною схилів.

Інтенсивне збільшення кількості площ зайнятих ріллею, обробіток територій важкою й застарілою технікою, неврахування морфометричних характеристик рельєфу, внесення великої кількості добрив у комплексі з природніми умовами призводить до загострення як процесу ерозії так й інших деструктивних явищ (агрохімічна деградація, зниження вмісту гумусу, рухомих форм фосфору, обмінного калію).

Зважаючи на стійку тенденцію прояву процесу водної ерозії, яка підсилюється не тільки завдяки екстенсивному способу ведення сільського господарства, а й природним умовам (рельєфом, ґрунтами, кліматом), необхідно здійснити аналіз чинників виникнення площинної ерозії з метою розробки адаптивних способів фіксування інтенсивності деструктивного процесу як складової частини моніторингових досліджень природних процесів для умов Волинської височини.

1.3. Методологічні основи дослідження ерозійних процесів для умов Волинського Опілля.

Вивчення ерозійних процесів на територіях площею, які в сучасному землекористуванні аналогічні площам сільськогосподарських угідь великих фермерських господарств (100-500 га) потребує врахування величин (факторів), які зумовлюють як сам змив (ерозійний потенціал опадів, ґрунтозахисна ефективність агрофону, еродованість ґрунту, ерозійний потенціал рельєфу

тощо) так і його інтенсивність. Наявність та їх комбінування впливають на інтенсивність процесів ґрунтоутворення та деструкції.

1.3.1. Умови виникнення водної ерозії.

Інтенсивність ерозії E_r вимірюють за втратою ґрунтом його маси (m_1) з одиниці площі S за одиницю часу t і виражають у тоннах на гектар (т/га) або міліметрах на рік (мм/рік) (1.1) [49]:

$$E_r = m_1 (St)^{-1} \quad (1.1)$$

У цих одиницях вимірюють також швидкість ґрунтоутворення:

$$W_r = m_2 (St)^{-1} \quad (1.2)$$

де W_r – швидкість ґрунтоутворення (т/га); m_2 – маса ґрунту, що утворюється; S – площа досліджуваної ділянки, га; t – час, за який відбувається процес ґрунтоутворення.

Порівняння швидкостей ерозії та ґрунтоутворення вказує на ступінь ерозійної загрози ґрунтам. Ерозійно небезпечними ґрунти вважають тоді, коли швидкість ерозії перевищує швидкість утворення гумусового профілю: $E_r > W_{\text{ґрунту}}$. З іншого боку нерівність $E_r < W_{\text{ґрунту}}$ характеризує ґрунтовий покрив, на якому не відбуваються деградаційні процеси або вони є незначними.

Швидкість збільшення гумусового профілю при формуванні різних ґрунтів є неоднаковою, проте за середню вважають 0,2 мм/рік [49]. Виходячи з цього, при інтенсивності ерозії, яка не перевищує 0,2 мм/рік, або 2 т/га за рік, її вважають близькою до нуля і не беруть до уваги. В табл. 1.4 наведені характеристики ерозійної загрози ґрунтів відповідно до рівня їх прояву в загальному варіанті в тому числі і для умов півдня Волині.

Таблиця 1.4

Середньозважені значення змиву ґрунтів*

Рівень ерозії ґрунту	Змив в мм	Змив в т/га/рік
Відсутня	0-2	0-2
Слабка	3-6	3-6
Середня	6-12	6-12
Сильна	12-16	12-16
Катастрофічна	16-20	16-20

*Складено за [ст.16; 49]

За характером впливу розрізняють дві групи чинників водної ерозії (рис.1.5). Перша група – стимулюючі, які формують змив, – рельєф (крутизна, довжина, форма, експозиція схилу), клімат (кількість і енергія опадів, температурний режим, вологість та ін.), ґрунт (структурно-агрегатний стан, водопроникність, вологоємність, пористість, вміст гумусу, ґрунтоутворююча порода тощо). Друга група – захисні, які сприяють підвищенню порогу стійкості ґрунту до змиву – агрофон (захист рослинністю), агротехнічні заходи (поконтурний обробіток, будівництво валів тощо). Встановлено вплив стимулюючої або захисної ролі основних груп чинників на формування водної ерозії ґрунту (ВЕГ) [с.11, 50].

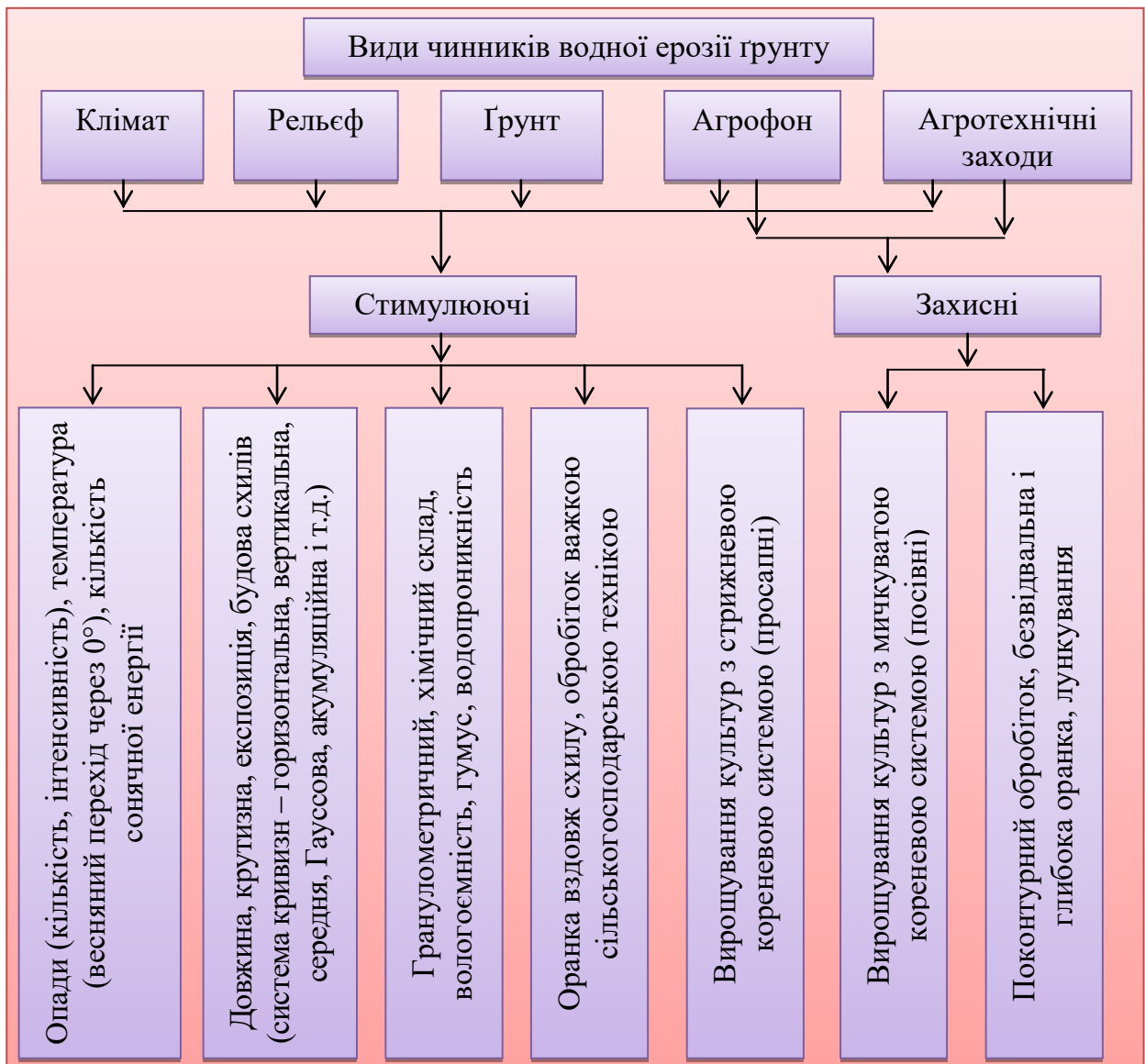


Рис. 1.5. Класифікаційна схема чинників водної ерозії.²

² Складено автором за результатами аналізу літератури по ерозії.

Визначення впливу наведених чинників потребує застосування існуючих досліджень у галузі не тільки ерозієзнавства, а й суміжних наук (грунтознавства, агрономії, гідрології, геоморфології, метеорології, ландшафтознавстві, геоінформаційних систем, геодезії, фотограмметрії, землеустрою). Під час вивчення впливу окремих факторів на інтенсивність ерозії потрібно мати на увазі, що вони зв'язані не тільки між собою, а й з наслідками ерозії [с.12, 50]. Для прикладу система „геоморфологічна будова ↔ рельєф ↔ ґрунт ↔ еродованість” має пряму й зворотну дію. В першому випадку ґрунтоутворюючі породи визначають тип ґрунту, гранулометричний склад та хімічні властивості, а в результаті характер змиву, а в другому – факт змиву визначає гранулометричні властивості ґрунту (структурно-агрегатний стан, вміст гумусу), морфометричні показники рельєфу (будова схилу), а в результаті й геоморфологічну будову.

Чинник клімату. Одним із визначальних чинників водної ерозії є кліматичні умови (температура, кількість та інтенсивність опадів тощо) [51]. Особливу увагу під час врахування кліматичного чинника приділяють опадам [52]. Вплив клімату на інтенсивність водної ерозії ґрунтів визначається особливостями конкретних пір року. Розрізняють два типи опадів – дощові та снігові. Особливостями літніх є кількість (мм) та інтенсивність (мм/хв) [с.13, 50], яка визначає кількість об'єму змитого ґрунту. Залежність інтенсивності ерозії від певного часового відрізка (30 хв) проходження дощу пояснюється добіганням поверхневого стоку від вододілу до тальвегу [53]. Вдалою ілюстрацією чинника опадів є ерозійний індекс дощу (R) з Універсального рівняння ерозії США [34].

Більшість опадів, які надходять з атмосфери, перебувають у рідкому стані. Особливо руйнуючої дії завдають такі, що мають високі порогові значеннями інтенсивності – зливи (табл. 1.5).

Показники зливових дощів [54]

Тривалість, хв	Інтенсивність, мм/хв	Кількість опадів, мм
5	0,5	2,5
30	0,23	6,9
60	0,20	12
360	0,09	32,4

Під час формування змиву у після зимовий період визначальними є товщина снігового покриву (визначає ступінь промерзання ґрунту й об'єм води), температурний режим (особливо кількість переходів позначки через 0° С) та кількість сонячної енергії (потрапляючи на поверхню, формує ступені інтенсивності та часовий проміжок активного розтавання снігу). Під час виконання оцінки ерозійної небезпеки в період сніготанення необхідно враховувати потужність шару снігового покриву, який переходить у рідкий стан талого стоку та формує певну інтенсивність змиву.

Концептуальні положення дослідження ерозії викликані талими водами представлені в роботах Г. А. Ларіонова [53], Г. І. Швєбса [55], М. М. Заславського [56], М. С. Кузнєцова, Г. П. Глазунова [57], Г. П. Сурмача [58], І. А. Голубєва [59] та ін.

Чинник ґрунту. Безпосереднім об'єктом впливу ерозійних процесів є ґрунт. Його властивості можуть виконувати як пришвидшення (стимулювання), так й уповільнення (захисна функція) руйнування. За словами Ц. Е. Мірцхулави властивості ґрунтів – одні з головних чинників явища ерозії [50].

Основними складовими елементами чинника ґрунту, які впливають на інтенсивність процесу ерозії є гранулометричний склад, вміст гумусу та водопроникність. Суб'єктивні дані та їх комбінаційні варіанти формують показник, який визначає протиерозійну сильну чи слабку дію конкретного типу ґрунту.

Значна кількість робіт пов'язаних з ерозійними процесами присвячена впливу гранулометричного складу на хід процесу змиву. Серед них варто відзначити праці М. Н. Заславського [60], Ц. Е. Мірцхулави [50], Г. І. Швєбса [55],

Н. К. Шикולי [61] та ін. Ґрунти, що піддаються впливу водної ерозії мають відмінний від решти гранулометричний склад. Відповідно чим інтенсивніша дія негативного процесу, тим менший процентний вміст пилу й мулу в орному горизонті, водночас об'єм піщаних фракцій значно зростає [62; 63].

Не менш важливим елементом стійкості ґрунтів до розмиву є вміст гумусу. Частина робіт з ерозієзнавства присвячена цьому напряму досліджень [64; 65]. Відповідно встановлено чітку закономірність зростання інтенсивності змиву ґрунту залежно від вмісту гумусу.

На думку низки вчених, які досліджували стійкість ґрунтів до змиву, визначальною є водопроникність [66; 67]. Підтвердженням цього є встановлений тісний кореляційний зв'язок водопроникності з протиерозійною стійкістю [68; 69]. Для визначення протиерозійної стійкості потрібно проводити експериментальні дослідження для кожного типу ґрунту. Такий процес є трудомістким, та в багатьох випадках неможливий, в умовах обмеженості ресурсів та часу. Вирішенням цієї проблематики за допомогою методу растрової електронної мікроскопії займались учені В. М. Мельник та А. В. Шостак [70].

Чинник агрофону. Рослинність може виконувати як стимулюючу, так і захисну функцію. Захисна функція полягає в можливості зменшення ударної сили крапель дощу залежно від типу кореневої системи та її зв'язуючій властивості [71; 72]. Також після збору врожаю та використання кореневих залишків як удобрення збільшується водопроникність, внаслідок чого підвищується протиерозійна стійкість. Весняний змив може зменшуватися завдяки агрофону, що пов'язано, насамперед, із властивістю затримання зимових опадів та їх рівномірного розподілу. Внаслідок цього відбувається зменшення глибини промерзання ґрунту, а, відповідно, й змиву талими водами [73].

П. С. Захаров, Р. Морган, О. О. Світличний, Г. І. Швєбс відзначають, що рослинний покрив чинить значний вплив на розвиток ерозії, при чому наявність багаторічних трав підвищує, а просапних культур знижує протиерозійну стійкість ґрунтів [64; 65; 73]. Такі властивості пов'язані як із будовою кореневої системи, так і з типом обробітку певної культури.

Чинник агротехнічних заходів. У переважній більшості вид сівозміни визначає тип обробітку під час вегетаційного періоду. Дослідженням питання впливу агротехнічних заходів на інтенсивність ерозійних процесів займалися Н. К. Шикула [61], М. Неаринг [74], В. Едвардс [75], Д. Фланаган [76], Дж. Мітчел [77], Г. Кант [78], В. П. Герасименко [79], К. Гудзон [80] та ін.

Комплекс агротехнічних заходів повинен проводитись відповідно до конкретних умов, які характерні для певної території. В табл. 1.6 наведені значення ефективності ґрунтозахисних способів під час боротьби зі змивом [62].

Таблиця 1.6.

Ефективність обробітку чорноземів

Агротехнічні заходи	Об'єми змитого ґрунту, що не відбувся <i>т/га</i>
Зяблева оранка впоперек схилу	5,9
Глибока оранка на 30–35 см	2,7
Оранка з переривчастим борознуванням	7,5
Оранка з одночасним лункуванням	5,5
Щілювання пару, озимих, багаторічних трав	9,0
Обвалування або гребеняста оранка	6,8
Безвідвальний, плоскорізний обробіток пару	7,4
Снігозатримання або валування снігу	3,0
Смугове ущільнення снігу	3,5

На якісно новий рівень вивчення впливу агротехнічних заходів на протиерозійний захист ґрунту вийшли після розробки моделі водної ерозії Water Erosion Prediction Project (WEPP) [64; 76]. Головною складовою моделі було дослідження ефективності рослинного покриву та типу обробітку ґрунту. Наступним етапом стала удосконалена версія WEPP (1995 р.), представлена у вигляді програмного продукту, автоматизуючи таким чином процес моделювання.

Чинник рельєфу. Рельєф земної поверхні є сукупністю геометричних форм, одним із основних факторів, що обумовлює й формує різні геодинамічні

процеси як результат взаємодії ендо- та екзогенних процесів різних масштабів їх прояву [81].

Вивченням впливу рельєфу та окремих його елементів на виникнення та інтенсивність водної ерозії займалась значна частина науковців. Серед них доцільно виділити акцентовані роботами напрями досліджень таких учених: С. С. Соколов вважав, що змив збільшується та інтенсифікується при різних формах схилу (на випуклих інтенсивність змиву зростає у підніжжя при зростанні кута нахилу, на ввігнутих – інтенсивність зростає біля вододілу та зменшується біля підніжжя, прямі схили в деякому наближенні подібні до ввігнутих схилів) [82]; Г. І. Швєбс – змив пропорційний крутизні схилу в деякій степені n , значення якого варіює від 0,7 до 2,2 [83]; Г. П. Сурмач – змив пропорційний довжині схилу в деякій степені m , значення якого варіює від 0,2 до 1,5 [84]; В. Д. Іванов – експериментально підтвердив залежність інтенсивності змиву від форми схилу, що, у свою чергу, визначає регіональні особливості рельєфу, тоді як властивості ґрунтів визначають вплив решти факторів (опадів, рослинності, експозиції тощо) [85]; І. В. Якимова пропонувала вводити в рівняння змиву значення поперечного профілю схилу [86]; Г. А. Ларіонов вважав, що інтенсивність змиву також залежить від крутизни та довжини, проте у математичній інтерпретації запропонував удосконалити підхід Вішмеєра-Сміта (1978 р.) по розбиттю схилу на елементарні ділянки, в яких чергувались зони акумуляції та транспортування [53].

Численні дослідження процесу водної ерозії показують, що чинниками, які безпосередньо впливають на процес змиву ґрунту є деякі характеристики рельєфу [34; 44; 50; 53]. За даними значної кількості досліджень елементами рельєфу, які формують інтенсивність ерозії є довжина й крутизна [2; 4; 55]. Існує значна кількість емпіричних рівнянь, що показують вплив цих елементів та їх сукупності на ерозію ґрунтів [35]. В основному значна частина з них неподібні. Це викликано, насамперед, суб'єктивними дослідженнями для конкретної території. Показником, який достовірно оцінює сумарний вплив складових елементів орографічного фактора, слугує ерозійний потенціал рельєфу – ЕПР. В математичних моделях, які оцінюють змив ґрунту, цей

показник визначається як добуток довжини на кут нахилу – $L^m S^n$, де коефіцієнти m та n – коливаються в межах 0,7-1,5 [5].

Питанням впливу крутизни на змив ґрунту займалась значна кількість ерозієзнавців. Здійснюючи аналіз їх робіт, можна зробити висновок про наявність чітко виражених чотирьох напрямів досліджень. До першого напрямку відносяться роботи Н. Г. Конокотіна [87], А. Н. Костякова [88], Ц. Е. Мірцхулави [50], G. Moeuyersons, G. De Plory [89], котрі вважали, що величина змиву ґрунтів із схилів визначається числовим значенням крутизни, яке менше одиниці.

Друга частина дослідників відзначають залежність змиву ґрунту з схилів від крутизни, значення коефіцієнта якої становить більше одиниці. Це Н. Гудзон [90], Х. Л. Пенман [91], А. Ф. Суліма [92], А. М. Бурикін [93], В. С. Федотов [94], W. H. Wischmeier, D. D. Smith [95], A. W. Zingg [96]. Третя частина дослідників (Н. Х. Бабаєв, К. К. Балгабеков [97]; І. А. Кузнік [98]) переконана, що величина змиву ґрунту зі схилу прямо пропорційна крутизні, тобто числове значення показника приймається рівним одиниці. В. К. Сальников [99], Г. П. Сурмач [16], Г. І. Швєбс [55] вважають, що значення показників змиву можуть змінюватися із відповідною зміною конкретних умов стоку. Для умов півдня Волині це положення підтверджено проведеними Поліською філією Інституту ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського досліджень площинного змиву ґрунту в межах Горохівського району. На нашу думку, визначення впливу крутизни на змив ґрунту зі схилів у чистому вигляді не може виконуватись, оскільки такий процес обумовлюється індивідуальними характеристиками додаткового набору чинників, які можна отримати тільки при вивченні рельєфу різними підходами. Тому необхідно здійснити аналіз регіональних особливостей дослідної території. Це відповідно дасть можливість зменшити похибки, які виникають при використанні існуючих математичних моделей водної ерозії, та водночас скорегувати їх, адаптувавши до регіональних умов.

1.3.2. Вибір модельного об'єкту досліджень

Оскільки знаходження чинників опадів, агрофону, типу обробітку та в деякій мірі властивостей ґрунтів здійснюється в камеральних умовах, то дані про сучасний стан рельєфу можливо отримати з польових геодезичних вимірювань. Циклічність спостережень дає змогу оцінити масштаби і динаміку змін протягом визначеного періоду досліджень. Такі спостереження необхідно здійснювати на типових ділянках для певної природної зони (в нашому випадку лісостепової зони Волині) – комплексних регіональних геостационарах (КРГ) [100].

З цією метою було проаналізовано цифрову модель рельєфу півдня Волинської області та літературу по регіональних дослідженнях водної ерозії [47; 48; 101; 102; 103]. В результаті обрано територію, що за усіма необхідними показниками є типовою ділянкою лісостепової зони Волині – сільськогосподарські землі на території Заборольської сільської ради Луцького району Волинської області (рис. 1.6).

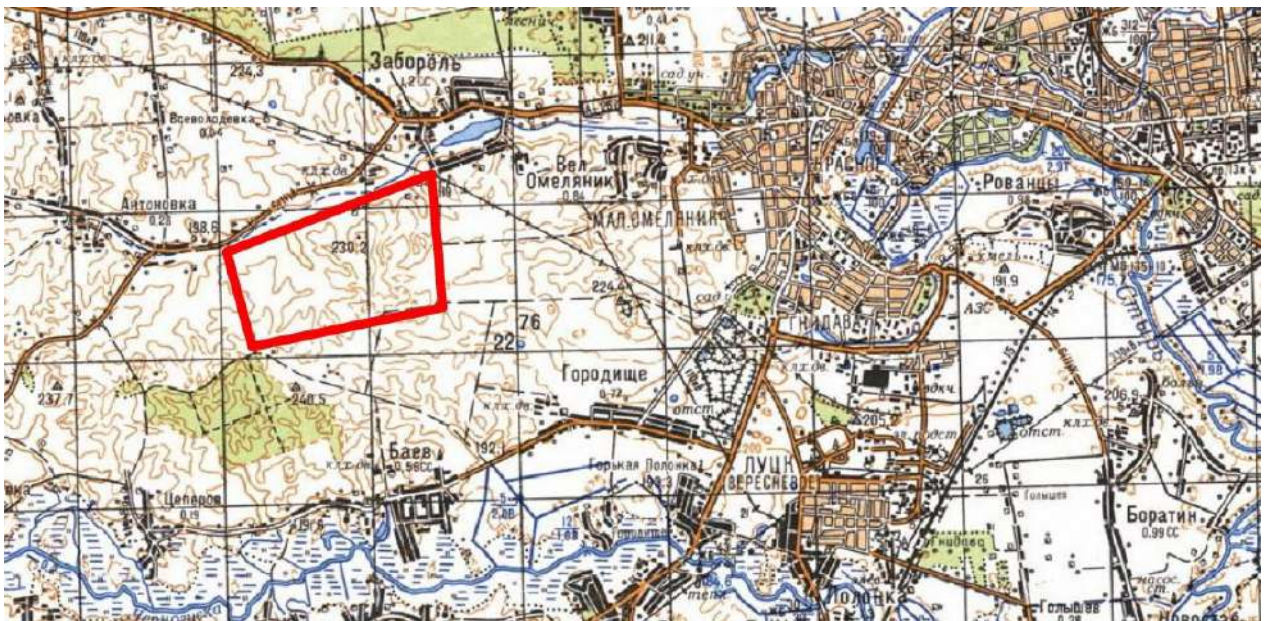


Рис.1.6. Комплексний регіональний геостационар на території Заборольської сільської ради Луцького району Волинської області (фрагмент топографічної карти масштабу 1 : 100 000)

Комплексний регіональний геостационар (КРГ) площею 500 га розташований в межах Луцько-Рівненського агровиробничого району, і характеризується ареалами поширення чорноземів типових, чорноземів

опідзолених, темно-сірих, сірих та ясно-сірих опідзолених ґрунтів на лесовидних суглинках, з вкрапленням дерново-підзолистих, дернових та інших ґрунтів [103].

Набір геоморфологічних характеристик досліджуваної території відносять її до фізико-географічної області Волинського лісостепового Опілля, що належить вододільній ділянці в межиріччі р. Омелянівка та р. Черногузка з перепадом висот 42 м. Потужність гумусового горизонту складає 25-45 см, процентний вміст гумусу – 1,15-3,42 %. Середня багаторічна кількість опадів становить 532 мм, середня товщина снігового покриву – 100-120 мм, що відповідає помірно-континентальному типу клімату з незначними запасами талих вод. Агротехнічні показники характеризують досліджувану територію як таку, що містить сівозміни з зернових, технічних та кормових культур. Середні об'єми змитого ґрунту становлять більш як 10 т/га/рік [47; 48].

Досліджувана територія характеризується абсолютними висотами понад 230 м, показниками горизонтального розчленування 0,2-0,8 км/км² і вертикального розчленування до 40-80 м/км². В структурі площ комплексного регіонального геостаціонару схили крутизною до 0,5° займають 5% від площі досліджуваної території, 0,5-1,5° – 26%, 1,5-3,0° – 37%, 3,0-6,0° – 28%, а схили крутизною понад 6° складають 4%.

Середня довжина схилів досліджуваної території складає 50-300 м (90% від загальної площі комплексного регіонального геостаціонару), а їх максимальна довжина досягає 750 м. За експозицією домінуючими є східні схили, що складають 40,9%, північні схили займають 9%, західні – 10%, а південні – 4%. За формою фоновими є увігнуті схили (85% від загальної площі комплексного регіонального геостаціонару), а схили з опуклими, прямими і складними профілями мають другорядне значення і складають всього 15%.

Геодезичне забезпечення спостережень за водно-ерозійними процесами на всій території КРГ було виконано спеціалістами кафедри геодезії, землепорядкування та кадастру Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки в період 2011–2013 рр. в розрізі науково-дослідної роботи за темою: „Дослідження сучасного стану та розробка

засобами ГІС-технологій і РЕМ-мікроскопії засад раціонального землекористування ерозійно-деградованих земель Волинської височини” (реєстраційний номер 0111 U 002146). Опис наукових розробок (методик), інструкцій та державних стандартів України згідно яких виконувались роботи, схеми розміщення пунктів знімальної геодезичної основи та знімальних планшетів топопланів масштабу 1 : 2 000 та типи використаних геодезичних приладів наведені в [додатку В](#) (рис. В.1., В.2).

Висновки до розділу 1

1. На основі багаторічних статистичних та великої кількості фондових матеріалів ДП «Волинський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою» визначений високий показник динаміки еродованості ґрунтового покриву Волинського Опілля. В результаті аналізу кількісних характеристик ерозійного стану встановлено: за останні 25 років площа еродованих земель збільшилася на 50 тис. га; екстремально-максимальний змив становить 21 т/га/рік; середньорічні темпи приросту змитих площ сільськогосподарських земель знаходяться в межах 2-2,5 %.

2. Виконавши аналіз сучасних ерозієзнавчих досліджень, можна зробити висновок про значну кількість методів та математичних моделей площинного змиву ґрунту більшість з яких носять суб’єктивний характер. Це зумовлене обмеженістю для території досліджень отриманих даних та складністю відтворення експериментів в натурних умовах. З метою уникнення часткової подібності і отримання недостовірних даних запропоновано здійснити дослідження змивних процесів регіонального рівня Волинського Опілля різними підходами (РЕМ-мікроскопія, короткобазисна фотограмметрія, тематична картографія).

3. В сучасних науково-практичних моніторингових дослідженнях ерозійно небезпечних земель необхідно враховувати проблеми раціонального використання та охорони земель з попереднім здійсненням оцінки існуючого, прогнозування можливого стану земельних ресурсів, а також встановлення закономірностей поширення деградаційних процесів з широким впровадженням ГІС-технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Шарый П. А. Топографический метод вторых производных // Геометрия структур земной поверхности. Пущино: ПНЦ АН СССР. – 1991. – С. 30-60.
2. Florinsky I. V. Derivation of topographic variables from a digital elevation model given by a spheroidal trapezoidal grid // International Journal of Geographical Information Science. – 1998. – Vol. 12. – № 8. – P. 829-852.
3. Романова Е. Н. Принцип расчета и картирования влажности почвы на морфометрической основе // Климат почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 39-51.
4. Лопатин Д. В., Ласточкин А. Н. Геоморфология (1-ая часть), Учебное пособие, Москва, Издательский центр "Академия", 2005 – 518 с.
5. Черванев И. Г. Моделирование и автоматизированный анализ рельефа: методологические аспекты // Проблемы системно-информационного похода к познанию рельефа. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 14.
6. Байрак Г. Р. Аналіз рельєфу і природокористування рівнин заходу України за аерокосмічними даними: Монографія / Г.Р. Байрак. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. – 296 с.
7. Процик М. Т. Методи фотограмметричного та картографічного супроводу багаторівневої системи моніторингу ерозійних ґрунтових процесів: автореф. дисертації канд. техн. наук / М. Т. Процик. – Львів, 2012. – 26 с.
8. Ковальчук І. П. Ерозійні процеси Західного Поділля: польові, стаціонарні, експериментальні та морфометричні дослідження: Монографія. – Київ-Львів.: Ліга-Прес, 2013. – 296 с.
9. Рудий Р. М. Методи дослідження рельєфу земної поверхні: Автореф. дис. д-ра техн. наук / Р.М. Рудий, Держ. ун-т Львів. політехніка. – Л., 1999. – 32 с.
10. Позняк С. П. Чинники ґрунтознавства / С. П. Позняк, Є. Н. Красєха. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 400 с.
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fao.org/>

investment/tci-publications/publications-detail/en/c/287517/ (Україна: родючість ґрунтів як запорука стійкості до змін клімату (Попередня оцінка потенційних вигод впровадження ресурсозберігаючого сільського господарства. Рим, 2014))

12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://land.gov.ua/struktura-zemelnoho-fondu-ukrainy-ta-dynamika-ioho-zmin/>

13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/dopovidi> (Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2012 році).

14. Wischmeier W. H. Predicting rainfall erosion losses / W. H. Wischmeier, D. D. Smith // United States Department of Agriculture (USDA). Agriculture Handbook. – 1978. – № 537. – 65 p.

15. Добровольская Н. Б. О почвенно-морфологическом методе оценки поверхности эрозии / Н. Б. Добровольская, Г. А. Ларионов // Почвоведение. – 1999. – №6. – С. 742-748.

16. Сурмач Г. П. К методике расчета смыва почв на склонах / Г. П. Сурмач // Научно-технический бюллетень по проблеме «Защита почв от эрозии», 1978. – вып.2 (17). – С.7-18.

17. Якимова И. В. Методика расчета распределения поверхностного смыва на склонах // Эрозионно-аккумулятивные процессы и народное хозяйство. Деп. ВИНТИ №8087-В61.

18. Дедков А. П. Стационарные исследования и полевой эксперимент / А. П. Дедков, В. И. Мозжерин // Количественный анализ экзогенного рельефообразования. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1987. – С.3-11.

19. Мельник В. М. Геометричне дослідження ерозійних процесів методом триплетної квазіконвергентної фототопографії / В. М. Мельник, В. П. Мендель // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. 2012. – №18(243) – С. 179-186.

20. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и

смыва почв при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 88 с.

21. Моисеев А. А. Цезий-137, окружающая среда, человек / А. А. Моисеев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 93.

22. Байдакова Е. В. Регулирование перемещения радионуклидов по территории мелиоративными мероприятиями: автореф. диссертации техн. наук. / Е.В. Байдакова, – Брянск, 2009. – 24 с.

23. Павлоцкая Ф. И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М.: Атомиздат. – 1974. – 216 с.

24. Силантьев А. Н. Изменение параметров миграции ^{137}Cs в почве / А. Н. Силантьев, И. Г. Шкуратова // Атомная энергетика. – 1988. – Вып. 2, № 65. – С. 137-141.

25. Ломаев А. А. Геология карста Волыно-Подолии / А. А. Ломаев. – К.: Наук. Думка. – 1979. – С. 110.

26. Силантьев А. Н. Обнаружение промышленных загрязнений почвы и атмосферных выпадений на фоне глобального загрязнения / А. Н. Силантьев, И. Г. Шкуратова, Р. Н. Ходкевич. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 136 с.

27. Лоцилов Н. А. Проблемы радиации в агропромышленном комплексе после Чернобыльской аварии / Н. А. Лоцилов // Докл. АН Украины. – 1992. – № 1. – С. 133-137.

28. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при водной эрозии. – М.: Гидрометиздат. – 1975. – 88 с.

29. Романишин І. Класифікація та основні характеристики наземних 3D-сканерів / І. Романишин, А. Маліцький, В. Лозинський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. № II(24) – С. 69-74.

30. Тревого І. Аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів / І. Тревого, А. Баландюк, А. Григоращ // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип. 1 (19). – С. 170-176.

31. Бурштинська Х. Особливості відтворення гідрологічних об'єктів за матеріалами лазерного сканування місцевості / Х. Бурштинська,

А. Бабушка, О. Тарнавська, І. Василюха // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – Вип. 1 (15). – С. 200-213.

32. Rieke-Zapp D., Wegmann H., Santel F., Nearing M. Digital photogrammetry for measuring soil surface roughness [режим доступу: https://www.ipi.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/rie_weg_near_sant_asprs.pdf].

33. Rieke-Zapp D., Nearing M. Range photogrammetry for measuring of soil erosion. The Photogrammetric Record, № 20(109): March 2005, P. 69-87.

34. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCook D.K., Yoder D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agriculture Handbook #703, U.S. Department of Agriculture, Washington, 1993. – 404 p.

35. Король П. П. Аналіз та класифікація моделей площинного змиву ґрунту / П. П. Король, В. П. Мендель // Вісник НУВГП – 2012. – №1 (57) – С. 155 – 164.

36. Варфоломеев А. Ф. Изучение эрозионных факторов с использованием картографо-фотограмметрического метода: автореф. диссертации канд. географ. наук / А. Ф. Варфоломеев, – Москва, 1997. – 24 с.

37. Востокова Е. А. Картографирование по аэрокосмическим снимкам окружающей среды / Е. А. Востокова, Л. А. Шевченко, В. А. Сушня и др. – М.: Недра. – 82. – 251 с.

38. Байрак Г. Р. Дистанційні дослідження Землі: навчальний посібник / Г. Р. Байрак, Б. Муха. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. – 2010. – 712 с.

39. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: начв. посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. – Львів: Видавництво Львівської політехніки. – 2010. – 292 с.

40. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи: посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич – Львів: Львівська політехніка, 2013. – 292 с.

41. Гебрин Л. В. Обґрунтування технічних параметрів функціонування космічних апаратів в задачах моніторингу земельних ресурсів / Л. В. Гебрин // Український журнал дистанційного зондування Землі. – 2014. Вип. 2 – С. 41–46.

42. Бліндер Ю. С. Моделювання і картографічне відтворення площинного змиву ґрунтів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та тех. наук за спеціальністю / Ю. С. Бліндер. – Луцьк, 2006. – 22 с.

43. Ямелинець Т. С. Застосування географічних інформаційних систем у ґрунтознавстві: Навчальний посібник. Навчальний підручник / Т. С. Ямелинець – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 196 с.

44. Булигін С. Ю. Оцінка та прогноз ерозійних процесів в Україні (на прикладі ґрунтів степової зони) / С. Ю. Булигін, Д. О. Тимченко, М. І. Чайка // Вісник ХНАУ. Ґрунтознавство. – 2009. – № 1. – С. 45-57.

45. Вольнское лесостепное Ополье // Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование. – К.: Наук. думка, 1985. – С. 76-78.

46. Природа Волинської області / За ред. К. І. Геренчука. – Львів: Вища шк., 1975. – 147 с.

47. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2014 р. –160 с.

48. Регіональна програма охорони родючості ґрунтів Волинської області на 2004-2015 рр. Рішення обласної ради від 16.03.2004р. №10/22, від 27.08.2010р. №42/13.

49. Примак І. Д. Ерозія і дефляція ґрунтів та заходи боротьби з ними: навч. посіб. для студ. агроном. спец. вищ. аграр. закл. освіти III-IV рівнів акредитації / І. Д. Примак, С. П. Вахній, М. Я. Бомба, О. С. Тимощук, В. П. Гудзь та ін. – Біла Церква: Білоцерк. держ. аграр. ун-т, 2001. – 392 с.

50. Мирцхулава Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной

эрозии / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1970. – 240 с.

51. Світличний О. О. Основи ерозієзнавства: Підручник / О. О. Світличний, С. Г. Чорний – Суми: Університетська книга, 2007. – 266 с.

52. Маккавеев Н. И. Взаимная связь процессов эрозии и аккумуляции / Н. И. Маккавеев // Эрозионные процессы /под ред. Н. И. Маккавеева и Р. С. Чалова. – М.: Мысль, 1984. – С. 9 – 11.

53. Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во МГУ, 1993. – 200 с.

54. Хромов С. П., Мамонтова Л. И (1974). Метеорологический словарь. Гидрометеиздат.

55. Швевс Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.

56. Заславский М. Н. Эрозиоведение. М.: Высшая школа. 1983. – 320 с.

57. Кузнецов М. С. Эрозия и охрана почв: Учебник – 2-е изд. перераб. и дополн. / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов – М.: Колос. 2004. – 352 с.

58. Сурмач Г. П. Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. Волгоград, 1992. – 174 с.

59. Голубев И. А. Применение модернизированного метода шпилек для оценки смыва почв с пашни тальми водами (на примере Красноярской лесостепи) // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 347. С. 170-173.

60. Заславский М. Н. Эрозия почв и земледелие на склонах / М. Н. Заславский – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1966. – 494 с.

61. Шикун Н. К. Почвозащитная система земледелия. Справочная книга. – Харьков: Прапор. – 1987. – 198 с.

62. Иванов В. Д. Эрозия и охрана почв Центрального Черноземья России: Учебное пособие. / В. Д. Иванов, Е. В. Кузнецова // Воронеж: ВГАУ, 2003. – 360 с.

63. Гарифуллин Ф. Ш. Изменение свойств почв под действием эрозии / Ф. Ш. Гарифуллин, С. И. Федоров // Почвоведение. – 1997. – № 12. – С.1518 – 1520.
64. Светличный А. А. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты / А. А. Светличный, С. Г. Черный, Г. И. Швобс. – Сумы: Университ. кн., 2004. – 410 с.
65. Morgan R. P. C. The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments / R. P. C. Morgan, J. N. Quinton, R. E. Smith, G. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, M. E. Styczen // Earth Surface Processes and Landforms. – 1998. – Vol. 23. – P. 527-544.
66. Назаров Г. В. Зональные особенности водопроницаемости почв СССР. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1970. – 184 с.
67. Горбань В. Зв'язок водопроникності ґрунтів з іншими їхніми фізичними властивостями у лісових угрупованнях Присамар'я / В. Горбань // Вісник Львів. ун-ту. Сер. Біолог., 2007. – № 43 – С. 161-165.
68. Блэк К. А. Растение и почва. – М.: Колос, 1973. – 503 с.
69. Шанда В. І. ґрунт як середовище взаємовідносин рослин / В. І. Шанда, Л. В. Шанда // Ґрунтознавство, 2009, – Т. 10, № 1-2 – С. 14-22.
70. Мельник В. М. Растрово-електронна стереомікрофрактографія. Монографія / В. М. Мельник, А. В. Шостак. – Луцьк: ред.-вид. від. ВНУ ім. Лесі Українки, 2009. – 468 с.
71. Пилипенко О. І. Системи захисту ґрунтів від ерозії: підручник / О. І. Пилипенко, В. Ю. Юхновський, М. М. Ведмідь. – К.: «КОВЦ Златояр», 2004. – 436 с.
72. Косолап М. П. Система землеробства No-Till / М. П. Косолап, О. П. Кротінов. – К., 2011. – 372 с.
73. Захаров П. С. Эрозия почв и меры борьбы с ней [Текст] / П. С. Захаров. М.: Колос, 1971. – 191 с.

74. Nearing M. A. Evolution on the water erosion prediction project (WEPP) model for hillslopes / M. A. Nearing, A. D. Nicks // Modeling Soil Erosion by Water. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. – P.43-54.
75. Edwards W. M. Large storm effects on total soil erosion Text. / W. M. Edwards, L. B. Owens // J. of Soil and Water Cons. 1991. – № 1-2. – P 24-30.
76. Фланаган Д. К. Прогноз водной эрозии – проект министерства сельского хозяйства США (WEPP) / Д. К. Фланаган, Дж.М. Лафлен // Почвоведение. 1997. – № 5. – С. 600-605.
77. Эрозия почвы / М. Дж. Киркби, Дж. К. Митчелл, Г. Д. Бубензер и др // пер. с англ. и предисл. М. Ф. Пушкарева. – М.: Колос, 1984. – 415 с.
78. Кант Г. Земледелие без плуга. М.: "Колос", 1980. – 157 с.
79. Герасименко В. П. Оценка эффективности почвозащитных мероприятий // Почвоведение. – 1983. – № 9. – С. 104-113.
80. Гудзон Н. Охрана почв и борьба с эрозией. – М.: Колос, 1974. – 304 с.
81. Мельник В. М. Математико-морфометричні визначення локальних характеристик рельєфу за способами ДПФ і МНК. / В. М. Мельник, В. П. Мендель, В. Л. Расюн // Вісник НУВГП – 2014. – №2 (57) –С. 158 – 167.
82. Соболев С. С. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1948. – 308 с.
83. Швевс Г. И. Влияние рельефа и водной эрозии на сток // Водные ресурсы. – 1974. – № 2. – С. 62-78.
84. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
85. Иванов В.Д. Влияние крутизны и длины склонов на смыв почвы. // Почвоведение. – 1983. – № 5. – С. 115-123.
86. Якимова И. В. Количественная оценка рельефа при картографировании эрозиоопасных земель / Якимова И. В. – М. – 1988. – 24 с.
87. Конокотин Н. Г. Методическое вопросы обоснования

противоэрозионной организации территории / Н. Г. Конокотин. Моек, ин-т инженеров землеустройства. 1978. Вып. №3. – С.106-109.

88. Костяков А. Н. Основы мелиораций / А.Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 750 с.

89. Moeuyersons G., De Plory G. Quantitative data on splash erosion, stimulated on unvegetated slopes. – Z. Geomorphol., 1976, s. 25, p. 120-131.

90. Гудзон Н. Охрана почвы и борьба с эрозией / Н. Гудзон. М.: Колос, 1974. – 304 с.

91. Пенман Х. Л. Растения и влага. Л.: Гидрометеиздат, – 1968. – 161 с.

92. Сулима А. Ф. Противоэрозионная устойчивость и плодородие эродлируемых серых лесных почв Курской области: автореф. дис. канд. с.-х. наук / А. Ф. Сулима. – Воронеж, 1975. – 29 с.

93. Бурыкин А. М. Темпы эрозии и почвообразования в техногенных ландшафтах / А. М. Бурыкин // Восстановление и повышение плодородия земель техногенных ландшафтов (на примере КМА). – Воронеж, 1982. Т. 119. – С. 5-36.

94. Федотов В. С. Ливневая эрозия почв и лесомелиоративные меры борьбы с ней в Молдавии / В. С. Федотов. – Кишинев: Штиинца. – 1980. – 132 с.

95. Wischmeier W. H. Predicting rainfall erosion losses / W. H. Wischmeier, D. D. Smith // Agricultural handbook No. 537. Washington. 1978. – №537. – 65 p.

96. Zingg A. W. Degree and length of Land slope as it Affects Soil Loss in Runoff. J. Agricultur. Engineers, 1972, v. 21,1. N 2, p. 59-64.

97. Бабаев Н. Х. К обоснованию устойчивости почв размыву и смыву. / Н. Х. Бабаев, К. К. Балгабеков // Вестник сельскохозяйственной науки, 1971, № 5, – С. 76-79.

98. Кузник И. А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 220 с.

99. Сальников В. К. Минимализация обработки почвы в интенсивном

земледелии. / В. К. Сальников // М.: 1984. – 132с.

100. Полішвайко М. З. Ґрунти Волинської області / М. З. Полішвайко. – Львів: Каменяр. – 1969. – 64 с.

101. Радзій В. Ф. Морфогенетичні особливості ґрунтів Волинської височини / В. Ф. Радзій // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. – 1998. – Вип. 23. – С. 233-238.

102. Косцова Э. В. Районирование территории Центрально-Черноземных областей по строению пахотных склонов в целях их мелиорации. / Э. В. Косцова, О. П. Семенов, С. В. Хруцкий // Геоморфология. – 1982, – № 2, – С. 43.

103. Ґрунти Волинської області / М. Й. Шевчук та ін. – Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. держ ун-ту ім. Лесі Українки, 1999. – 158 с.

РОЗДІЛ 2. ФОТОГРАММЕТРИЧНІ ПІДХОДИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ТА ТЕОРЕТИКО-ЕМПІРИЧНА ОЦІНКА ПЛОЩИННОГО ЗМИВУ ҐРУНТУ

Сьогодні вивчення ерозійних процесів сільськогосподарських територій є ключовим етапом моніторингових спостережень в багатьох наукових напрямках. Це пояснює наявність різноманітних підходів із теоретичною базою та практичною реалізацією. Найголовніші з них дослідження довкілля на базі дистанційного зондування та прикладної фотограмметрії [104; 105; 106]; формування екологічно-збалансованих ландшафтів при проявах ерозії [107]; отримання достовірної вхідної інформації та надійної інтерпретації отримуваних результатів мінерального складу ґрунтів із використанням рентгенівського аналізу [108] тощо.

Крім методу моделювання важливим є створення алгоритму спостережень, який має найменші еколого-економічні затрати в умовах середнього та малого фермерського господарства з мінімізацією порушень процесу ведення сільськогосподарського виробництва. Практичне здійснення вивчення властивостей ґрунту на такому рівні можливе на основі використання методів прикладної фотограмметрії (короткобазисна фотограмметрія, РЕМ-мікроскопія) та тематичної картографії (карти пластики та анаморфованого зображення). Це у свою чергу дасть змогу застосовувати запропоновані методи як складові елементи ієрархічної структури моніторингу. Розглянемо можливість використання запропонованих методів для спостережень за ерозійно небезпечними територіями.

2.1. Фотограмметричне забезпечення ерозієзнавчих досліджень.

Використання проаналізованих в розділі 1 методів потребує значного як технологічного так і технічного забезпечення. Пропонуємо використання оперативних методів фіксування змивних процесів з метою отримання статистичної інформації про змив та з можливістю удосконалення (адаптації) існуючих моделей водної ерозії в прогностичних застосуваннях. Для здійснення поставлених завдань необхідно чітко сформулювати основні (базові) принципи удосконалення. Для розуміння суті запропонованих модифікувань, представимо коротко новаторські

методи, якими будемо користуватись під час досліджень водної ерозії в межах Волинської височини.

Невід'ємною складовою вирішення проблеми раціонального використання та охорони земель в сучасних науково-практичних дослідженнях є застосування комплексних спостережень, які дають змогу здійснювати оцінку існуючого, прогнозування стану земельних ресурсів, а також встановлення закономірностей поширення деградаційних процесів, зокрема, ерозійних.

Дослідження змивних процесів необхідно здійснювати в контексті загальної системи моніторингу довкілля за конкретною для таких спостережень ієрархічною структурою [7]. Основою ієрархічних структур моніторингу довкілля є критерій територіального охоплення. В нашому випадку доповнення структури рівнів системи моніторингу виглядає так як подано в таблиці 2.1.

Запропоновано здійснювати спостереження на трьох різних рівнях моніторингу (*детальний, локальний та регіональний*) з доповненням новими методами фіксування властивостей ґрунтів, змивних процесів та морфометрії рельєфу.

*Детальний (РЕМ)*³ рівень дослідження передбачає встановлення взаємозв'язків між морфометричними і геометричними характеристиками мікроструктури досліджуваних ґрунтів, їх складу та фізичними властивостями. Важливим моментом таких досліджень є використання даних з опрацьованих РЕМ-знімків шліфів зразків ґрунту з метою отримання якісних характеристик: фільтраційних властивостей, структури порового простору, ступеня організації мікроструктури з використанням ентропійних характеристик як характерних ознак протиерозійної стійкості ґрунтів.

Використання растрово-електронно-мікроскопічних (РЕМ) досліджень в процесі вивчення основних характеристик еродованого ґрунту дає змогу встановлювати прямі зв'язки зміни порового простору під впливом опадів та морфометрії схилу. Опрацювання РЕМ-знімків дозволяє створювати „об'ємні” 3D-зображення мікротопографії поверхні без приготування спеціальних реплік, як це потрібно в просвічуючій електронній мікроскопії.

³ Результати досліджень ерозійно-небезпечних ґрунтів за даним методом представлені в розділі 2 п 2.3.2 та розділі 3 п.3.3.1.

Види досліджень водної ерозії*

Методи досліджень/Рівень	Об'єкти досліджень	Фізична суть отриманих результатів
Растрова електронна мікроскопія (РЕМ)/Детальний	Шліфи зразків ґрунту (РЕМ)	Встановлення взаємозв'язку між морфометричними й геометричними характеристиками мікроструктури досліджуваних ґрунтів, їхнім складом і фізичними властивостями, а також вивчення фільтраційних властивостей ґрунту, структури порового простору зразків; використання ентропійних характеристик для визначення ступеня організації мікроструктури, що має тісний кореляційний зв'язок із протиерозійною стійкістю; встановлення мікрочасток ґрунту, що найбільш піддатливі процесам ерозії за (ЦММР) шляхом визначення спектральної щільності та автокореляційної функції (АКФ).
Короткобазисна фотограмметрія (КБФ)/Локальний	Ділянки схилів 1×1 м (елементарні стокові майданчики (ЕСМ))	Побудова 3D-моделей поверхні та картограм змиву досліджуваного ґрунту; визначення об'ємів змитого ґрунту за TIN- або GRID-моделями; оцінка стану мікрорельєфу ґрунтового покриву; верифікація відомих моделей ерозії ґрунту з використанням отриманих за методом короткобазисної фотограмметрії (КБФ);
Робота з цифровими моделями рельєфу (ЦМР)/Регіональний	Території площею 50-500 га (комплексні регіональні геостационари (КРГ))	Аналіз цифрової моделі рельєфу (ЦМР) території з подальшим отриманням основних морфологічних показників (крутизни, експозиції, форми схилів), виділення мережі орографічних ліній (вододілів і тальвегів), що дає змогу здійснити апробацію математичних моделей змиву за фактором рельєфу; побудова карт пластики;
	Частини природних зон площею 50-500 тис. га (універсальний зональний геостационар (УЗГ))	Виявлення зон найбільше підданих ерозійним процесам за ЦМР, побудова карт експозиції, ухилу, кривин, гіпсометрії, карт анаморфоз.

*Складено автором

Застосування РЕМ-мікроскопії є важливим при удосконаленнях та модифікаціях відомих підходів, які використовуються при моделюванні та протиерозійному проектуванні [106]. За опрацьованими РЕМ-знімками та отриманими профілями поверхні мікрорельєфу обчислюється ентропія розподілу амплітуд за профілем. Це характеризує ступінь неоднорідності мікрорельєфу поверхні зразка, а показники їх ентропійних характеристик дають змогу визначити ступінь організації мікроструктури ґрунту, від якої значною мірою залежить протиерозійна стійкість.

Локальний (ЕСМ) рівень дослідження здійснюється на ділянках схилів розміром 1×1 м – елементарні стокові майданчики (ЕСМ). Організація та опрацювання результатів польових спостережень включає: виготовлення спеціального тест-об'єкта, фотоустановки, безпосереднього фотографування поверхні до та після дощу, обробка стереозображень, побудова 3D-моделей поверхні та картограм змиву досліджуваного ґрунту (масштаб 1:50), а також визначення їх об'ємів за TIN- або GRID-моделями. За результатами польових досліджень виконується верифікація відомих моделей ерозії ґрунту (використання методу короткобазисної фотограмметрії).

Спостереження за ерозійно-небезпечними землями на *регіональному (КРГ)* рівні передбачають створення базових цифрових моделей об'єктів (території площею 50-500 га – комплексні регіональні геостаціонари – КРГ), які піддаються деградаційним процесам на основі оцифрування існуючих картографічних матеріалів, використання даних топографічних знімків, отримання просторової інформації з даних дистанційного зондування Землі тощо.

Важливою складовою даного рівня є аналіз цифрової моделі рельєфу (ЦМР) досліджуваної території з подальшим отриманням основних морфологічних показників (крутизни, експозиції, довжини схилів), а також виділенням мережі орографічних ліній (вододілів і тальвегів).

За результатом опрацювання створених ЦМР виконується ерозійне районування регіону шляхом виділення територій, яким притаманні різні ступені небезпеки ерозійних процесів. В свою чергу класифікація частин

регіону визначить кількість подальших локальних та детальних досліджень. Важливою складовою регіонального рівня є отримання карт-основ з відображенням відповідних статистичних показників змиву, а також постійне узагальнення інформації спостережень на стаціонарних площадках (полігонах). Це дає змогу виконувати комплексний аналіз ситуації з подальшим прийняттям коректних управлінських рішень, які забезпечать відповідне запобігання процесам змиву (протиерозійне проектування тощо).

Використання ЦМР дає змогу здійснювати математичне моделювання змиву, а також картографування ерозійно-небезпечних ділянок. Розробка адаптивних математичних моделей водної ерозії є важливою і актуальною для сьогодення задачею. Отримання конкретних математичних моделей площинної ерозії повинна враховувати домінуючі чинники. Оскільки, має місце велика кількість основних і другорядних факторів ерозії, то з метою вибору найоптимальніших моделей потрібно здійснювати їх класифікацію.

Використання будь-якої моделі потребує конкретних дослідних матеріалів (створення умов для дослідів, наявність вихідних даних (статистичні, картографічні), підготовка ділянки для спостережень, підбір та калібрування обладнання, наявність лабораторного устаткування й т. д.) та поставлених завдань з оперативності, об'єктивності та, найголовніше, точності отриманих результатів. Математичне моделювання є перспективним та пріоритетним у сфері контролю, планування використання та обліку ерозійно-небезпечних територій сільськогосподарських угідь.

З позиції організації державної системи моніторингу за ерозійно-небезпечними територіями України очевидно, що головну увагу слід надавати територіям, де умови активізації ерозійних процесів найінтенсивніші. На цих територіях або окремих їх частинах, необхідно створювати спеціальні стаціонарні мережі пунктів контролю і (або) точок багаторічних безперервних спостережень за динамікою розвитку ерозійних процесів для виявлення закономірностей змін стану території, складання основи для оптимального

прогнозування розвитку процесів (*регіональний рівень (УЗГ)* – універсальні зональні геостаціонари).

Організація і ведення моніторингу ерозійно-небезпечних земель на зональному (зона Волинського Опілля –УЗГ) рівні полягає в наступному:

- визначенні (пошуку) переліку показників для діагностики ерозійно-небезпечних земель;
- створенні базових цифрових моделей об'єктів ерозії на основі матеріалів топографічних карт масштабів 1:25000 –1:100000;
- визначенні ділянок або природно-територіальних угруповань, які потребують проведення досліджень на нижчих рівнях моніторингу (регіонального, локального, детального);
- проведенні ерозійного районування досліджуваної території з виділенням районів поширення ерозійних процесів за видами (водна, вітрова) і ступенем небезпеки (низька, висока)⁴;
- проведенні картографування стану території та визначення мереж стаціонарних пунктів контролю і точок спостереження для проведення подальших детальних періодичних досліджень;
- постійному узагальненні інформації спостережень на стаціонарних полігонах, її аналізі та поданні управлінських рішень щодо запобігання негативним процесам з подальшим усуненням їх наслідків.

Даний рівень досліджень відображає міжрегіональну специфіку природних та антропогенних умов виникнення площинної ерозії. Масштаби таких досліджень повинні співпадати з відповідним масштабом картографічних матеріалів для завдань кадастру, а саме 1:10000 – індексна кадастрова карта або ортофотокарта для с/г угідь.

Специфічність застосування запропонованих рівнів призводить і до такого ж подання картографічного матеріалу. Відповідно виникає необхідність

⁴ Такий аналіз проводився на початку досліджень для вибору об'єкту спостережень, проте в розділі 4 подані матеріали як результати проведених досліджень на нижчих рівнях спостережень з метою отримання повної картини ерозійних процесів на регіональному рівні (КРГ та УЗГ).

синхронної подачі результатів досліджень та створених в їх ході ілюстративних матеріалів. Це говорить про важливість використання сучасних засобів створення картографічних матеріалів. Використання ГІС дасть змогу здійснити повну довершеність проведених досліджень та встановлювати проміжні дані з метою якісного підбору емпіричних даних. Тому, в останньому розділі дисертації нами пропонується розглянути використання новаторських підходів в картографуванні ерозійно–трансформованих земель (метод пластики, метод анаморфованого зображення).

2.2. Дискретна оцінка площинної ерозії методом короткобазисної фотограмметрії – метод елементарних стокових майданчиків

Значна кількість методів визначення об’ємів змитого ґрунту свідчить про інтенсивний, різноплановий та різномасштабний рівень проходження ерозійних процесів (розділ 1, п.1.2.). При використанні класичного підходу визначення об’ємів змитого ґрунту в дискретних точках 1×1 м використання методу мікронівелювання (метод шпильок) є утрудненим з ряду очевидних причин: вибір матеріалу та діаметру шпильки, їх необхідну кількість, постійне зберігання в робочому положенні, неможливості врахування природних впливів (в нашому випадку використаний метод шпильок, як порівняльний, в двох з шести контрольних точках залежний від виникнення „кротовин”). У цьому випадку доцільно використовувати мобільні способи спостережень за змивними процесами. Запропоновано використовувати короткобазисну фотограмметрію [109].

Як відомо [с.39, 110], в основі теорії фотограмметричного методу покладено відомі рівняння колінеарності:

$$\begin{aligned} F_x &= x \cdot \bar{Z} - f \cdot \bar{X} = 0, \\ F_y &= y \cdot \bar{Z} - f \cdot \bar{Y} = 0. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Звідси (2.1):

$$\begin{aligned} \bar{X} &= a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s) \\ \bar{Y} &= a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s) \\ \bar{Z} &= a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s), \end{aligned} \quad (2.2)$$

де $(a_i, b_i, c_i, i = 1, 2, 3)$ – напрямні косинуси, (X_s, Y_s, Z_s) – лінійні елементи зовнішнього орієнтування фотознімків, (X, Y, Z) – просторові координати точки, (x, y) – виміряні на ЦФС фотокоординати точок об'єкту.

Задачу розв'язують в два етапи. Спочатку визначають елементи зовнішнього орієнтування фотознімків на основі оберненої фотограмметричної засічки.

Після розв'язання оберненої фотограмметричної засічки на другому етапі визначають із розв'язку прямої фотограмметричної засічки просторові координати точок об'єкту [109]. Такий варіант короткобазисної фотограмметрії можливий із застосуванням спеціального тест-об'єкту – металевої рами, виготовленої на приладобудівному заводі ПАТ „Електротермометрія” в м. Луцьк (рис. 2.1). Через рівні проміжки по периметру були закріплені опорні точки у вигляді трикутних призм різної висоти: кутові – А, В, С, D і проміжні – а, b, c, d, e, f, k, m. Опорними точками слугували перехрестя металевих взаємно перпендикулярно закріплених струн, всього 25 штук, а також круглі отвори закріплення на краях рами – 20, разом 57 опорних точок. Товщина струни становила 0,015 мм.

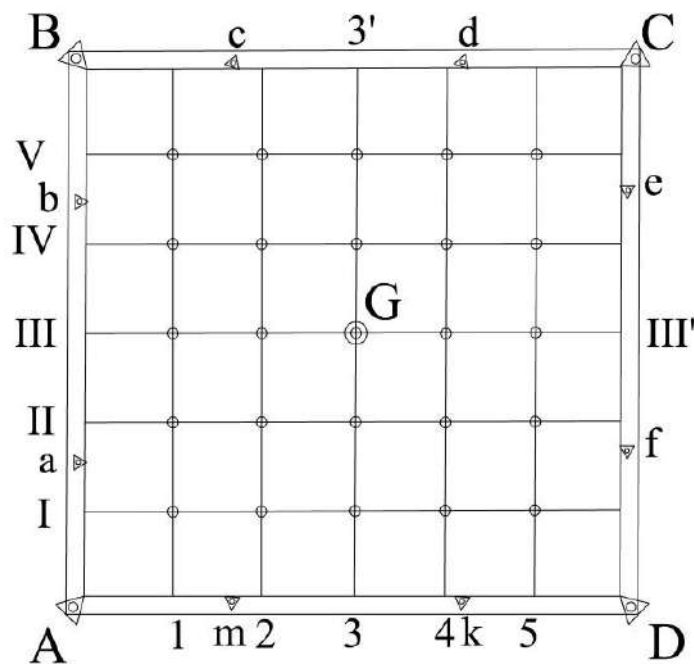


Рис. 2.1. Загальний вигляд тестової рами.

Лінійні вимірювання опорних точок виконувалися женеvською лінійкою (точність 0,2 мм, табл. 2.2). Врівноваження здійснено методом геодезичного чотирикутника (ABCD) та центральної фігури з полюсом в точці G, утвореної опорними точками (G A III B 3' C III' D 3 A). Середньоквадратичні похибки становлять: $m_{x,y} = \pm 2\text{мм}$ та $m_z = \pm 1,5\text{мм}$.

Таблиця 2.2

Координати вершин трикутних призм

Назва точки	Координати (мм)		
	X	Y	Z
A	-4,0	-4,0	50,3
B	-0,9	603,8	14,0
C	598,8	602,8	53,5
D	593,5	-4,0	7,0
a	-3,2	163,0	60,0
b	-1,9	420,0	25,0
c	167,9	603,5	14,0
d	458,9	603,0	14,0
e	597,2	422,5	25,5
f	594,9	166,0	20,0
k	441,5	-4,0	30,0
m	150,0	-4,0	5,0

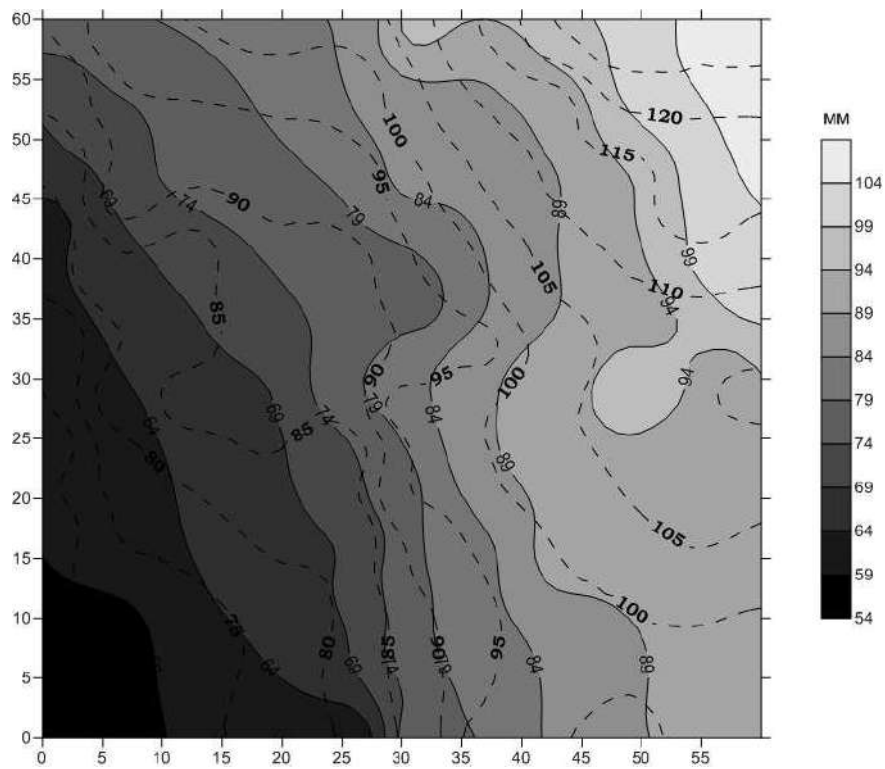
Для польових стереознімальних робіт використано фотокамеру NIKON D90 (фокусна відстань $f = 20$ мм, розрізнення матриці 12,9 мегапікселів, розмір сенсора $23,6 \times 15,8$ мм, формат знімка 4288×2848 пікселів), встановлену на спеціально виготовлену для короткобазисної фотограмметрії фотоустановку. Параметри стереознімання висота $H = 1,2\text{м}$, $B = 0,41\text{м}$, масштаб 1:60, базисне співвідношення – 1/3. Стереовимірювання виконано на ЦФС „Дельта”.

На рис. 2.2 подано стереопару нульового циклу елементарного стокового майданчика.



Рис.2.2. Лівий та правий знімки тест-об'єкта на елементарному стоковому майданчику.

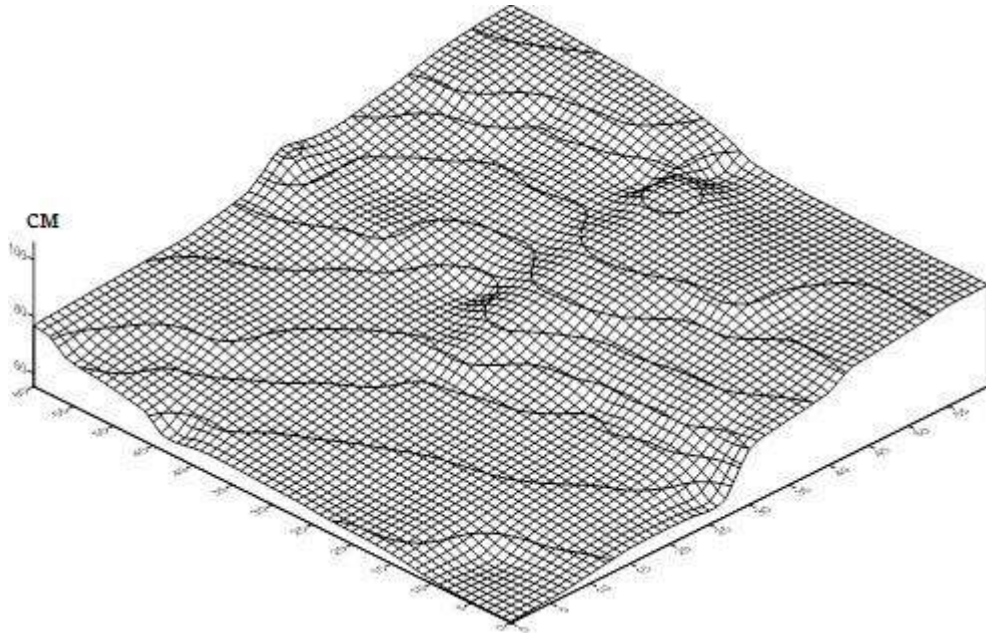
Результатом виконаних досліджень стала картограма змиву (рис. 2.3).



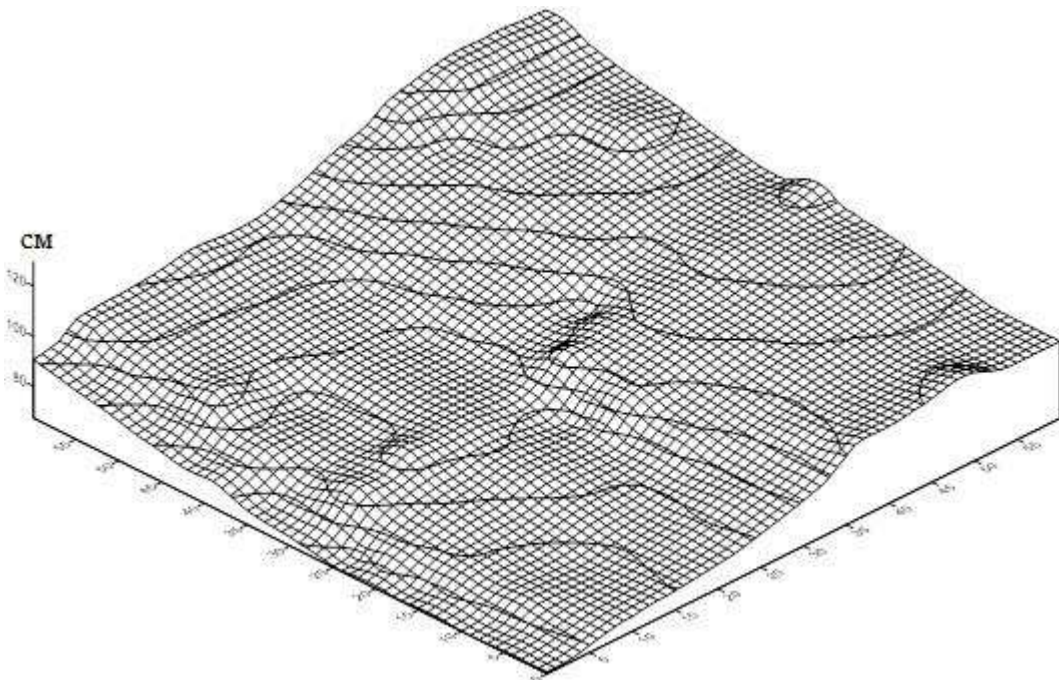
— — ізолінії до початку зливи
 - - - — ізолінії після закінчення зливи

Рис. 2.3. Картограма змиву, побудована за здійсненим набором точок

Для візуалізації побудовано цифрові 3D-моделі поверхні ґрунту, знаходження позначок якої виконувалось за стереопарами, отриманими до початку зливи (рис. 2.4, а) і після її закінчення (рис. 2.4, б).



а)



б)

Рис. 2.4. 3D-моделі поверхні ґрунту до початку зливи (а) та після закінчення зливи (б)

Оперативність даного методу фіксування змін висоти досліджуваної поверхні очевидна: кількість контрольних точок на стереознімку можна збільшити в камеральних умовах; внесення вхідної інформації до комп'ютера для побудови супроводжуючих карт-матеріалів здійснюється в автоматичному режимі; можливість корегування отриманих даних без повторного виїзду на місцевість; використання отриманих знімків для візуального сприйняття процесу змиву на будь-якому етапі постактивних вивчень.

Для розрахунку об'ємів змитого ґрунту використано метод профільних січень, побудованих через рівні проміжки, що становлять 10 см на місцевості. Їх використано як базові при визначенні інтенсивності змиву ґрунту за неметричними знітками короткобазисного стереознімання [111]. Для порівняння додатково вираховано об'єм змитого ґрунту за TIN-моделлю за способом трикутних призм [112].

Для цього випадку об'єм змитого ґрунту дорівнює різниці об'ємів ґрунту відносно умовної поверхні на початку й у кінці відповідного етапу зливи.

Очевидно, в межах кожної трикутної призми об'єм обчислюється з виразу:

$$V_i = S_i h_{icp} = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \bar{h}_i & \bar{h}_i & \bar{h}_i \\ X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \end{vmatrix}, \quad (2.3)$$

де S_i – площа основи, що визначається за координатами вершин основи трикутної призми, h_{icp} – середнє значення висоти, $X_1 - X_3$ та $Y_1 - Y_3$ – планові координати. Для i -тої трикутної призми $h_{icp} = (h_1 + h_2 + h_3)/3$.

Повний об'єм дорівнює сумі елементарних об'ємів:

$$V_{повн.} = \sum_1^N V_i. \quad (2.4)$$

Для способу вертикальних профільних січень з очевидних побудов об'єм змитого ґрунту складатиме:

$$V_{повн.} = V_1 + V_2 + \dots + V_k = \frac{S_1 + S_2}{2} L_1 + \frac{S_2 + S_3}{2} L_2 + \dots + \frac{S_k + S_{k+1}}{2} L_k, \quad (2.5)$$

де S_1, S_2, \dots, S_{k+1} – площі вертикальних січень між поверхнями ґрунту на кінцевий і початковий момент досліджень; L_1, L_2, \dots, L_{k+1} – відстані на місцевості між сусідніми січеннями, які в нашому випадку дорівнюють 10 см. Тоді:

$$V_{\text{повн.}} = \sum_1^k V_{\text{ел.}} = L/2(S_1 + 2S_2 + \dots + 2S_k + S_{k+1}). \quad (2.6)$$

Звідси:

$$V_{\text{повн.}} = L \sum_1^k S + L/2(S_1 + S_{k+1}). \quad (2.7)$$

Площі поперечних січень S на профілях знаходять як суму площ трапецій, основами яких є відмітки точок, тобто $S = F_1 + F_2 + \dots + F_n$, а $F = h_{\text{ср.}} \cdot d$, де $h_{\text{ср.}} = (h_1 + h_2)/2$ – середня лінія трапеції з основами h_1 і h_2 ; d – відстань між основами трапеції.

Відповідно визначені об'єми змитого ґрунту з площадки розміром $0,36 \text{ м}^2$ становили за поперечними профілями $0,000032 \text{ м}^3$, а за TIN-моделлю – $0,000031 \text{ м}^3$ (в загально прийнятій системі обчислення об'ємів це становить 0,88 та 0,87 т/га). Даний об'єм характеризує змивні процеси, які відбуваються протягом одного дощу тривалістю 10 хвилин та інтенсивністю 0,2 мм/хв. Користуючись даними Волинського обласного центру з гідрометеорології про кількість опадів за 2013 рік та взятими до уваги всіма опадами в рідкому стані можна розрахувати приблизний об'єм змитого ґрунту. Для наведених даних він становитиме 13,2 т/га/рік. Даний показник характеризує територію як ерозійно небезпечну ділянку сільськогосподарського використання (розділ 1, табл. 1.4).

Точність методу. За результатами фотограмметричної обробки знімків середні квадратичні похибки визначення координат точок об'єкта, отримані з порівняння вимірних і заданих координат із 24 контрольних точок, характеризуються такими величинами: $m_x = \pm 2 \text{ мм}$; $m_y = \pm 3 \text{ мм}$; $m_z = \pm 4 \text{ мм}$. На шести опорних точках похибки не перевищували такі значення: $m_x = \pm 2 \text{ мм}$; $m_y = \pm 1 \text{ мм}$; $m_z = \pm 1 \text{ мм}$. Оптимальні результати можна отримати, якщо комірки

тест-сітки становлять 5-10 мм; відповідна точність вимірювання позначок лежить в межах 0,5...1,5 мм.

Отримана точність фотограмметричного методу визначення об'єму змитого ґрунту визначається щільністю вимірювання висот поверхні і густотою профільних січень. Точність визначення висот m_h залежить власне від точності стереовимірювань і ступеня розрихлення. Зрозуміло, що цей процес в різні пори року протікає по-різному, оскільки він залежить від глибини оранки, ґрунтооброблюваних знарядь, вологості ґрунту тощо. Експериментальні дослідження точності стереовимірювань висотних та планових (перехресть) точок тест-об'єкта показали, що $m_h \approx 1,2$ мм. Тоді середня квадратична похибка середньої висоти площадки m_H за умови, що похибки розрихлення ґрунту m_{hp} за стереовимірюванням є незалежними, складатиме:

$$m_H^2 = m_{H_{cp}}^2 + m_{hp}^2 = (1.2)^2 + (1.2)^2 = 1.2 \text{ мм} \cdot \sqrt{2} = 1,20 \times 1,4 \text{ мм} \approx 1,7 \text{ мм}.$$

Отже, точність стереовимірювань повинна бути близько 1,5–1,7 мм, тоді точність визначення об'єму площинного змиву складатиме 2 %. Це свідчить про те, що під час спостережень за динамікою розвитку процесів ерозії ґрунтів, зокрема визначення об'єму змитого ґрунту, використання короткобазисної фотограмметрії може бути еталонним значенням для порівняння з багатьма відомими методами.

Універсальність практичної сторони запропонованого методу відома як в польових так і в лабораторних умовах [113; 114]. Проте не зважаючи на оперативну складову є ряд причин з яких повсюдне застосування методу КБФ є недоцільним. Це пов'язано, в першу чергу з властивостями ґрунтів, а особливо, з їх „реакцією” на дію опадів – відрив часток (протиерозійна стійкість) та фільтраційні властивості. Такі питання необхідно розв'язувати ґрунтознавчим методом або запропонованим в ході виконання дисертаційної роботи методом растрової електронної мікроскопії. Розглянемо теоретичні і практичні аспекти методу як альтернативи класичним способам отримання необхідних характеристик ґрунтового покриву.

2.3. Ідентифікація параметрів математичних моделей ерозійно-небезпечного ґрунту.

2.3.1. Теоретичні аспекти порівняльного аналізу апроксимуючих функцій

Сьогодні математичний розрахунок параметрів окремих чинників водно-ерозійних процесів представлений багатьма моделями (розділ 1). Автори пропонують досить складні математичні вирази з важко обчислюваними коефіцієнтами. Тому кількісна оцінка прогнозу втрат ґрунту з попередньо знайденими елементами або без наявності значної статистичної бази по властивостях досліджуваної території є неможливою у зв'язку з попередньо відомою недостовірністю прогнозних (модельованих) даних ерозійних втрат ґрунту [115]. Під час дослідження втрат будь-якої речовини, в тому числі площинної ерозії, часто застосовують компартментальний (порівняльний) аналіз апроксимуючих функцій [116]. Для встановлення змиву родючого гумусного шару внаслідок ерозії можна використати апроксимуючі функції логістичних кривих, а саме:

$$y = \frac{A - a_0}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} + a_0, \quad (2.8)$$

або

$$y = \frac{A - a_0}{1 + \exp(\alpha + \beta x + \gamma x^2)} + a_0, \quad (2.9)$$

де y – оцінка параметра; x – оцінка навантаження; α, β, γ – коефіцієнти; a_0 – мінімальний рівень y ; A – максимальний рівень y .

Для знаходження коефіцієнтів функцій (2.8), (2.9) можна використати два способи – метод найменших квадратів та ітераційний метод чисельного оцінювання Марквардта. Коротко розглянемо їх можливості.

1. Для використання методу МНК необхідно здійснити логарифмування (2.8) та (2.9). В результаті отримаємо перетворені рівняння прямої (2.10) та рівняння параболи функції (2.11):

$$\ln\left(\frac{A - a_0}{y - a_0} - 1\right) = \alpha + \beta x, \quad (2.10)$$

$$\ln\left(\frac{A-a_0}{y-a_0}-1\right)=\alpha+\beta x+\gamma x^2. \quad (2.11)$$

Наступні дії з пошуку потрібних коефіцієнтів здійснюємо за стандартною методикою методу найменших квадратів [70; 117].

2. У випадку застосування ітераційного методу чисельного оцінювання Марквардта задаються початкові значення параметрів. На кожному кроці ітерації значення коефіцієнтів “підганяються” таким чином, щоб рівняння точніше описувало залежність (тобто щоб мінімізувалася сума квадратів відхилень від кривої). Зупинка процедури відбувається під час досягнення заданої величини відмінностей між сусідніми кроками ітерацій. Проте коефіцієнти рівнянь регресії, отримані двома запропонованими способами, можуть суттєво відрізнитися.

У першому випадку параметри A і a_0 інтерпретуються як верхня і нижня асимптоти, у другому – як середні значення верхнього й нижнього скупчення точок. Очевидно, що другий варіант інтерпретації більш реалістичний. Причина цього в тому, що класичний варіант логістичної кривої застосовується для опису часових процесів, що характеризуються стабільним виходом на асимптоту. Ми ж маємо справу з описом параметрів у просторовому градієнті. При цьому розкид значно вищий. Тому ми вважаємо, що для знаходження коефіцієнтів логістичного рівняння доцільно скористатися другим способом.

У випадку недостатньої точності, яку дає формула (2.9), перевагу потрібно надати (2.8). Проте можливі випадки, коли знаходження критичних точок розглянутими способами є неможливим у зв’язку з наявністю значної варіації отриманих значень. При цьому логістичне рівняння наближається до експоненціального, а знайдені звичайним способом абсциси критичних точок виявляються поза областю реальних значень, наприклад, від’ємних.

Для виходу із такої ситуації запропоновано здійснювати метод згладжування, використовуючи відомі в математиці функції обмежень:

$$y'_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } y \leq \min_i [y^j] \\ \frac{y_i - y_{\min}}{\min_i [y^j] - y_{\min}}, & \text{якщо } y < \min_i [y^j] \end{cases}, \quad (2.12)$$

де y'_i – перетворена величина y_i ; y_{\min} – мінімальне значення показника; y^j – підвибірка значень y_i .

Перетворення такого виду унеможливило отримання значної варіації значень (зайвий розкид даних). Реалізацію запропонованого методу використаємо при пошуку невідомих коефіцієнтів рівнянь R-функцій (п.2.3.2).

Використання матриць Маркова при оцінці стану територій (ерозія).

Тепер сформулюємо в найбільш загальному вигляді задачу з прогнозування водної ерозії. Нехай на певний момент часу t_0 відомий ерозійний стан території. Щоб визначити її стан в момент часу $t_N = t_0 + N\tau$, змодельюємо окремі зміни станів для моментів t_r і t_{r-1} лінійним операторним рівнянням [118; 119]:

$$Q^{t_r}(i) = K(\tau) \cdot Q^{t_{r-1}}(i), \quad (2.13)$$

або спрощено

$$Q_r = K \cdot Q_{r-1}, \quad (2.14)$$

де K – лінійний оператор $K(\tau)$ при фіксованому τ . Очевидно стан середовища для моменту t_N матиме вигляд:

$$Q_N = K(K((K \cdot Q_0)K)K),$$

або в більш компактній формі

$$Q_N = K^N \cdot Q_0. \quad (2.15)$$

Операторне рівняння (2.15) має властивість марковських ланцюгів, для яких справедливе наступне положення: незалежно від початкового стану Q_0 послідовність наступних станів, яким властиве співвідношення (2.14), має певний граничний стан Q^* , тобто

$$\lim_{r \rightarrow \infty} Q_r(i) = Q^*(i).$$

При цьому

$$Q^*(i) = K \cdot Q^*(i-1), \quad (2.16)$$

або в дискретній формі

$$\sum_i Q^*(i) = \sum_i Q_0(i),$$

що відповідає стану рівноваги.

Проте у випадку дії додаткових зовнішніх джерел впливу стан рівноваги порушується. Позначимо через $P_r(i)$ оператор зовнішніх впливів. Тоді співвідношення (2.14) матиме вигляд:

$$Q_r(i) = \sum_j Q_{r-1}(j) \cdot K_{ij} + P_r(i)$$

або

$$Q_r = K \cdot Q_{r-1} + P_r. \quad (2.17)$$

Але в цьому випадку можлива невизначеність, тому для повноти моделі (2.17) необхідно вказати способи подолання статистичної невизначеності вихідного матеріалу і дати математичний апарат імовірнісного інтерполювання просторових значень трансформацій ерозійного стану середовища [120; 121]. Подібна методика пошуку прогнозних варіантів радіоекологічного стану територій приведена в праці [122]. Застосування запропонованих підходів в ерозієзнавстві є можливими, перспективними та потребує значних додаткових теоретичних та практичних досліджень.

2.3.2. Моделювання R-функціями основних чинників водної ерозії.

Ідентифікація параметрів.

Сучасні ґрунтознавчі дослідження обмежують розуміння процесів змін якісних характеристик ґрунтів та не дають можливості достовірно прогнозувати змив, який ми розглядаємо в контексті моніторингу за ерозійно небезпечними землями. Як альтернативний метод пошуку коефіцієнтів теоретико-емпіричних моделей площинної ерозії на локальному рівні спостережень може короткобазисна фотограмметрія (розділ 2, п.2.2).

Останнім часом для моделювання процесу змиву ґрунту на схилах застосовують модифіковані варіанти рівняння USLE Вішмеєра-Сміта, які часто отримували в літературі різні найменування RUSLE, MUSLE тощо [34]. Вдалим прикладом такої моделі є RUSLE3d [123]. Даній моделі характерні усереднені показники факторів опадів, агрофону та агротехнічної обробки, із врахуванням показників властивостей ґрунтів і рельєфу. Проте застосування її для умов Волинської височини обмежене індивідуальними морфометричними характеристиками рельєфу (довжинами та крутизною схилів),

характеристиками ґрунтів (механічний та хімічний склад), опадами (інтенсивністю, тривалістю, частотою), специфікою як агротехнічних умов, так і сівозмін. Це підтверджується і проведеними додатковими дослідженнями математичних моделей водної ерозії за топографічним фактором [124] Для створення адаптивного варіанту математичної інтерпретації процесу змиву ґрунту проведемо дослідження базових принципів моделювання та емпіричного підходу, з використання їх результатів.

Фундаментальні дослідження свідчать, що водна ерозія ґрунту – поліструктурна система, яка складається з п'яти взаємодіючих між собою елементів різної природи (EI , LS , KS , CUL , AGR) [125]. При цьому кожен з цих чинників можна представити деякою аналітичною функцією або емпіричним виразом. Загальний вигляд моделі такий (2.18):

$$A = RKLSCP \quad (2.18)$$

Враховуючи експоненціально-аналітичний вигляд чинників, які впливають на виникнення процесу водної ерозії (формула 2.18) та складність пошуку коефіцієнтів рівняння, доцільно представити загальну модель для розрахунку об'єму щорічного змиву ґрунту як мультиплікативну подану у такий спосіб [126]:

$$ER = ER_{\max} f_1^e(EI) f_2^e(KS) f_3^e(LS) f_4^e(CUL) f_5^e(AGR), \quad (2.19)$$

де ER – середньобогаторічний ерозійний змив ґрунту (т/га в рік); ER_{\max} – максимально можливий змив ґрунту при всіх несприятливих факторах; EI – ерозійний індекс дощу; KS – еродованість ґрунтів; LS – чинник рельєфу; CUL – ґрунтозахисні властивості польових культур; AGR – показник ефективності протиерозійних заходів, визначається за відносною бальною шкалою; f_j^e – часткові функції відклику.

Згідно з фундаментальними законами толерантності (мінімуму, оптимуму і максимуму) та практики математичного моделювання агросистем [108] розроблено новий вид логістичних функцій, придатних для опису ерозії ґрунту внаслідок дії внутрішніх та зовнішніх чинників. В загальному вигляді моделі ($f_1^e - f_4^e$) можна записати так [126]:

$$f_j^e(x_j) = \alpha_j \left(\frac{1.0}{a_j + \exp(b_j - c_j x_j)} - d_j \right), \quad j = 1, \dots, 4, \quad (2.20)$$

а модель f_5^e як:

$$f_5^e(AGR) = 1.0 - \alpha_5 (1.0 - \exp(-b_5 AGR))^{c_5}, \quad (2.21)$$

де $\alpha_j, a_j, b_j, c_j, d_j$ – параметри субмоделі; $j = 1, \dots, 5$.

При цьому доцільно використовувати модифіковані аналітичні вирази [126]. Субмодель R-функції ерозійного індексу дощу має вигляд:

$$f_1(EI) = 1.7246 \left(\frac{1.0}{0.8372 + \exp(2.2853 - 0.3008 \cdot EI)} - 0.0630 \right) \quad (2.22)$$

Ерозійний індекс дощу EI визначається через регресійну модель [34]:

$$EI = 0.258 \cdot H \cdot I_{30} - 0.149, \quad (2.23)$$

де H – шар опадів (мм), I_{30} – максимальна 30-хвилинна інтенсивність дощу розраховують за такою формулою:

$$I_{30} = 0.121 \cdot \exp(0.0529 \cdot H) \quad (2.24)$$

Субмодель R-функції рельєфу має вигляд:

$$f_2(LS) = 2.1461 \left(\frac{1.0}{1.2000 + \exp(2.5184 - 0.3324 \cdot LS)} - 0.0401 \right) \quad (2.25)$$

Чинник рельєфу визначається таким аналітичним виразом [127]:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m \times [65.4 \sin^2 S + 4.56 \sin S + 0.065] \quad (2.26)$$

де λ – довжина горизонтального прокладання схилу (м); 22.1 м – довжина схилу одиничної довжини (м); m – показник степеня, що залежить від крутизни схилу S :

$$m = \varepsilon / (1 + \varepsilon) \quad (2.27)$$

$$\varepsilon = \frac{\sin S}{0.0896 (3(\sin S)^{0.8} + 0.56)} \quad (2.28)$$

Субмодель R-функції еродованості ґрунту має вигляд:

$$f_3(KS) = 2.5960 \cdot \left(\frac{1.0}{0.7761 + \exp(1.7965 - 0.2302 \cdot KS)} + 0.0293 \right) \quad (2.29)$$

Чинник еродованості ґрунту визначається аналітичним виразом [128]:

$$KS = \left[0,2 + 0,3 \exp(-0,0256 SAN(1,0 - SIL/100,0)) \times \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0,3} \times \right. \\ \left. \times \left(1 - \frac{25C}{C + \exp(3,72 - 2,95C)} \right) \times \left(1 - \frac{0,71SN_1}{SN_1 + \exp(-5,51 + 22,9SN_1)} \right) \right], \quad (2.30)$$

де SAN , SIL , CLA , та C – відповідно вміст піску, мулу, глини та органічного вуглецю у ґрунті (%) і $SN_1 = 1 - SAN / 100$.

Для ідентифікації параметрів нелінійних моделей необхідний відповідний математичний апарат. А саме використання методу найменших квадратів (МНК) та ітераційного методу чисельного оцінювання Маркварда. При застосуванні МНК необхідно лінеаризувати рівняння (2.20) та (2.21). При цьому зауважимо наступне. Нормуючий коефіцієнт α потрібно визначати окремо за багаторічними даними змиву для умов конкретного регіону. Аналогічно потрібно розв'язувати задачу параметризації f_j^e за багаторічними оцінками змиву на ділянках з конкретними інженерно-грунтознавчо-захисними заходами. В такому випадку визначення параметрів моделей f_j^e ($j=1, \dots, 4$) за методом МНК здійснюється наступним чином. Із застосуванням процедури лінеаризації і розкладом в ряд Тейлора можна отримати параметричне рівняння виду (2.31):

$$F_j^e = (f_j^e)_0 + \frac{\partial f_j^e}{\partial a_j} \delta a_j + \frac{\partial f_j^e}{\partial b_j} \delta b_j + \frac{\partial f_j^e}{\partial c_j} \delta c_j + \frac{\partial f_j^e}{\partial d_j} \delta d_j \quad (2.31)$$

тут $(f_j^e)_0$ – наближене значення відповідної R-функції; $\frac{\partial f_j^e}{\partial (a_j, b_j, c_j, d_j)}$ – часткові похідні. Розв'язуючи систему цих рівнянь, можна отримати поправки до наближених значень параметрів відповідних R-функцій. Задача розв'язується ітеративним шляхом. Спосіб такого розв'язку поданий в розділі 2, пункт 2.3.1. Виконана оцінка точності визначення параметрів R-функцій $(\alpha_j, a_j, b_j, c_j, d_j)$ з порівняння за даними КБФ та літературних і фондових матеріалів складає 5%, а верифікація з широко вживаним в ерозієзнавстві графо-аналітичним методом професора Ларіонова Г.А. підтвердила достовірність визначення об'ємів загального змиву в межах 5-8%.

Використання даних про змив отриманих в результаті практичної апробації методу короткобазисної фотограмметрії та вихідними даними ([додаток Е](#)), отримано значення параметрів трьох субмоделей площинної ерозії ґрунтів, які адаптовані до досліджуваних умов Волинської височини, зокрема ерозійного індексу дощу (табл. 2.3), рельєфу (табл. 2.4), та еродованості ґрунтів (табл. 2.5).

З використанням наведених субмоделей ерозії була складена (інж.-програміст Фесюк О., доц. Волошин В., асп. Мендель В.) програма „EROSION” на скриптовій мові програмування PHP. Структура коду програмного модуля подано в [додатку Д](#). Загальний вигляд програми представлений на рисунку 2.6.

The screenshot shows the web interface of the EROSION program. It is divided into two main sections: a navigation menu on the left and a main content area on the right.

Головне меню (Main Menu):

- Головна (Home)
- Визначення вододілів та тальвегів за ЦМР (Delineation of watersheds and thalwegs by DEM)
- Визначення LS-фактору за ЦМР (LS factor determination by DEM)
- Модель змиву за R-функціями (Erosion model based on R-functions)**
- Модель змиву CUSLE (CUSLE erosion model)
- Обчислення змиву ґрунту (Soil erosion calculation)
- Мультиплікативна модель на основі R-функцій (Multiplicative model based on R-functions)
- Довідка (Help)

Форма входу (Login Form):

Привіт, ГЗІК.

Крок 1: Завантаження файлів (Step 1: File upload)

За допомогою форми, що міститься нижче, завантажте файл (grid-модель) ЦМР та файл (grid-модель) ґрунтового покриття. Після натиснення кнопки \Завантажити\ на основі R-функцій обчислюються значення об'єму змиву ґрунту.

Виберіть файл (grid-модель) ЦМР

Виберіть файл (grid-модель) ґрунтового покриття

Моделювання ерозійних втрат гумусу на основі методу функцій відклику.
 Модель для розрахунку кількості щорічного змиву ґрунту в результаті дощової ерозії має наступний вигляд:

$$ER = ER_{\max} f_1^e(EI) f_2^e(LS) f_3^e(KS) f_4^e(CUL) f_5^e(AGR),$$

$$\text{де } f_j^e(x_j) = \alpha_j \left(\frac{1.0}{a_j + \exp(b_j - c_j x_j)} - d_j \right), j=1, \dots, 4,$$

$$f_5^e(AGR) = 1.0 - \alpha_5 \exp(1.0 - \exp(-b_5 AGR))^{c_5}$$

Рис. 2.6. Загальний вигляд головної сторінки програми „EROSION”.

Таблиця 2.3
Визначення параметрів R-функції
чинника ерозійного індексу дощу

Початкові дані		
$t_1^{(0)}$	$\alpha^{(0)}$	2,0000
$t_2^{(0)}$	$a^{(0)}$	1,0000
$t_3^{(0)}$	$b^{(0)}$	2,5000
$t_4^{(0)}$	$c^{(0)}$	0,3000
$t_5^{(0)}$	$d^{(0)}$	0,0700
Проміжні обчислення функції		
Значення функції		
№ ітерації	обчислене	табличне
1	0,9848	0,9940
2	0,7692	0,9768
3	1,2927	0,9998
4	0,2954	0,5517
5	0,7844	0,9788
6	0,9848	0,8000
7	0,7692	0,6700
8	1,2927	1,0000
9	0,2954	0,3300
10	0,7844	0,6800
Кінцеві результати		
$t_1^{(m)}$	$\alpha^{(m)}$	1,7246
$t_2^{(m)}$	$a^{(m)}$	0,8372
$t_3^{(m)}$	$b^{(m)}$	2,2853
$t_4^{(m)}$	$c^{(m)}$	0,3008
$t_5^{(m)}$	$d^{(m)}$	0,0630

Таблиця 2.4
Визначення параметрів R-функції
чинника рельєфу

Початкові дані		
$t_1^{(0)}$	$\alpha^{(0)}$	2,1000
$t_2^{(0)}$	$a^{(0)}$	1,1000
$t_3^{(0)}$	$b^{(0)}$	2,5000
$t_4^{(0)}$	$c^{(0)}$	0,3000
$t_5^{(0)}$	$d^{(0)}$	0,0500
Проміжні обчислення		
Значення функції		
№ ітерації	обчислене	табличне
1	0,1899	0,3100
2	0,5487	0,8600
3	0,6686	1,0000
4	0,1499	0,2200
5	0,2533	0,4400
6	0,1892	0,3100
7	0,2327	0,4000
Кінцеві результати		
$t_1^{(m)}$	$\alpha^{(m)}$	2,1461
$t_2^{(m)}$	$a^{(m)}$	1,2000
$t_3^{(m)}$	$b^{(m)}$	2,5184
$t_4^{(m)}$	$c^{(m)}$	0,3324
$t_5^{(m)}$	$d^{(m)}$	0,0401

Таблиця 2.5
Визначення параметрів R-функції
чинника еродованості ґрунту

Початкові дані		
$t_1^{(0)}$	$\alpha^{(0)}$	2,0000
$t_2^{(0)}$	$a^{(0)}$	1,0000
$t_3^{(0)}$	$b^{(0)}$	2,0000
$t_4^{(0)}$	$c^{(0)}$	0,4000
$t_5^{(0)}$	$d^{(0)}$	0,0700
Проміжні обчислення		
Значення функції		
№ ітерації	обчислене	табличне
1	0,7361	0,7800
2	0,8391	1,0000
3	0,8057	0,9300
Кінцеві результати		
$t_1^{(m)}$	$\alpha^{(m)}$	2,5960
$t_2^{(m)}$	$a^{(m)}$	0,7761
$t_3^{(m)}$	$b^{(m)}$	1,7965
$t_4^{(m)}$	$c^{(m)}$	0,2302
$t_5^{(m)}$	$d^{(m)}$	-0,0293

На основі отриманих субмоделей R-функцій та складеної програми „EROSION”, з урахуванням розрахованого середнього багаторічного об’єму змиву ґрунту для досліджуваного геостаціонару (11 т/га/рік), на основі формул 2.20 та 2.21 отримано картографічну модель ерозійного потенціалу рельєфу типової ділянки регіонального геостаціонару (рис. 2.7).

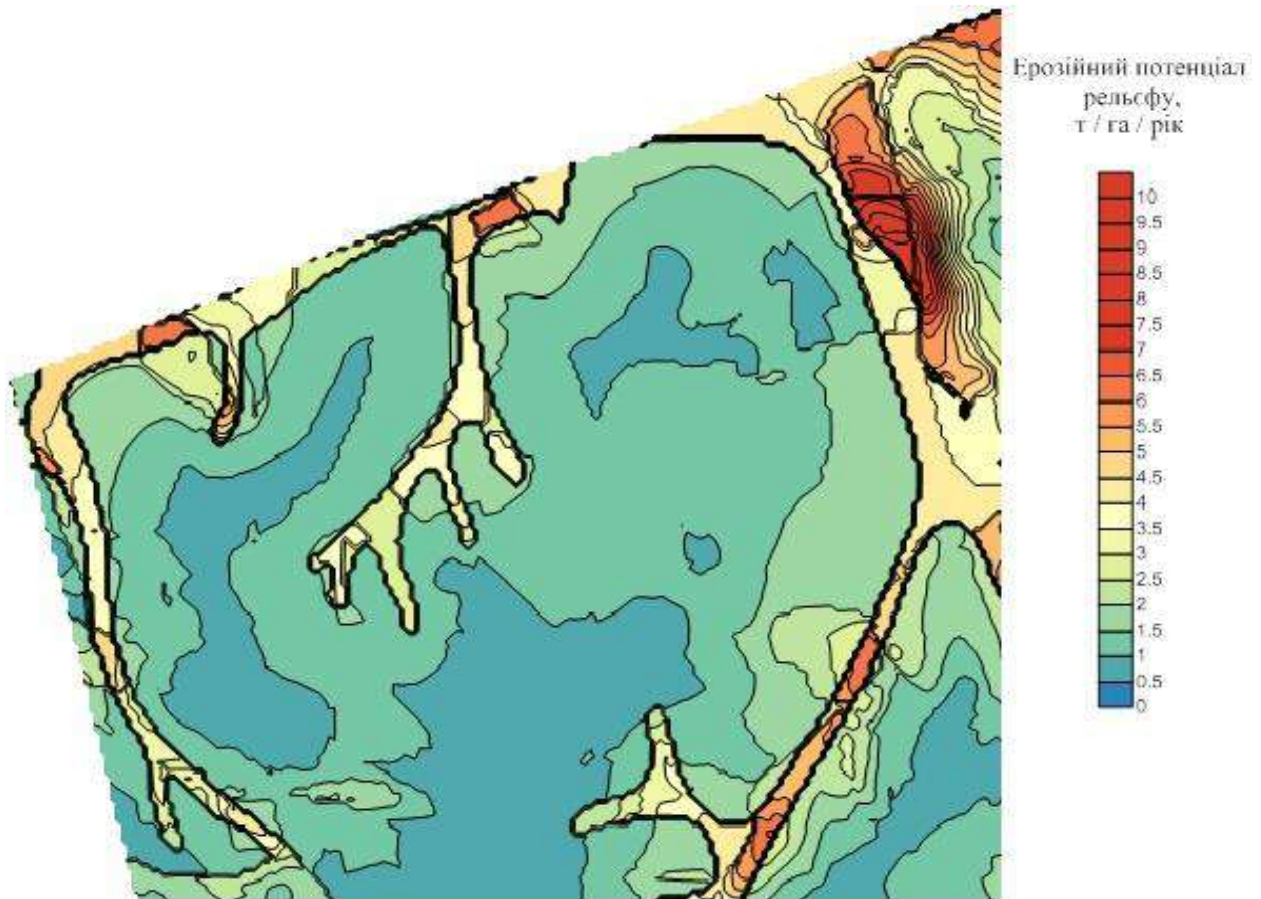


Рис. 2.7 Картографічна інтерпретація ерозійного потенціалу рельєфу частини типової ділянки комплексного регіонального геостаціонару.

Порівнюючи отримані об’єми змитого ґрунту, які розраховані за рівняннями R-функцій та додатковими дослідженнями [19], які не ввійшли до основного тексту дисертації встановлено відхилення математичного моделювання від натурних спостережень в межах 7%. Підсумовуючи результати використання запропонованих субмоделей можна сказати, що поданий алгоритм з дослідження ерозійних процесів на регіональному рівні є оперативним способом як безпосереднього визначення об’ємів змиву (метод короткобазисної фотограмметрії) так і його моделювання. Перевагою

запропонованих нелінійних субмоделей є можливість прогнозування, коректність апроксимування експериментальних даних, можливість змістовного трактування параметрів моделі в кожному окремому випадку, простота, яка дає можливість застосовувати для моделювання стандартне програмне забезпечення. Важливим аспектом такого підходу є можливість застосування його при визначенні параметрів субмоделей R-функцій для вітрової ерозії з метою врахування повного набору факторів, які впливають на інтенсивність водно-дефляційних процесів на сільськогосподарських схилах.

Висновки до розділу 2.

1. Вдосконалено та адаптовано до польових умов метод короткобазисної фотограмметрії з визначення об'ємів змитого ґрунту в межах елементарних стокових майданчиків. Метод вирізняється мобільністю і уможливорює визначення рівня ерозії ґрунту в різних транзитно-аккумулятивних частинах схилу за допомогою спеціально виготовленого тест-об'єкту. Точність методу – 2%.

2. В результаті проведених досліджень з використанням методу КБФ верифіковано математичну модель водної ерозії RUSLE, яка найбільше придатна до фізико-географічних умов Волинського Опілля. Для її реалізації за нашої участі створено програмний модуль „EROSION”. Запропонована модель дозволяє: проводити дослідження на різних територіальних рівнях (локальний – масштаби 1-50 га, регіональний – масштаби 50-500 га); мінімізує об'єми польових робіт (визначення характеристик тільки типової ділянки), вимагає мінімальної кількості вхідних даних (аналіз фондових та дослідних матеріалів) та за кількістю врахування факторів ерозії не має аналогів. Верифікація з широко вживаним в ерозієзнавстві графо-аналітичним методом професора Ларіонова Г.А. підтвердила достовірність визначення об'ємів загального змиву в межах 5-8%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 2

104. Глотов В. М. Дослідження ерозійної небезпеки ґрунтів детального рівня цифровим наземним стереофотограмметричним методом (частина 1) / В. М. Глотов, М. Т. Процик // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2012. – Вип. I (23). – С. 184-187.
105. Лисецкий Ф. Н. Пространственно-временная организация агроландшафтов / Ф. Н. Лисецкий. – Белгород : изд-во Белгород. ун-та, 2000. – 302 с.
106. Мельник В. М. Морфолого-спектральна оцінка параметрів гідромеханічної моделі ерозії ґрунту / В. М. Мельник, В. П. Мендель, В. Ф. Радзій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва – 2012. – № I (23) – С. 188-192.
107. Булыгин С. Ю. Формирование экологически сбалансированных ландшафтов: проблема эрозии / С. Ю. Булыгин, М. А. Неаринг. – Харьков. – 1999 р. – 272 с.
108. Шлыков В. Г. Рентгеновский анализ минерального состава дисперсных ґрунтов / В. Г. Шлыков. – М.: ГЕОС, 2006. – 175 с.
109. Мельник В. М. Дискретна оцінка площинної ерозії методами короткобазисної фотограмметрії / В. М. Мельник, В. П. Мендель // Інженерна геодезія: науково-технічний збірник. 2014. – №61 – С. 92-101.
110. Дорожинський О. Л. Фотограмметрія / О. Л. Дорожинський, Р. Тукай // Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка" – 2008. – 332 с.
111. Панкратьев Ю. Н. Инженерная фотограмметрия / Ю. Н. Панкратьев, Б. С. Пузанов, В. М. Сердюков. – Изд-во ЛПИ. – Львов, 1964. – 287 с.
112. Дубиновский В. Б. Аналитическое моделирование местности. / В. Б. Дубиновский. – М.: Недра, 1989. – 138 с.
113. Дубиновский В. Б. Калибровка снимков / Дубиновский В. Б. – М.: Недра, 1982. – 218 с.

114. Бурштинська Х. Цифрове моделювання рельєфу для розв'язання прикладних задач / Х. Бурштинська, М. Процик, А. Гукасов // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Ландшафтознавство: традиції та тенденції» (8-12 вересня 2004р.). – Львів, 2004. – С. 207.

115. Соколов В. Н. Автоматизированная система морфологического анализа скелетного компонента микроструктуры по РЭМ-изображениям / В. Н. Соколов, Д. И. Юрковец, О. В. Розгулина, В. Н. Мельник // Поверхность. Рентген., синхрон. и нейтрон. исслед., 2002. – № 10. – С. 66-69.

116. Шеннон К. Э. Работы по теории информации и кибернетике: пер. с англ. / К. Э. Шеннон. – М. : ИЛ, 1963. – 829 с.

117. Мельник В. Деякі питання ідентифікації моделей водної та вітрової ерозії / В. Мельник, В. Радзій, В. Мендель // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва – 2013. – № I (25) – С. 139-144.

118. Chzhun Kai-Lai. Odnorodnie tsepy Markova [Markov homogenous chains]. Per. s anhl. M.: Myr, 1964. – 425 s.

119. Rabiner L. Atutorial on hidden Markov models and selected application in speech recognition Procc. IEEE. 1989. – №2. – P. 257-285.

120. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 383 с.

121. Федоровский О. Д. Дешифрирование космических снимков ландшафтных комплексов с использованием Марковской модели изображений / О. Д. Федоровский, В. Г. Якимчук, С. О. Рябоконеко // Космическая наука и технология №5-6, 2001. – С. 80-84.

122. Мельник В. Математичний формалізм трансформації радіоекологічного стану території із застосуванням матриць Маркова і РЕМ-мікроскопії / В. Мельник, Ю. Бліндер, В. Мендель // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. – 2014. – 2(4), Issue 32. – P. 42–48.

123. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www4.ncsu.edu/~hmitaso/gmslab/reports/cerl01/finalreport/report01/default.ht>

m (Terrain Modeling and Soil Erosion Simulation. Final Report).

124. Мендель В. П. Апробація моделей ерозії ґрунту за топографічним фактором / В. П. Мендель // VI Міжнародна науково-практична конференція студентів і аспірантів «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень». – Луцьк. – 2012. – С.80-82.

125. Король П. П. Математико-картографічне моделювання водної ерозії ґрунтів на основі комбінованого універсального рівняння втрат ґрунту / П. П. Король, В. У. Волошин, О. В. Фесюк // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – № 6. – С. 35-42.

126. Малкина-Пых И. Г. Моделирование эрозионных потерь гумуса на основе метода функций отклика / И. Г. Малкина–Пых // Почвоведение, 1996. – № 10. – С. 1271-1276.

127. Ямелинець Т. С. Просторовий аналіз деградаційних процесів сірих лісових ґрунтів Західного Лісостепу: Монографія / Т. С. Ямелинець, М. Г. Кіт – Львів.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. – 2007. – 204 с.

128. Жиленков В. Н. О влиянии разнотерности на фильтрационно-суффозионные свойства ґрунтов / В. Н. Жиленков, В. И. Шевченко // Известия. ВНИИГ. – 1984. – Т. 148 – С. 44-51.

РОЗДІЛ 3. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ МОРФОЛОГО- МОРФОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТИПОВИХ ҐРУНТІВ ВОЛИНСЬКОГО ОПІЛЛЯ ТА ҐРУНТОЗНАВЧО-ГРАНУЛОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ

Невід’ємною складовою повноцінного вивчення ерозійних процесів в сучасних ерозієзнавчих дослідженнях окрім польових та закритих тестових майданчиків є лабораторні. Оскільки головним об’єктом деструктивних процесів змиву є ґрунти доцільно зосередитись на можливості наукового розгляду властивостей родючого шару. Якщо говорити про методи досліджень властивостей ґрунтів, то основними або класичними є лабораторно-експериментальні методи (фізичні, фізико-хімічні, хімічні і біологічні аналізи), які використовуються для статистичного аналізу речовинного складу ґрунтів (гранулометричного, мінералогічного, хімічного). Проте використання класичних ґрунтознавчих підходів не завжди виправдовує себе з точки зору оперативності та наявності необхідного обладнання із знанням методик.

Сучасні засоби фіксування об’єктів у фотографічну або цифрову форму та опрацювання отриманих даних на високошвидкісних комп’ютерах дозволяє здійснювати вивчення найдрібніших часток із іншої, нестандартної сторони. Нами пропонується провести дослідження деяких характеристик типових ґрунтів Волинського Опілля з метою створення оптимальних, ефективних та оперативних алгоритмів аналізу протиерозійних властивостей за допомогою РЕМ-мікроскопії.

3.1. Растрово-електронно-мікроскопічні та дефрактометричні дослідження властивостей ерозійно небезпечних ґрунтів

Растровий електронний мікроскоп (РЕМ) застосовують для роботи із збільшенням від 50 до 100 тис. крат, при цьому глибина різкості в 300-500 разів більша, ніж у світлових мікроскопів [129; 130]. Досліджуваний зразок може бути нахилений до 45° відносно горизонтальної площини із утриманням фокусу зображення по всій поверхні. Завдяки великій глибині цього фокусу РЕМ

створює „об’ємність” зображення і суттєво полегшує кількісну 3D-інтерпретацію мікротопографії поверхні. Відповідно на РЕМ-мікроскопах можливе проведення прямого дослідження поверхонь без приготування спеціальних реплік, що необхідно виконувати в просвічуючій електронній мікроскопії. За допомогою РЕМ можна отримати 3D-картину мікрорельєфу, здійснюючи сучасні дослідження порового простору.

Стереознімання в РЕМ виконують методом нахилів досліджуваних зразків відносно горизонтальної площини, навколо осі $X(Y)$:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha_1 & 0 & -\sin\alpha_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha_1 & 0 & \cos\alpha_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha_2 & 0 & \sin\alpha_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\alpha_2 & 0 & \cos\alpha_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Отримані за допомогою РЕМ стереопари зразків ґрунту можна здійснити, розв’язавши попередні рівняння та визначивши значення X, Y, Z , а саме:

$$x_1 = X \cdot \cos\alpha - Z \cdot \sin\alpha,$$

$$x_2 = X \cdot \cos\alpha + Z \cdot \sin\alpha$$

$$x_1 + x_2 = X \cdot \cos\alpha - Z \cdot \sin\alpha + X \cdot \cos\alpha + Z \cdot \sin\alpha = 2X \cdot \cos\alpha$$

$$X = \frac{x_1 + x_2}{2\cos\alpha} \quad (3.2)$$

Аналогічно знаходимо Z :

$$1 = Z \cdot \sin\alpha + Z \cdot \cos\alpha,$$

$$1 = -Z \cdot \sin\alpha + Z \cdot \cos\alpha$$

$$x_2 - x_1 = Z \cdot \sin\alpha + Z \cdot \cos\alpha - (-Z \cdot \sin\alpha + Z \cdot \cos\alpha) = 2Z \cdot \sin\alpha.$$

Звідки
$$Z = \frac{x_2 - x_1}{2\sin\alpha}. \quad (3.3)$$

Оскільки значення рядка матриці дорівнює одиниці, то:

$$Y = y_1 = y_2. \quad (3.4)$$

Враховуючи збільшення (M), вирази (3.2), (3.3) і (3.4) можна записати у вигляді $X = \frac{x_1 + x_2}{2M \cos\alpha}$, $Z = \frac{x_2 - x_1}{2M \sin\alpha}$, $Y = \frac{y_1}{M} = \frac{y_2}{M}$.

За запропонованим алгоритмом пошуку просторових координат опрацьовано стереопару тестового зразка ґрунту. На рис. 3.1 подано приклад

3D-моделі побудованої за результатами фотограмметричного опрацювання РЕМ-стереопари.

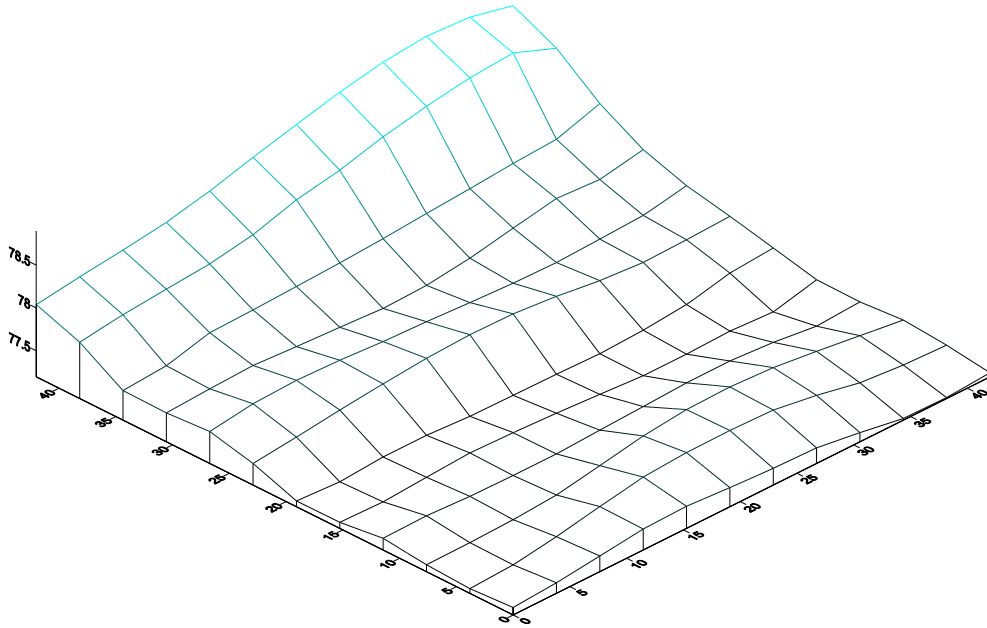


Рис. 3.1. Приклад побудови ЦММР за результатами РЕМ-стереообробки

РЕМ-дослідження планіметричних властивостей зразків ерозійно небезпечного ґрунту відібраного в межах території комплексного регіонального геостационару були проведені на РЕМ „Hitachi-S800” (розділ 3, п.3.3.1). Встановлено, що дерново-підзолисті ґрунти характеризуються специфічною будовою порового простору. Агрегатному рівню ґрунтової структури відповідають макропори кластерних агрегатів і внутріагрегатні мезопори. Рівню елементарних ґрунтових часток відповідають мікропори, які утворюються між (й усередині) мікроагрегатами, зернами первинних мінералів та глинистих ультрамікроагрегатів.

Гумусово-акумулятивний горизонт (0-25см) дерново-підзолистого ґрунту характеризується дрібно-грудкуватою структурою, основними структурними елементами якої є квазіізотричні агрегати із внутріагрегатними капілярними порами й міжагрегатні пори вкраплення (табл. 3.1).

У поровому просторі горизонту (0-25см) переважають витягнуті пори різного ступеня зрізаності, потім близько 15 % вносять ізотричні порізані

пори, тріщиновидні й ізометричні слабозрізані пори вносять мінімальний внесок у поровий простір.

Таблиця 3.1

Розподіл пор за розмірами в дерново-підзолистому ґрунті

Горизонт (глибина, см)	Вміст пор, % від загальної пористості						
	мікропори, мкм			30– 100 мкм	макропори, мкм		
	тонкі 0,1–1	середні 1–10	грубі 10+30		дуже тонкі 0,1–1	тонкі 1–2	середні > 2
(0-25)	5,1	17,2	17,4	32,8	12,9	4,3	3,6

Результати статистичного опрацювання даних за допомогою (ПП „STIMAN”) [130] розподілу мікро- і мезопор за еквівалентними діаметрами в горизонті (0-25см) представлено діаграмою Варзара, які широко використовуються в економетриці [131] (рис. 3.2). Розподіл макропор за формою пор представлено гістограмою (рис. 3.3).

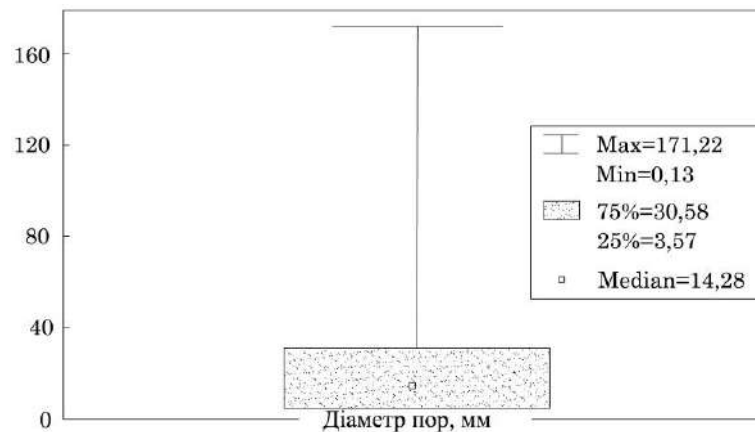


Рис. 3.2 Результати статистичної обробки даних за еквівалентними діаметрами горизонту (0-25см) (мікро- і мезопори)

Скелетна мікроструктура горизонту (0-25см) характеризується значеннями загальної пористості близько 41 %. Максимальний внесок вносять міжзернисті мезопори, потім міжмікроагрегатно-зернисті грубі й середні мікропори (табл. 3.1).

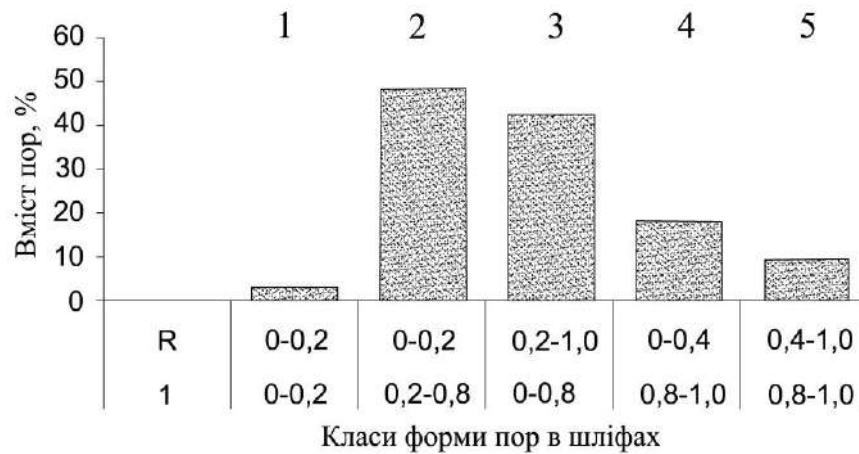


Рис. 3.3. Гістограма розподілу макропор за формою:

*(1 – трицинуватоподібні; 2 – витягнуті зрізані; 3 – витягнуті слабо зрізані;
4 – ізометричні зрізані; 5 – ізометричні слабо зрізані)*

Значно меншою мірою в поровому просторі присутні тонкі мікропори, що розташовуються між зернами дрібно-пилуватих фракцій та глинистими ультрамікроагрегатами. На частку таких пор припадає більше 85 % загального порового простору. Загальна пористість у відсотках від об'єму ґрунту в горизонті (0-25см) (рис.3.3) становить 15,10%. Середня площа пор горизонту складає 0,88 мкм².

За статистичними даними кількісного стереологічного аналізу досліджуваних зразків отримали діаграму (рис. 3.3). Аналізуючи її можна зробити однозначний висновок про те, що більші пори мають і більш округлу форму, що підтверджується збільшенням показника ізометричності від 0,13 до 129,75 при збільшенні еквівалентного діаметра пор. Поровий простір характеризується значною мінливістю, про що свідчить графік розподілу еквівалентного діаметра пор (від 4 до 27 мкм). Менший внесок вносять тонкі мікропори, що формують порожнечі між глинистими ультрамікроагрегатами. Це вказує на те, що в залежності від характеристики пор змінюється водопоглинаюча властивість ґрунту, а відповідно і інтенсивність змиву.

Гранулометричний склад, окрім щільності, визначає багато інших фізичних властивостей ґрунту. Існує зв'язок між гранулометричним складом, морфометричними параметрами мікроструктури та змивом ґрунту. Для прикладу нами обрано два найпоширеніших ґрунти в межах Волинського

Лісостепу: чорноземи типові (1) та дерново-підзолисті ґрунти (2). Основні морфометричні властивості відібраних зразків ґрунту представлені в табл.3.2.

Таблиця 3.2

Морфометричні характеристики зразків ґрунту

Назва ґрунту	№ зразка	Кількість пор, N	Загальна площа $S_{заг}$, мкм ²	Пористість, %	K_a , %	K_f
Чорноземи	1ч	10021	27823	28,21	5,70	0,401
	2ч	16554	29071	27,15	12,0	0,398
Дерново-підзолисті	1дп	17991	103761	35,72	30,2	0,567
	2дп	28732	25294	37,97	3,12	0,507

Як було сказано вище важливим показником порового простору є їх площа та форма. Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок: поровому простору зразка чорнозему (1) властиві менші значення показника анізотропії ($K_a = a/b$), фактора форми K_f та загальної їх площі $S_{заг}$ ніж зразку дерново-підзолистого ґрунту. Порівнюючи отримані дані з архівними даними спостережень за змивом проведених на організованих стаціонарах в межах Горохівського району Поліською філією Інституту ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського встановлено: фільтраційні властивості чорноземів є гіршими, а отже, і змив більший ніж аналогічні показники дерново-підзолистих ґрунтів, 9,8 т/га/рік та 7,2 т/га/рік відповідно.

Аналіз проведених нами експериментальних досліджень підтверджує вже наявні дослідження порового простору [132] та показує, що загальна пористість досліджуваних ґрунтів пов'язана тісною кореляційною залежністю з загальною площею пор. Відповідні рівняння регресій мають вигляд:

$$n_A = f(A), \quad n_{ч} = 4,95 \times 10^{-3} A - 10,9, \quad R = 0,91, \quad (3.5)$$

$$n_A = f(A), \quad n_{дп} = 5,02 \times 10^{-3} A - 11,21, \quad R = 0,87, \quad (3.6)$$

де $n_{ч}$, $n_{дп}$ – пористість чорнозему та дерново-підзолистого зразка ґрунту, R – коефіцієнт кореляції.

Отримані дані дають можливість використовувати результати кількісного аналізу ґрунтової мікроструктури як елементи моделей водної ерозії (розділ 2, п.2.3.2) так і самостійні математичні вирази (розділ 3, п.3.3.2).

3.2. Морфолого-ентропійні ерозієзнавчі принципи РЕМ-мікроскопії.

3.2.1. Суть морфолого-спектрального аналізу.

Як було сказано в сучасному ерозієзнавстві багато уваги надають дослідженням зразків ґрунту за допомогою растрової електронної мікроскопії. Такі дослідження дозволяють отримати морфологічні та морфометричні показники досліджуваних зразків ґрунту, зокрема визначення пористості та фільтраційних властивостей.

Метод РЕМ-стереознімання зразків ґрунту, що використовується в растровій електронній мікроскопії побудований таким чином. На електронному мікроскопі виконується фотографування поверхні зразка ґрунту в кількох кутових діапазонах відносно горизонтальної площини ($0-5^\circ$). Отримані стереопари обробляються на стереокомпараторі. Результатом проведених вимірів є паралакси точок та просторові координати (x_i, y_i) на знімках, які оцінюються за відносними перевищеннями (h_i) поверхні зразка (3.7):

$$h_i = \frac{\Delta p}{2 \cdot M \cdot \sin \alpha}, \quad (3.7)$$

де Δp – різниця поздовжнього паралаксу, мм; M – збільшення знімка; α – кут нахилу зразка до горизонтальної площини.

Зв'язок між отриманими та просторовими координатами здійснюється за залежністю:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos \alpha) \cdot x_e + \\ (-\sin \varphi \cdot \cos \delta + \cos \varphi \cdot \cos \alpha \cdot \sin \delta) \cdot x_e + \\ (-\sin \alpha \cdot \sin \delta) \cdot x_e + \\ + (\cos \varphi \cdot \sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos \alpha) \cdot y_e \\ + (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \alpha \cdot \cos \delta) \cdot y_e \\ + (-\sin \alpha \cdot \sin \delta) \cdot y_e \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

де δ, α, φ – кути повороту знімка відповідно до площин OXY, OYZ та OXZ, x_e, y_e – виміряні значення на поверхні знімка, мкм.

Як результат проведених вимірювань й обчислень отримано просторові координати (x_i, y_i, z_i), значення яких свідчать про наявність дискретного

випадкового процесу. Наступні етапи опрацювання отриманої інформації базуються на застосуванні методів спектрального аналізу стаціонарних випадкових процесів, удосконалений алгоритм [42] яких подано на блок-схемі (рис.3.5).

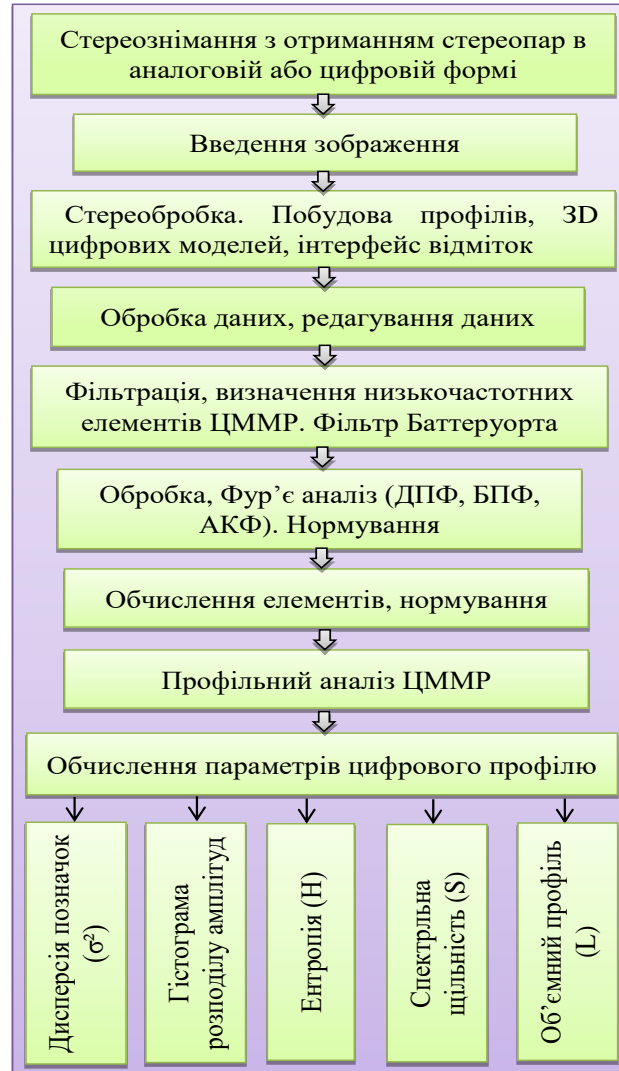


Рис. 3.5. Блок-схема морфолого-спектрального аналізу поверхні зразка ґрунту.

Розглянемо детальніше реалізацію алгоритму на його ключових етапах.

Складна організація багаторівневої системи мікроструктури ґрунту, тобто одночасна присутність уламкових частинок різної величини, свідчать про нестационарність процесу зміни висотних позначок [133]. Тому при вивченні такої системи виникає потреба детального аналізу й достовірного опису найдрібніших та найкрупніших часток (пор). Реалізація такого завдання можлива шляхом обробки РЕМ-зображень зразка ґрунту за різних збільшеннях (50, 100, 250, 1000 *крат*). Такий підхід забезпечує кількісну оцінку елементів

мікрорельєфу в діапазоні 10–400 мкм. Крупніші складники мікрорельєфу виділяються шляхом низькочастотної фільтрації з використанням синусного фільтру Баттеруорта [134]:

$$y(i) = b_0 x(i) - a_1 y(i-1) - a_2 y(i-2), \quad (3.9)$$

де $x(i)$ – елемент із вхідної вибірки, $y(i)$ – елемент вихідної вибірки, $i = \overline{1, n}$, n – кількість елементів вибірки, $y(0) = y(1) = 0$.

В результаті фільтрації отримують дані, що характеризують мікрорельєф як стаціонарний процес (гаусівський або близький до нього). Вивчення поверхні зразка можна відобразити у формі 3D-моделі мікроструктури рельєфу (ЦММР).

Аналіз структури відфільтрованого профілю проводиться в деякій частотній області, оскільки його статистичні властивості, характеристики гаусівського процесу є середнім нульовим і найбільш швидко визначається за спектром потужності цього процесу. Розрахунок автокореляційної функції (АКФ) проводиться за алгоритмом Блекмона–Тюкі [116]:

$$R(i) = \frac{1}{n-i} \sum_{j=1}^{n-i+1} x(n-i+1+j)x(j+i-1), \quad i = \overline{1, m}, \quad (3.10)$$

де $m = \left[\frac{n}{10} \right]^2 + 1$.

В процесі діагностики моделі отриманий спектр характеризує розподіл середньоквадратичної потужності процесу як функції частоти, відображаючи таким чином участь елементів певного розміру в морфологічній будові мікрорельєфу. Частота в цьому випадку однозначно зв'язується з довжиною елементів профілю:

$$L_1 = \sum_{i=2}^n \sqrt{(x(i) - x(i-1))^2 + T^2}. \quad (3.11)$$

Інтегруючи спектр за частотами, можна оцінити загальну дисперсію позначок рельєфу, взятих із профіля, а також частку дисперсії, яка припадає на окремі інтервали частот (розмірів елементів). Така можливість впливає з відомого рівняння Парсеваля [134]:

$$\psi^2(f_1, f_2) = \int_{f_1}^{f_2} S_x(f) df, \quad 0 \leq f_1 \leq f_2, \quad (3.12)$$

де ψ^2 – потужність процесу; S_x – щільність спектру потужності; f_1 , f_2 – нижня і верхня межа частот [135].

Вибіркова дисперсія визначається за такою формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}. \quad (3.13)$$

Запропонований підхід дає змогу кількісно описати рельєф поверхні зразка (дисперсія його висотних відміток – σ_i^2) і визначити за рахунок яких елементів він формується. Використання декількох збільшень знімків дає підстави отримати параметри структури мікрорельєфу (першого, другого, третього порядків).

Водночас, можна визначати питому довжину профілю L_i як відношення довжини профілю до його проекції:

$$L = \frac{L_1}{T(n-1)}. \quad (3.14)$$

Цей параметр характеризує вертикальну розчленованість мікрорельєфу. Він може приймати більші значення навіть тоді, коли дисперсія невелика. У цьому випадку мікрорельєф формується за рахунок елементів середнього й малого розмірів і детальніше розкриває характер мікроструктур.

Для практичного застосування запропонованого алгоритму (статистичного аналізу мікроструктури ґрунту) нами використано отриманий з допомогою РЕМ „Hitachi-S800” при збільшенні 1000^x РЕМ-знімок ерозійно небезпечного зразка ґрунту, яке виконано за методом «зшивання» (resampling) (рис. 3.6).

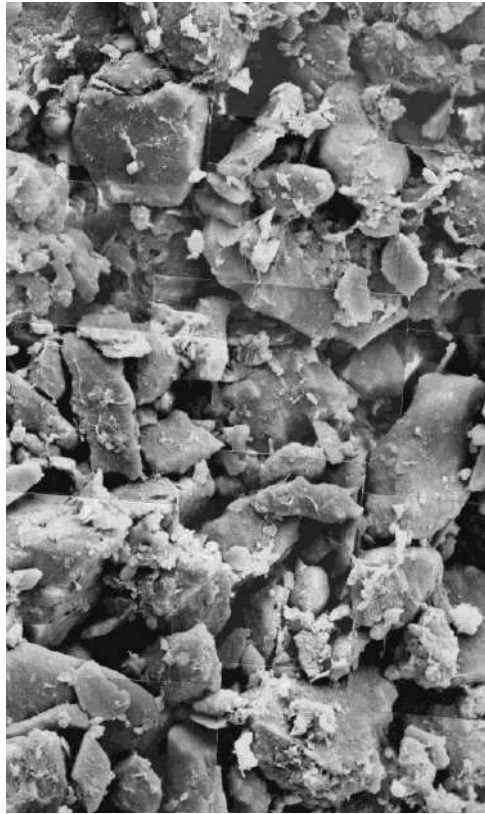


Рис.3.6. РЕМ-зображення ерозійно небезпечного зразка ґрунту.

Як результат опрацювання позначок із знімків отримана матриця даних (3.15):

$$\Delta p = \begin{pmatrix} 77.29 & 77.34 & 77.44 & 77.50 & 77.47 & 77.43 & 77.46 & 77.38 & 77.24 & 77.23 \\ 77.20 & 77.29 & 77.35 & 77.52 & 77.65 & 77.71 & 77.68 & 77.62 & 77.53 & 77.45 \\ 77.38 & 77.31 & 77.25 & 77.21 & 77.27 & 77.33 & 77.41 & 77.44 & 77.41 & 77.36 \\ 77.31 & 77.32 & 77.41 & 77.44 & 77.42 & 77.38 & 77.32 & 77.28 & 77.28 & 77.13 \\ 77.15 & 77.18 & 77.18 & 77.09 & 77.06 & 77.06 & 77.05 & 77.11 & 77.18 & 77.35 \\ 77.42 & 77.49 & 77.56 & 77.65 & 77.69 & 77.70 & 77.66 & 77.58 & 77.52 & 77.53 \\ 77.63 & 77.68 & 77.69 & 77.64 & 77.63 & 77.59 & 77.54 & 77.49 & 77.50 & 77.53 \\ 77.57 & 77.58 & 77.53 & 77.51 & 77.46 & 77.47 & 77.54 & 77.65 & 77.77 & 77.71 \\ 77.71 & 77.67 & 77.69 & 77.71 & 77.71 & 77.73 & 77.76 & 77.79 & 77.84 & 77.87 \\ 77.92 & 77.94 & 77.99 & 78.03 & 78.23 & 78.31 & 78.46 & 78.57 & 78.65 & 78.70 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

Із формули (3.7) визначаємо перевищення h та знаходимо просторові координати за формулою (3.8). Маючи набір значень, за допомогою фільтра Баттеруорта відсіюємо непотрібні частки (рис. 3.8) та здійснюємо центрування (рис. 3.9).

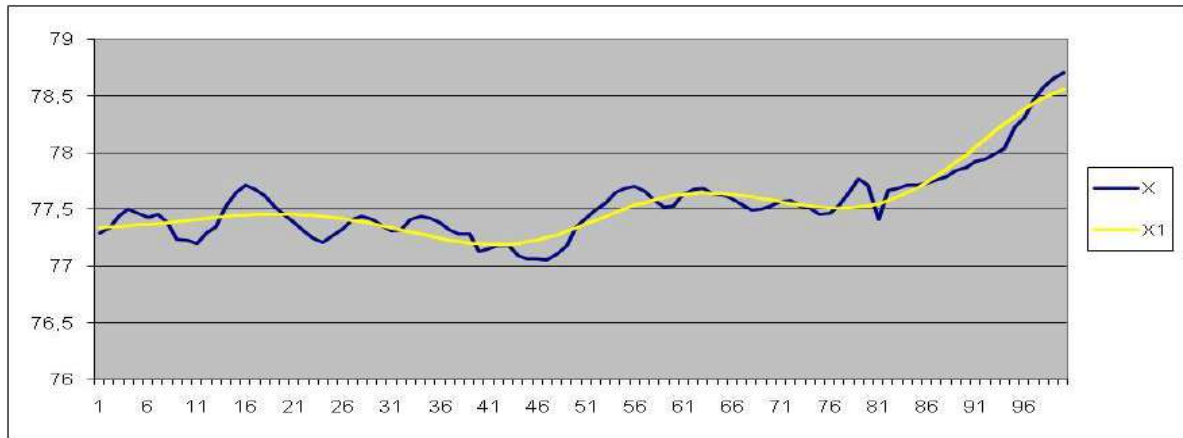


Рис. 3.8. Графік фільтрації масиву (X)

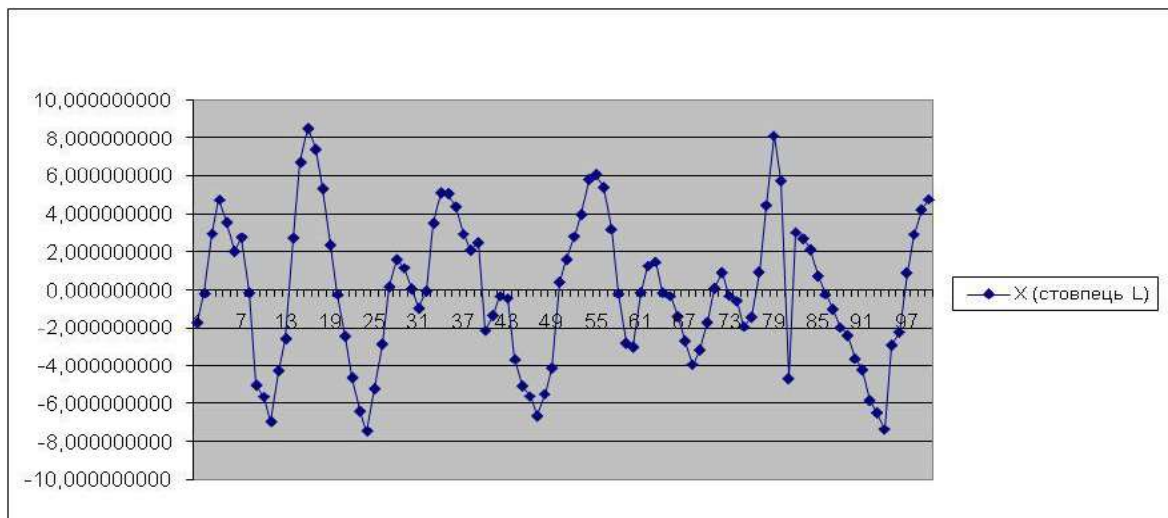


Рис. 3.9. Результат центрування масиву даних (X)

Значення $H \leq 1,5$ означає високу протиерозійну стійкість, а $H \geq 1,5$ – протиерозійну стійкість, що зменшується та прямує до нуля ($H \rightarrow 5,0$). У результаті аналізу РЕМ-зображень зразка ґрунту та проведених послідовних обчислень одержали такі значення: $R(i) = 36,74$; $S^2 = 14,58$; $L = 2,19$; $H = 3,28$.

Реалізацію запропонованого алгоритму здійснено за допомогою складеного за нашої участі програмного модуля по морфологоспектральному аналізу на мові програмування Fortran (алгоритм подано в додатку Ж).

3.2.2. Ентропійна концепція площинної ерозії ґрунту

Відомо, що в основі дисипативних процесів, які мають місце в ґрунтознавстві, лежать процеси утворення ентропії і перерозподілу енергії, яка вноситься ззовні. Загалом стандартне визначення ентропії має такий вигляд [136]:

$$H = H_0 + \pi L_{kk} + C_U \ln(T/T_0), \quad (3.16)$$

де H, T – відповідно ентропія і температура поточного стану; H_0, T_0 – ентропія і температура стандартного стану тіла; π – коефіцієнт термомеханічного розширення; C_U – теплоємність; L_{kk} – лінійний варіант тензора руйнування середовища.

Для випадку, коли внутрішня енергія тіла і зовнішнє навантаження постійні, ентропійно-енергетичні процеси мають вигляд [136; 137]:

$$H = H_0 + \pi L_{kk} + C_U \ln \left\{ 1 + \left[\sigma_{kk} (L_{02} - L_{kk} / 3) + C\rho^0 \right] \right\} \cdot (1 - \exp(-t/\tau)) / C_U T_0. \quad (3.17)$$

Тут нульовим індексом позначені величини, що відповідають нульовому моменту часу $t=0$, коли система напруг $\sigma = \sigma(0)$, в результаті чого виникає деформація $L = L(t)$. Тому при аналізі дисипативних структур важливою задачею є оцінювання ентропії або відносного ступеня впорядкованості на основі експериментальних даних, зокрема, якщо немає інформації про структуру досліджуваної системи. Для вирішення цієї задачі нами запропоновано метод розрахунку ентропії, в основу якого покладено морфоспектральний аналіз поверхні руйнування, який поєднує використання методів РЕМ-стереоскопічного знімання мікрооб'єктів, цифрове оброблення РЕМ-зображень та спектральний аналіз цифрових мікромоделей рельєфу (ЦММР).

Традиційна інтерпретація РЕМ-зображень допускає одержання лише планіметричних характеристик мікроструктури, що пояснюється змістом зображення. На підставі двох чи більше зображень, отриманих під різними кутами (стереозображень), можлива тривимірна реконструкція відображеної на них сцени з наступним одержанням просторових стереометричних характеристик.

Найпоширеніша методика одержання стереопар у РЕМ полягає у повторному зніманні однієї і тієї самої ділянки поверхні зразка, нахиленого під різними кутами ($5-12^\circ$) відносно електронного зонда. В нашому випадку параметри стереознімання наступні: растровий електронний мікроскоп „Hitachi-S800”, кут конвергенції $0-7^\circ$, збільшення 250^\times).

За стереовимірюваннями досліджуваних стереопар та отриманими в результаті цього просторовими координатами побудовано 3D-цифрову модель мікрорельєфу (ЦММР). Аналіз розподілу висот дав змогу вивести ентропійну оцінку. Алгоритм, покладений в основу цього процесу, працює за ієрархічною схемою [138].

Ототоження точок може здійснюватися різними способами (кореляційним, фазовим та ін.), однак найефективнішим виявився градієнтний ієрархічний метод Лукаса – Кенаде [139; 140]. Як результат стереобробки РЕМ-зображень є отримання карти ізоліній та його профільної характеристики (див. рис. 3.10, б).

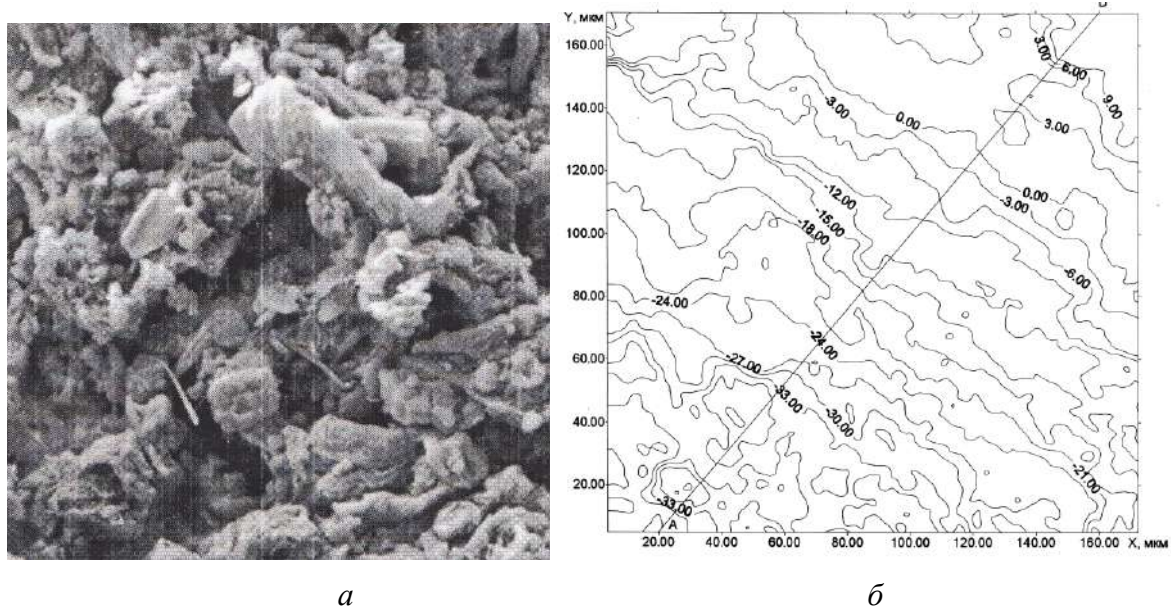


Рис.3.10. Приклад стереометричного аналізу РЕМ-знімків ґрунту:

а – РЕМ-знімок ґрунту; б – карта ізоліній; в – профільна характеристика.

Для розрахунку ентропійної характеристики мікроструктури ЦММР запропоновано проаналізувати профільний розподіл позначок мікрорельєфу [141; 142]. При цьому ентропія характеризуватиме ступінь неоднорідності (невпорядкованості) рельєфу поверхні сколів ґрунту і може оцінюватися за

відомою формулою Шеннона $H = -\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$, де p_i – імовірність перебування

системи в i -му стані; N – число станів системи. Відносна ентропія обчислюється як $O = 1 - H/H_{\max}$.

Це загальновідомі формули. Для випадку ентропійного аналізу мікрорельєфу ЦММР їх необхідно конкретизувати.

За критерієм ієрархічної адитивності ентропію H підмножини характерних точок $\{u_0, u_1, \dots, u_n\}$ подамо у вигляді суми умовних ентропій [42; 142]:

$$H(u_0, u_1, \dots, u_n) = H(u_0) + H(u_1/u_0) + H(u_2/u_0, u_1) + \dots + H(u_n/u_0, u_1, \dots, u_{n-1}). \quad (3.18)$$

Прийmemo, що положення початкової точки відліку фіксоване і при додаткових умовах ентропія не зростає, тобто $H(u_j/u_0, u_1, \dots, u_{j-1}) \leq H(u_j/u_{j-1})$. З деяким запасом у бік збільшення ентропії, формулу (3.18) можна замінити виразом (3.19):

$$H(u_0, u_1, \dots, u_n) = H(u_1/u_0) + H(u_2/u_1) + \dots + H(u_n/u_{n-1}). \quad (3.19)$$

Положення характерної точки профілю u_i відносно попередньої u_{i-1} визначається відстанню цієї точки від початку профілю та перевищенням z_j . Тому можна прийняти (3.20):

$$H(u_j/u_{j-1}) = H(z_j), \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (3.20)$$

Згідно з (3.18) $H(z_j) = M\{-\log[f(z)\Delta z]\}$, де M – символ математичного сподівання; $f(z)$ – щільність розподілу ймовірностей випадкових величин; $z, \Delta z$ – крок квантування профілю за висотою.

Отже, ентропія профілів ЦММР визначається розподілом випадкових величин (3.21):

$$(z_1, z_2, \dots, z_n). \quad (3.21)$$

Для експериментального дослідження законів розподілу ймовірностей випадкових величин (3.21) використано результати профільних стереовимірювань ЦММР [143]. Всі досліджені профілі мали однакову кількість характерних точок $n=208$ при $\Delta z=0,1$ мкм. Довжини окремих профілів коливаються в межах від 5,8 до 16,6 мкм, а їх загальна довжина становить 106 мкм. Дані, що характеризують розподіл перевищень між

характерними точками, об'єднані по кожному профілю в 20 інтервалів, які відображено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

Розподіл перевищень між характерними точками профілів ЦММР в інтервалі від z_{\min} до z_{\max}

Мінімальне перевищення, z_{\min} , мкм	Профіль			
	1	2	3	4
	-8,2	-4,4	-10,0	-8,8
Кількість перевищень, які потрапляють у різні інтервали (довжина інтервалу виражена в долях $(R_{z_{\max}} - z_{\min})$, мкм				
0-0,05	2	1	1	1
0,05-0,1	-	-	1	-
0,01-0,15	2	-	1	-
0,15-0,2	2	3	1	3
0,2-0,25	-	2	1	1
0,25-0,3	3	3	3	4
0,3-0,35	2	6	8	3
0,35-0,4	13	23	22	2
0,4-0,45	36	22	25	7
0,45-0,5	58	63	38	11
0,5-0,55	42	40	49	17
0,55-0,6	22	23	32	46
0,6-0,65	8	9	13	51
0,65-0,7	4	5	5	29
0,7-0,75	2	2	5	12
0,75-0,8	-	2	1	13
0,8-0,85	1	2	1	3
0,85-0,9	-	1	-	3
0,9-0,95	-	-	-	-
0,95 - 1	1	1	1	1
Максимальне перевищення z_{\max} , мкм	+8,3	+4,7	+10,0	+6,0
R , мкм	16,5	9,1	20,0	14,8
ξ , мкм	-0,38	0,03	-0,07	0,06
β , мкм	1,2	0,7	1,7	1,4

Як видно з таблиці 3.4, виміряні перевищення у своїй сукупності мають деякий діапазон, принципи компенсації та унімодальності, а також характеризуються властивістю рівномірності в тому розумінні, що додатні й від'ємні перевищення зустрічаються в середньому однаково часто.

Проаналізувавши отримані дані, побачимо, що сукупність перевищень має розподіл Лапласа зі щільністю вірогідності [42]:

$$f(z) = \frac{1}{2\beta} \exp\left(-\frac{|z - \xi|}{\beta}\right), \quad (3.22)$$

які одержані методом максимальної правдоподібності [139].

У такому разі ентропію перевищень z можна оцінювати як математичне сподівання функції $\{-\log[f(z)\Delta z]\}$. Приймаючи до уваги (3.22), можемо записати:

$$H(z) = m \left\{ -\log \left[\frac{1}{2\beta} \exp\left(-\frac{|z - \xi|}{\beta}\right) \Delta z \right] \right\} = \log 2\beta + \frac{\log e}{\beta} M(|z - \xi|) - \log \Delta z. \quad (3.23)$$

Для визначення параметрів ξ і β за експериментальними даними використано формули:

$$\xi = \frac{\sum z_j}{n}; \quad \beta = \frac{\sum |z_j - \xi|}{n} \quad (3.24)$$

Оскільки для розподілу Лапласа $M(|z - \xi|) = \beta$, $\sigma(z) = \beta\sqrt{2}$, то в результаті матимемо:

$$H(z) = \log\left(\frac{2\beta e}{\Delta z}\right) = \log\left[\frac{\sqrt{2}e\sigma(z)}{\Delta z}\right] \text{ біт}, \quad (3.25)$$

де $\sigma(z)$ – середнє квадратичне відхилення перевищень.

За результатами проведених досліджень встановлено:

1) для профілів при $\Delta z = 0,1$ мкм оцінка ентропії характерної точки змінюється в межах від 11,9 до 13,5 біт/точку;

2) основними факторами, що визначають інформаційну ємність ЦММР, є інтервали квантування Δz ;

3) концепція ентропії в ерозієзнавчому застосуванні має такі особливості: мінімальне значення ентропії відповідає добре згладженим поверхням сколів, а максимальне відповідає випадку рівноймовірності стану системи і дорівнює $\ln N$. Для ЦММР це однакова ймовірність знаходження позначки будь-якої точки ЦММР у попередньо вибраному інтервалі перепаду висот. Близька до граничної величина ентропії властива зразкам з низькою і сильно змінюваною міцністю зв'язків, що зумовлює рівноймовірне порушення структурних елементів практично будь-якого рівня організації. Всі дослідженні зразки за результатами морфолого-спектрального аналізу (п.3.2.1.) мали показник ентропії H від 2,10 до 3,12. В нашому випадку це частки з діаметрами 81 мкм, що властиво ґрунтам з

низькою і сильно змінюваною міцністю зв'язків, яке зумовлює рівноймовірне порушення структурних елементів практично будь-якого рівня організації (чорноземи та дерново-підзолисті ґрунти). Така поліструктурна властивість ґрунтового покриву впливає на інтенсивність ерозії на ряду з крутизною схилу та характером опадів.

3.3. Ґрунтознавчо-гранулометрична модель водної ерозії для умов Волинського Опілля.

На основі аналітично опрацьованих математичних моделей змиву встановлено пряму залежність інтенсивності змиву від властивостей ґрунтового покриву. Маючи тільки ці характеристики можна визначати та прогнозувати об'єми втрат з достовірністю від 60 до 75%. Тому запропоновано виконати дослідження деяких додаткових властивостей ґрунтів для підвищення релевантності прогнозних та фактичних даних спостережень за водною ерозією використовуючи тільки планіметричні характеристики РЕМ-зображень зразків ґрунту.

3.3.1. Встановлення залежностей фізико-механічних властивостей зразків ґрунту і планіметричних даних РЕМ-мікроскопії

Для експериментальних досліджень були підготовлені зразки ґрунтових агрегатів дерново-підзолистого ґрунту розміром 2-5 мм, поверхню яких проаналізовано на РЕМ. У випадку рівномірного повільного висихання допускається, що зміна поверхні агрегатів у процесі осідання збігається із зміною внутрішнього порового простору.

Верхні горизонти (0-25см) дерново-підзолистого ґрунту мають скелетну структуру, тому при препаруванні (підготовці зразків) поровий простір майже не змінюється.

За даними РЕМ-мікроскопічного аналізу шліфів відібраних зразків орного шару можна констатувати наступне. Гумусово-акумулятивний горизонт характеризується помірною агрегованістю, ізотропністю плазми, слабкою зафарбованістю дисперсної форми гумусу, помітної зоогенної пропрацьованості. Рослинні залишки характеризуються наявністю напіврозкладених „обривків”, згустками й пластівцями органічної плазми, присутністю квадратних часток. Дисперсний гумус у більшості випадків

розподілений рівномірно. Гумусово-залізисті новотвори досить типові. Як показали дефрактометричні дослідження, вони містять оксиди марганцю, компактні, мають чіткі границі й темне фарбування. Часто в новотворах відзначаються скупчення кістякових зерен (рис. 3.11). Аналіз форми зерен дозволяє говорити про значну участь у їхньому формуванні біогенних механізмів і факторів, пов'язаних з перезволоженням і коливаннями окислювально-відновного потенціалу (ОВП).

Гумусово-акумулятивний горизонт має скелетну (зернисту) мікроструктуру, твердими структурними елементами якої в основному є велико-пилеві зерна первинних мінералів (10-20мкм), що мають неокатану гострокутну форму (рис. 3.5). Менший внесок до складу твердих структурних елементів вносять зерна дрібнопилуватої фракції від 2 до 5 мкм.

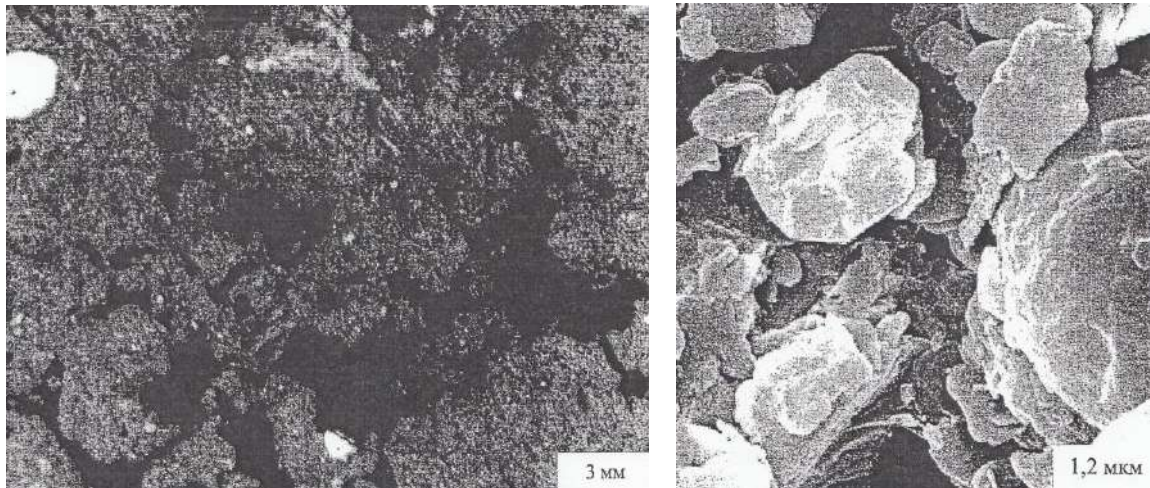


Рис. 3.11. Зерна скелету в горизонті А1.

Помірна ступінь агрегованості горизонту є наслідком впливу хімічних структуро-утворень, серед яких основна роль належить органічній речовині, розвитку корневих систем рослин і діяльності дощових хробаків. Зоогенні агрегати характеризуються високою стійкістю, округлою формою й участю в утворенні агрегатів вищих порядків.

Поряд з агрегованістю, для мікростворення гумусово-акумулятивного горизонту характерна й наявність неагрегованого матеріалу. Поровий простір гумусово-акумулятивного горизонту характеризується складною організацією. Зустрічаються як міжагрегатні пори й тріщини, так і внутріагрегатні пори різної форми. Для поверхні пор глинисті кутани не характерні.

Крім мінеральних зерен, серед твердих структурних елементів зустрічаються ділянки стебел рослин з добре вираженою волокнистою структурою й опалові фітоліти (рис. 3.12).

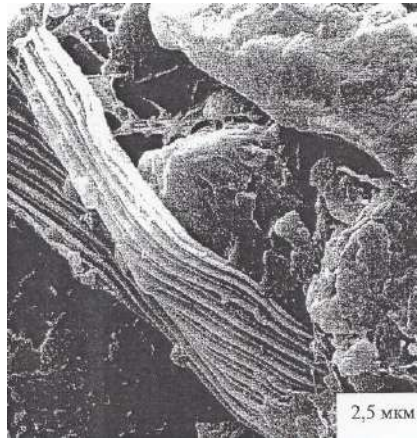


Рис. 3.12. Ділянка стебла рослин.

Пори в основному міжзернисті, зрідка міжчасткові й внутрізернисті, мають характерну анізометричну форму (рис. 3.13).

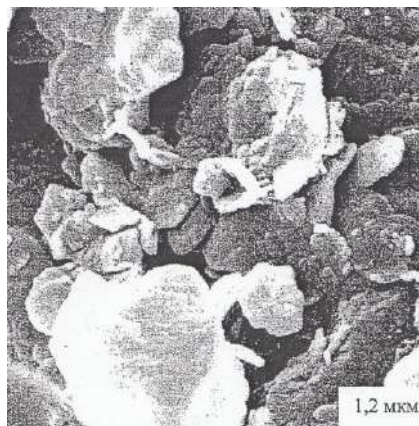


Рис. 3.13. Мікropоровий простір горизонту A1.

Для досліджень РЕМ-зображень зразків ґрунту необхідно виконати основну вимогу: встановлення чітких меж між структурними елементами і порами шляхом адекватного відображення його реальної мікробудови.

Дотримання цієї вимоги досягається шляхом застосування відповідних методик підготовки зразків для аналізу. В ґрунтах з однорідною мікробудовою можна вивчати довільний випадковий переріз, в ґрунтах з однорідною анізотропною мікробудовою рекомендується досліджувати переріз, паралельні максимальному градієнту зміни морфологічних і геометричних ознак. В нашому випадку це, зазвичай, перерізи, перпендикулярні до нашарувань.

За методикою проф. Соколова В.М. програмно аналізується випадкова ділянка для проведення аналізу, режим роботи і характеристики досліджуваних елементів зображення та оцифрування зображення з потрібним розбиттям. При аналізі планіметричних ознак проводиться переведення зображення в бінарне за заданим рівнем дискримінації, фільтрація шумових точок, швидка оцінка пористості, відслідковування та вимірювання площі і периметра кожного елемента зображення, виявлення та оцінка пор, формування масивів площі і периметрів всіх елементів, що зустрічаються на зображенні.

Для проведення експериментальних досліджень було вибрано 18 зразків 9 ґрунтів, типових для Волинського Опілля (рис. 3.14). Для усунення випадку неякісного відбору та уникнення випадкових помилок виконано дублювання точок в 2 різних місцях. Додатково це дало можливість встановити більш чітку залежність зміни характеристик для кожного типу ґрунту. Протиерозійні (міцнісні) і деформаційні характеристики досліджуваних зразків визначалися в спеціальній лабораторії фізичного факультету СНУ ім. Лесі Українки. Дослідження на стиск проводилися на циліндричних зразках з діаметром 20 мм і висотою 50 мм в напрямку, перпендикулярному до нашарування. Визначення міцності на зсув здійснювалося за схемою двох площинних зрізів балочки січенням $1,5 \times 1,0 \text{ см}^2$ без прикладання нормального навантаження.

Математико-статистична обробка проаналізованих зображень зразків ґрунту опрацьованих за допомогою ПП „STIMAN” проводилася за методом найменших квадратів. Основні результати проведених досліджень наступні (табл. 3.4).

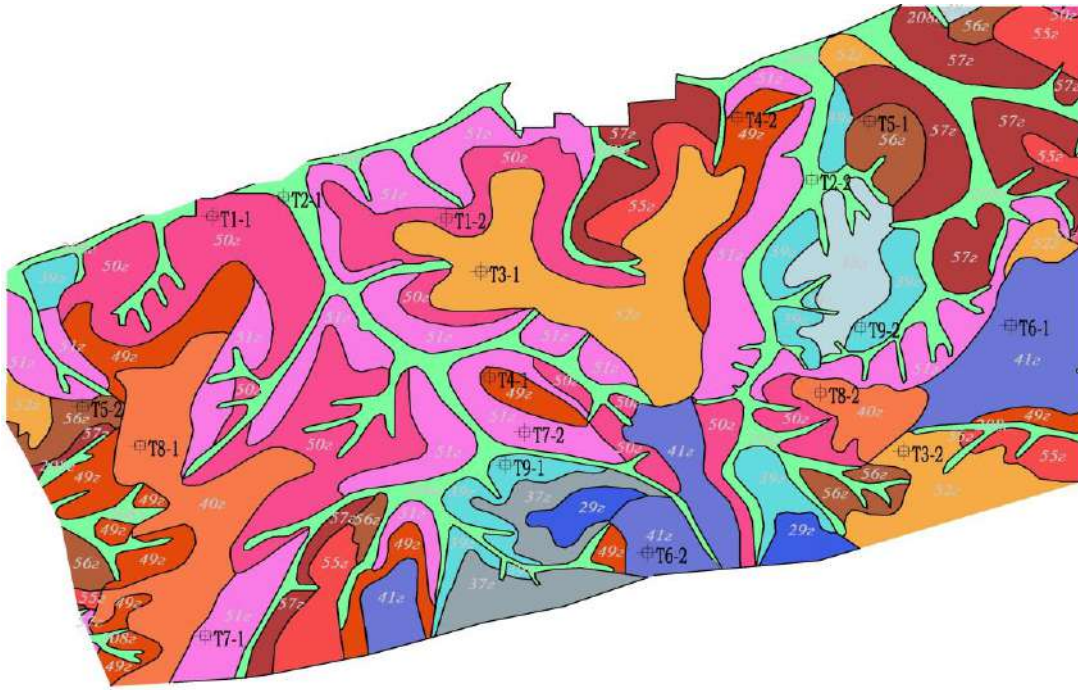


Рис. 3.14 Схема розміщення місць відбору зразків для РЕМ досліджень на території КРГ: \oplus T1-1 – назви точок відбору зразків.

Таблиця 3.4

Результати математико-статистичної обробки зразків ґрунту

№ п/п	№ точки	$M_{<0,005}$, %	$P \cdot 10^3$, мкм	$\ln E_y$, МПа	$A \cdot 10^3$, мкм ²	$\ln EG$, МПа	$A \cdot 10^3$, мкм ²	$E_y \cdot 10$, МПа	$A \cdot 10^0$, Мкм ²	$E_y \cdot 10$, МПа	$A \cdot 10^0$	$n \cdot 10$, %	$A \cdot 10^4$, Мкм ²
1	T1-1	29	1,8	-3	5,4	-3,1	5,4	-5,1	5,0	0,1	1,1	3,5	1,1
2	T1-2	38	2,3	-2,8	4,7	-1,5	4,8	-4,7	4,1	0,3	1,2	4,0	1,2
3	T2-1	45	2,3	-1,0	3,9	-0,5	4,1	-4,5	4,0	0,4	1,4	4,4	1,3
4	T2-2	54	2,9	0	3,8	1,3	3,2	-3,2	4,0	0,5	1,4	4,8	1,3
5	T3-1	58	3,2	1,5	3,0	2,4	2,7	-3,2	3,7	0,6	1,6	5,1	1,4
6	T3-2	56	3,4	1,5	3,4	2,1	2,4	-2,5	3,4	0,9	1,7	5,2	0,5
7	T4-1	65	3,7	2,3	2,4	5,8	1,2	-2,1	3,2	1,2	1,8	6,4	1,7
8	T4-2	70	4,3	2,1	2,4	5,1	0,7	-2,0	3,0	1,5	22,2	6,0	1,6
9	T5-1	80	4,9	4,0	1,8	5,9	0,8	-1,8	2,1	1,8	2,0	6,7	1,7
10	T5-2	88	5,3	6,1	0,8	1,1	2,2	-1,0	2,8	1,9	2,3	5,8	1,6
11	T6-1	24	2,1	-2,8	5,8	-0,1	5,5	-5,5	5,8	0	1,0	2,8	0,7
12	T6-2	23	2,6	0	5,3	0	4,8	-5,4	5,3	0,2	1,0	3,1	0,9
13	T7-1	52	2,7	0,2	4,8	1,8	4,6	-4,6	5,2	0,2	1,2	3,4	1,1
14	T7-2	46	3,3	1,3	4,0	1,7	3,9	-4,5	4,9	0,7	1,0	4,0	1,2
15	T8-1	47	3,6	1,8	3,2	4,1	3,7	-3,5	4,3	1,0	1,2	5,0	1,3
16	T8-2	54	3,9	6,0	3,2	4,9	2,9	-2,0	4,2	1,3	1,5	6,0	1,4
17	T9-1	55	4,2	5,1	2,5	4,1	2,5	-1,8	3,8	2,2	1,7	6,2	1,5
18	T9-2	68	4,7	5,0	2,2	3,9	2,7	-0,6	4,0	2,8	2,0	6,5	1,7

Тут M – % вмісту часток $<0,005$; P , мкм - периметр пор, A – площа пор, мкм²; E_0 – модуль загальної деформації; E_y – модуль питомої (удельн.) деформації; G – тиск, мПа; n - коефіцієнт пористості.

Як видно з таблиці 3.4, дослідження порового простору зразків ґрунту або в загальному випадку дисперсних матеріалів, окрім якісної характеристики про їх просторову мікроструктурну організацію, дозволяє отримувати кількісні залежності між фізико-механічними параметрами і морфометричними характеристиками. Як показали експериментальні дослідження, загальна пористість пов'язана тісною кореляційною залежністю із сумарною площею пор, виміряною за РЕМ-зображенням.

Встановлена чітка залежність, що пористі ґрунти з великим вмістом фракцій $<0,005$ мм мають як великий загальний периметр, так і площу пор. Тісна кореляційна залежність $M_{<0,005} = f(A, P)$ не суперечить існуючій закономірності зростання пористості в більш дисперсних системах та вказує на складну форму утворюваних в них мікроагрегатних пор.

З літературних джерел [144] відомо, що для дисперсних систем існують експоненційні залежності між міцністю та пористістю. З виконаних експериментальних досліджень (лабораторія) встановлено такі залежності між модулем питомої (удельн.) деформації E_y , модулем загальної деформації E_0 та загальною площею пор A (мкм²):

$$E_y = \exp(-8,15 \cdot 10^{-4}) + 12,03 \cdot A; \quad E_0 = \exp(-8,01 \cdot 10^{-4}) + 13,11 \cdot A. \quad (3.26)$$

Важливою характеристикою міцності є щільність скелета ґрунту. Встановлена тісна кореляційна залежність між щільністю скелету ґрунту ρ (г/см³) і загальною площею пор A (мкм²):

$$\rho = f(A), \quad \rho = 1,49 \cdot 10^{-4} A + 3,34, \quad R = -0,89 \quad (3.27)$$

Такий характер залежності відповідає відомим уявленням про взаємозв'язок щільності ґрунтів та їх пористістю.

Іншою важливою характеристикою в ерозієзнавчих дослідженнях є становлення величини міжагрегатного зчеплення (C_B^H) (3.28):

$$C_B^H = 0,31(K_{33}C_{33})^{2,25}, \quad (3.28)$$

де K_{33} – коефіцієнт загального зчеплення; C_{33} – загальне зчеплення.

Коефіцієнт однорідності (K_{33}) можна прийняти рівним 0,5. Величину

загального зчеплення C_{33} можна коректно розраховувати, оскільки вона тісно зв'язана з коефіцієнтом пористості (n), вологістю нижньої межі пластичності ($W_{НПМ}$) і вмістом коренів рослин діаметром менше 1мм (R , % до об'єму), на основі емпіричної залежності (3.29):

$$C_{33} = (1 + 0.025 \exp 14.0R) / (708n / W_{НПМ}^{1.2})^{=10} \quad (3.29)$$

Отже, отримання стереолого-планіметричних характеристик порового простору ґрунтів, взаємозв'язку фізико-механічних і міцнісних характеристик дозволяє знаходити елементи моделі, що характеризує чинник ґрунту для функцій відклику (розділ 3, п.3.1.).

Рентгено-дефрактометричні дослідження. При моделюванні змивних процесів гранулометричними моделями крім РЕМ-мікроскопії можна використовувати дані лабораторних досліджень зразків ґрунту методом рентгенівської дефрактометрії [108]. Відповідно були проведені в спеціальній лабораторії хімічного факультету СНУ ім. Лесі Українки з допомогою рентгенівського дефрактометра ДРОН гранулометричні дослідження. Основні результати досліджень подано в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Основні морфолого-морфометричні показники ґрунту

Горизонт Г1 (глибина 0-30 см)	Вміст фракцій, %				
	0-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	< 0,005 мм
Гранулометричний склад дерново-підзолистого ґрунту	12,69	7,44	47,88	12,14	8,83
Мікроагрегатний склад дерново-підзолистого ґрунту	26,27	22,49	44,39	3,45	2,39

Згідно з отриманими даними чітко прослідковується диференціація гранулометричного складу, мікроагрегатна компонента характеризується невисокими значеннями фракцій мулу. Глиниста речовина в таких суглинкових текстурно-диференційованих ґрунтах представлена, в основному, глинистими ультрамікроагрегатами і глинисто-пилуватими мікроагрегатами, а не окремими глинистими лусочками.

Гранулометричний склад ґрунту визначає і її питому поверхню. Ілювіальні горизонти дерново-підзолистого ґрунту характеризуються високими (часто максимальними) значеннями питомої поверхні. Важливим є фізичні властивості досліджуваних ґрунтів (щільність, вологість, фактор дисперсності). В табл. 3.6 приведені фізичні характеристики дерново-підзолистого ґрунту.

Таблиця 3.6

Фізичні властивості дерново-підзолистого ґрунту

Горизонт Г1 (глибина 0-30 см)	Питома поверхня, м ² /г	Усадка (межа усадки, %)	Фактор дисперсності	Гігроскопічна вологість, %	Вологість, %	Щільність, г/см
Г1 (0- 30)	26,56	19,48	7,35	1,77	21,13	26,56

Дані таблиці 3.6 свідчать про добре розвинену структуру і досить високі значення питомої поверхні в гумусоаккумулятивному горизонті, що зумовлено процесами гумусоутворення й гумусонакопичення. Участь гумусових речовин в утворенні ґрунтової структури неодноразово відзначалося в літературі [105]. Причому чим вищий зміст гумусових речовин, тим кращі структура ґрунту і її питома поверхня.

Проведені дослідження підтверджують літературні дані щодо оберненої залежності щільності ґрунту від його пористості (ф-ла 3.27). Отримані результати РЕМ та рентгено-дефрактометричних досліджень показали високу оперативність та головною перевагою є отримання додаткових характеристик, які можна використати в створенні нового варіанту прогностичної моделі. Розглянемо таку можливість.

3.3.2. Моделювання гранулометричної складової процесу ерозії

Як було сказано в попередньому пункті, важливим фактором водної ерозії ґрунту є її ґрунтознавчо-гранулометричні властивості. Відомо [128], що найбільший вплив на ерозійну небезпеку ґрунту здійснюють чотири групи властивостей та ознак ґрунту: вміст різних гранулометричних фракцій в ґрунті; вміст гумусу; структура ґрунту (табл. 3.7); пористість (табл. 3.4) та

водопроникність ґрунту (табл. 3.8).

Таблиця 3.7

Код ґрунту за структурою St

Код	Structure type	Тип структури
1	Very fine granular	Порохувата
2	Fine granular	Зерниста
3	Medium or coarse granular	Грубозерниста та порохувата
4	Blocky, platy or massive	Масивна, брилувата, пластинчаста

Таблиця 3.8

Код ґрунту за водопроникністю Pt

Код	Water-penetrate type	Тип водопроникності	Швидкість водопроникності, мм/хв
1	Rapid	Швидка	менше 0,5
2	Moderate to rapid	Помірно-швидка	0,5-0,1
3	Moderate	Помірна	0,1-0,02
4	Slow to moderate	Повільно-помірна	0,02-0,005
5	Slow	Повільна	0,005-0,001
6	Very slow	Дуже повільна	більше 0,001

Визначення фактору властивостей ґрунту (KS) базується на встановлених відношеннях і виражається у вигляді співвідношення експоненційних залежностей (розділ 2, п.2.3.2, формула 2.37):

Проте для середньотекстурованих, слабо- або середньоагрегованих ґрунтів як це має місце для умов Волинської височини та з врахуванням досліджень планіметричних даних РЕМ-мікроскопії (п.3.4.1) чинник еродованості ґрунту необхідно розраховувати за модифікованою формулою:

$$K = 2.1 \cdot 10^{-4} (12 - a) \cdot n \cdot M^{1.14} + (3.25(St - 2)) + (2.5(Pt - 3)), \quad (3.30)$$

де K – чинник еродованості ґрунту; a – вміст органічної речовини у ґрунті; St – код ґрунту за структурою (табл. 3.7); Pt – код ґрунту за водопроникністю (табл. 3.8), n – коефіцієнт пористості (табл. 3.4); $M = Silt(Silt + Sand)$ – параметр розміру частинок ґрунту; $Silt$ – вміст мулу (%); $Sand$ – вміст піску (%).

Апробацію методики визначення показників еродованості ґрунту здійснено на прикладі дослідної ділянки регіонального геостаціонару (Заборольська сільська рада Луцького району Волинської області) і за складом ґрунтів є типовою для даного геостаціонару.

На картосхемі (рис. 3.16) показано, що в структурі ґрунтового покриву дослідної ділянки переважають темно-сірі та чорноземи типові опідзолені слабо- і середньозмиті крупно-пилувато легкосуглинкові ґрунти на лесовидному суглинку.

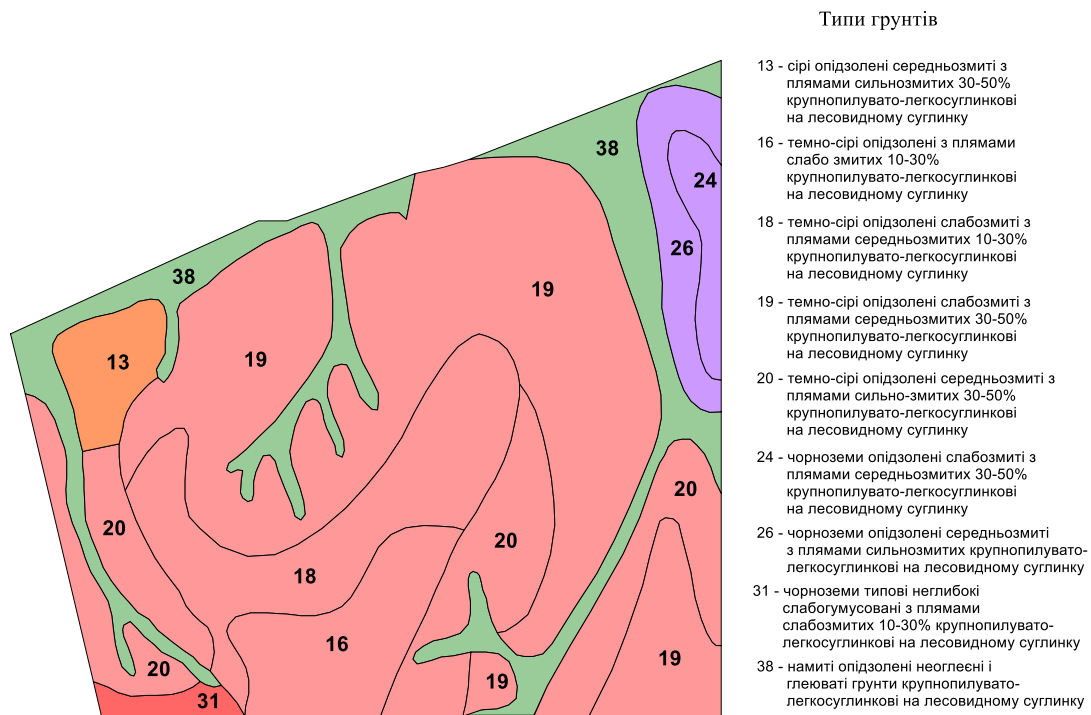


Рис. 3.16. Ґрунтовий покрив типової ділянки

На основі результатів комплексних багаторічних ґрунтових обстежень, які були проведені Волинським центром охорони родючості ґрунтів та якості продукції „Облдержродючість”, алгоритму пошуку коефіцієнтів рівняння методом короткобазичної фотограмметрії та проведених в ході

експериментальних робіт опрацювань РЕМ-зображень, розраховано показники еродованості для різних типів ґрунтів, які наведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Розрахунок значень чинника еродованості ґрунту

Шифр ґрунту	a, %	Sand,%	Silt,%	St	Pt	M	K	n
13	1,2	13,6	17,1	3	2	524,970	3,612	3,5
16	1,5	12,4	18,7	3	2	581,570	3,876	4,0
18	1,7	5,8	19,8	3	2	506,880	3,372	4,4
19	1,7	5,9	19,5	3	2	495,300	3,304	4,8
20	1,4	2,8	19,9	3	2	451,730	3,116	5,1
24	1,7	4,2	33,7	3	2	1277,23	8,270	5,2
26	1,2	4,7	32,8	3	2	1230,00	8,303	6,4
31	2,1	3,9	34,5	3	2	1324,80	8,285	6,0
38	1,9	9,4	22,1	3	4	696,150	9,442	6,7

Картограму просторового розподілу розрахованого чинника еродованості ґрунту *K* частини комплексного регіонального геостационару на території Заборольської сільської ради Луцького району Волинської області подано на рис. 3.17.

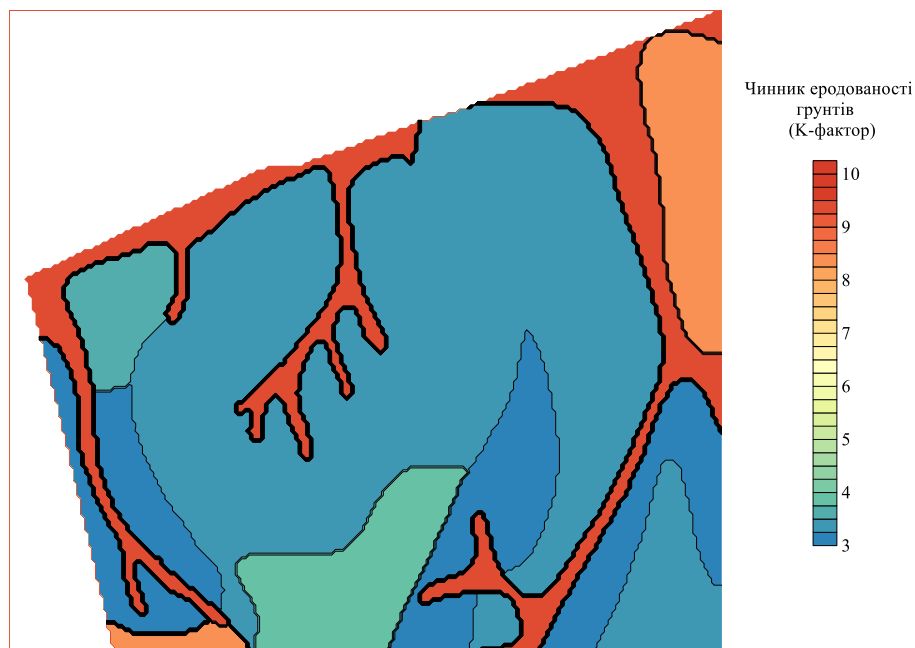


Рис. 3.17. Просторовий розподіл чинника еродованості ґрунтів типової ділянки

Аналізуючи отримані попередні (рис.3.10) та дані про просторове розташування ґрунтів (рис.3.9) в межах тестової ділянки, можна зробити такий висновок: намиті опідзолені неоглеєні і глеюваті ґрунти крупнопилувато-легкосуглинкові на лесовидному суглинку мають найменші протиерозійні

властивості, а відповідно в напрямку зростання таку тенденцію мають представлені на ґрунтовій карті ґрунти з номерами 31, 26, 24, 16, 13, 19, 18, 20.

Висновки до розділу 3.

1. Апробовано методику вивчення порових властивостей ерозійно небезпечних ґрунтів растрово-електронно-мікроскопічними засобами. Отримані статистичні дані свідчать про те, що більші пори мають більш округлу форму, це підтверджується збільшенням показника ізометричності від 0,13 до 129,75 при збільшенні еквівалентного діаметра пор від 4 до 27 мкм, а отже і збільшення водопоглинаючої властивості ґрунту та зменшення інтенсивності змиву.

2. Вперше введено поняття коефіцієнта пористості n , який є нічим іншим як протиерозійною стійкістю. Значення показників характеристик порового простору чорнозему (1) (анізотропія $K_a = 6,86\%$, фактор форми $K_f = 0,454$, загальна площа пор $S_{заг} = 29027 \text{ мкм}^2$) є меншими ніж відповідні значення дерново-підзолистого ґрунту (2) (анізотропія $K_a = 14,6\%$, фактор форми $K_f = 0,545$, загальна площа пор $S_{заг} = 53496 \text{ мкм}^2$), та загальної їх площі $S_{заг}$. Порівнюючи отримані дані з даними спостережень за змивом встановлено: фільтраційні властивості чорноземів є гіршими, а змив більший ніж аналогічні показники дерново-підзолистих ґрунтів і становлять 9,8 т/га/рік та 7,2 т/га/рік відповідно.

Отримані рівняння регресій та кореляційних залежностей загальної пористості досліджуваних ґрунтів від їх загальної площі ($n_A = f(A)$, $n_{ч} = 4,95 \times 10^{-3} A - 10,9$, $R = 0,91$ – для чорнозему, $n_A = f(A)$, $n_{дп} = 5,02 \times 10^{-3} A - 11,21$, $R = 0,87$ – для дерново-підзолистого ґрунту). Проведені РЕМ-дослідження дозволили отримати параметри властивостей ґрунту без використання загально вживаних підходів в ґрунтознавстві, які використані при розробці ґрунтознавчо-гранулометричної моделі ерозії ґрунту для умов досліджуваної території.

3. Розроблено нове теоретичне, алгоритмічне і програмне обґрунтування сучасного методу дослідження ерозії ґрунту за допомогою РЕМ – програма

морфологоспектрального аналізу. Метод базується на новітніх засадах та принципах стереології і цифрової фотограмметрії. Він дозволяє на основі стереометричного аналізу профільної характеристики РЕМ-зображення зразка ґрунту в автоматичному режимі визначати ступінь неоднорідності (невпорядкованості) ЦММР, а значення оцінки ентропії характерної точки – інтервал квантування з кроком $\Delta z = 0,1$ мкм, який і визначає інформаційну ємність ЦММР, а отже, найбільш піддатливу тверду фазу скелета ґрунту (частота Найквіста). В нашому випадку це частки з діаметрами 81 мкм, що властиво ґрунтам з низькою і сильно змінюваною міцністю зв'язків, яке зумовлює рівноймовірне порушення структурних елементів практично будь-якого рівня організації (чорноземи та дерново-підзолисті ґрунти).

4. Експериментальними дослідженнями підтверджена доцільність інтеграції фізико-механічних та стереологічних досліджень зразків ґрунту, що дозволяє отримувати регресійні залежності між модулем питомої (удельн.) деформації E_y , модулем загальної деформації E_0 та загальною площею пор A (мкм²):
 $E_y = \exp(-8,15 \cdot 10^{-4}) + 12,03 \cdot A$; $E_0 = \exp(-8,01 \cdot 10^{-4}) + 13,11 \cdot A$.
 Встановлені тісні кореляційні залежності між щільністю скелету ґрунту (протиерозійна стійкість) ρ (г/см³) і загальною площею пор A (мкм²) $R = -0,89$.

Використовуючи результати досліджень знайдені елементи моделі, що характеризують чинник ґрунту для R-функцій. Отримані математичні вирази дозволяють з високою точністю (точність верифікації моделей порядку 85%) моделювати та прогнозувати можливу динаміку ерозійних процесів для конкретних агроландшафтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 3

129. Huiyn Zhon, Jiahua Wu, Jianguo Zhang. Digital Image Processing, BookBoon 2010.
130. Мельник В. М. РЕМ-аналіз мікроструктури дерново-підзолистих ґрунтів / В. М. Мельник, В. Ф. Радзій, Ю. А. Мельник / Вісн. геодезії і картографії, 2010. – № 5. – С. 29-34.
131. Исмаилов М. М. Зависимость уносимой массы различных почв от ее влажности и скорости ветрового потока / М. М. Исмаилов, К. М. Мирзажанов // Почвоведение, 1991. – №4. – С. 168-170.
132. Мельник О. В. Про причини деформаційних процесів ґрунтової греблі ХАЕС // Зб. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.- вип.19. – Львів, – 2010. – С.67-74.
133. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов. / Р. Отнес, Л. Эноксон – М.: Мир. – 1982. – 418 с.
134. Мельник В. М. Стереолого-стереометрична оцінка мікроструктури ґрунту / В. М. Мельник, І. М. Нетробчук, Ф. П. Тарасюк // Депоновано в ДНТБ України 06.07.93 Ук-93, № 1390. – 23 с.
135. Мельник В. М. Цифрова обробка РЕМ-зображень / В. М. Мельник, А. В. Шостак, О. В. Мельник: міжвуз. зб. Наук. нотатки. – Луцьк, 2007. – С. 299-304.
136. Баланкин А. С. Синергетика деформируемого тела / А. С. Баланкин. – М.: Оборонгис, 1991. – 404 с.
137. Годунов С. К. Элементы механики сплошной среды / С. К. Годунов // М.: Наука – 1978. – 304 с.
138. Войсловский Л. К. Информационная модель рельефа, изображенного горизонталями / Л. К. Войсловский // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1983. – Вып. 37. – С. 122-130.
139. Колмогоров А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации» / А. Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1965. – Т.1.– № 1.

– С. 118-127.

140. Бобро Ю. Г. Принципы фрактальности в механике разрушения / Ю. Г. Бобро, В. Н. Мельник, А. В. Шостак, В. У. Волошин // Металлы. – М.: Наука, 1997. – № 2. – С. 199-202.

141. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970. – 720 с.

142. Эрдоган Ф. Теория распространения трещин. В кн.: Разрушение; под ред. Г. Либовица. – Т. 2. – Математические основы теории разрушения. М.: Мир, 1975. – С. 521-615.

143. Мельник В. М. Ентропійна концепція визначення рівнів ерозії ґрунту за даними РЕМ-мікроскопії / В. М. Мельник, В. П. Мендель, В. Л. Расюн // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 6. – С. 11-16.

144. Осипов В. И. Микроструктура глинистых пород / В. И. Осипов, В. Н. Соколов, Н. А. Румянцева. – М. : Недра , 1999. – 209 с.

РОЗДІЛ 4. КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ЕРОЗІЄЗНАВЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивчення ерозійних процесів на сучасному етапі об'єднання різних наукових напрямків дає можливість створення картографічної моделі, яка б відтворювала основні чинники впливу. Спостереження, що проводяться на будь-якому рівні, потребують застосування елементів просторового аналізу для інтерпретації, а також моделювання процесів зміни досліджуваних систем. Масштаби картографічного зображення визначаються у відповідності до бажаного відтворення зображуваних елементів. Такими системами, що відповідають поставленим вимогам, та є ефективними з точки зору оперативності, економічності та варіативності картографічного матеріалу є сучасні програмні продукти геоінформаційних систем.

Під час досліджень використано такі програми: MapInfo Professional 5.0 фірми Pitney Bowes Software (США), Surfer (розробник фірма Golden Software) та геоінформаційну систему ArcGIS (розробник Інститут досліджень навколишнього середовища (ESRI)). Представлені ГІС-пакети є ефективними інструментами, що забезпечують широкі можливості під час організації автоматизованого збору, зберігання, аналізу, маніпулювання та відображення просторової інформації.

4.1. Локальні дослідження рельєфу комплексного регіонального геостаціонару картометричним методом

Вперше ідея цього методу запропонована в роботі [145]. Основою методу є TIN- або GRID-моделі, отримані в результаті відповідного оцифрування карт-матеріалів (топокарти масштабів 1:10000 – 1:100000). Приклад TIN-моделі на фрагмент тестового полігону показано на рис. 3.1 [додатка 3](#).

Для автоматизованого визначення об'єктів змиву з кожного схилу потрібно „відсортувати” трикутники у порядку їх розташування від вододілу до тальвегу. Нами запропоновано оригінальний алгоритм сортування, який передбачає побудову орієнтованого графа для конкретного схилу (рис. 4.1.).

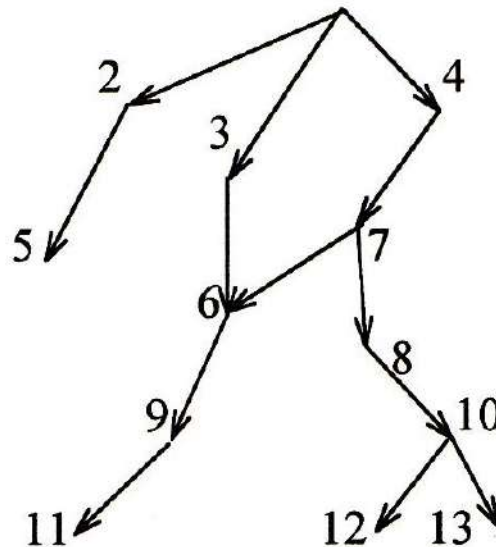


Рис.4.1. Приклад побудови орієнтованого графа.

Вершинами графа є елементарні схили у вигляді трикутників, а ребрами графа виступають лінії стоку із орієнтацією ребер за їх напрямком.

Нехай схил складається з n елементів (n -ий елемент – нижній елемент). Позначимо l і L як довжини схилу і f і F – як площу. Звідси:

$$L_n = \sum_1^n l_i \quad \text{і} \quad F_n = \sum_1^n f_i \quad (4.1)$$

На рис. 4.2. (а, б) показано приклади часткових водозборів.

При поділі плоского схилу на трапеції розрахунок змиву здійснюється незалежно по смугах, так як показано на рисунку 4.2 (а, б). У випадку коли елементи схилу мають постійну ширину як показано на рис. 4.2, а – геометрія характеризується довжиною L_i , а коли елементи схилу мають змінну ширину (рис. 4.2, б,в) – геометрія характеризується площею F_i , і середньою шириною b нижнього елемента.

Якщо модель рельєфу апроксимується цифровою TIN-моделлю, то елементами такої сітки будуть комірки цієї моделі. Питання виокремлення смуг, по яких поверхневий стік відбувається незалежно, у цьому випадку зводиться до моделювання траєкторій потоків води, які фактично є сукупністю послідовних комірок. Будемо вважати, що комірки є квадратними, тоді обчислення спроститься, адже тепер наближено площа елементарної комірки

дорівнює a , відповідно модуль буде обчислюватися за формулою:

$$W_L = \alpha \left((P+1)L^P S^n(L) + nL^{P+1} S^{n-1} \frac{dS(L)}{dL} \right) \quad (4.2)$$

де $\frac{dS}{dL}$ – профіль схилу, який визначає прискорення потоку: на опуклому схилі прискорення буде додатнім, на ввігнутому – від’ємним.

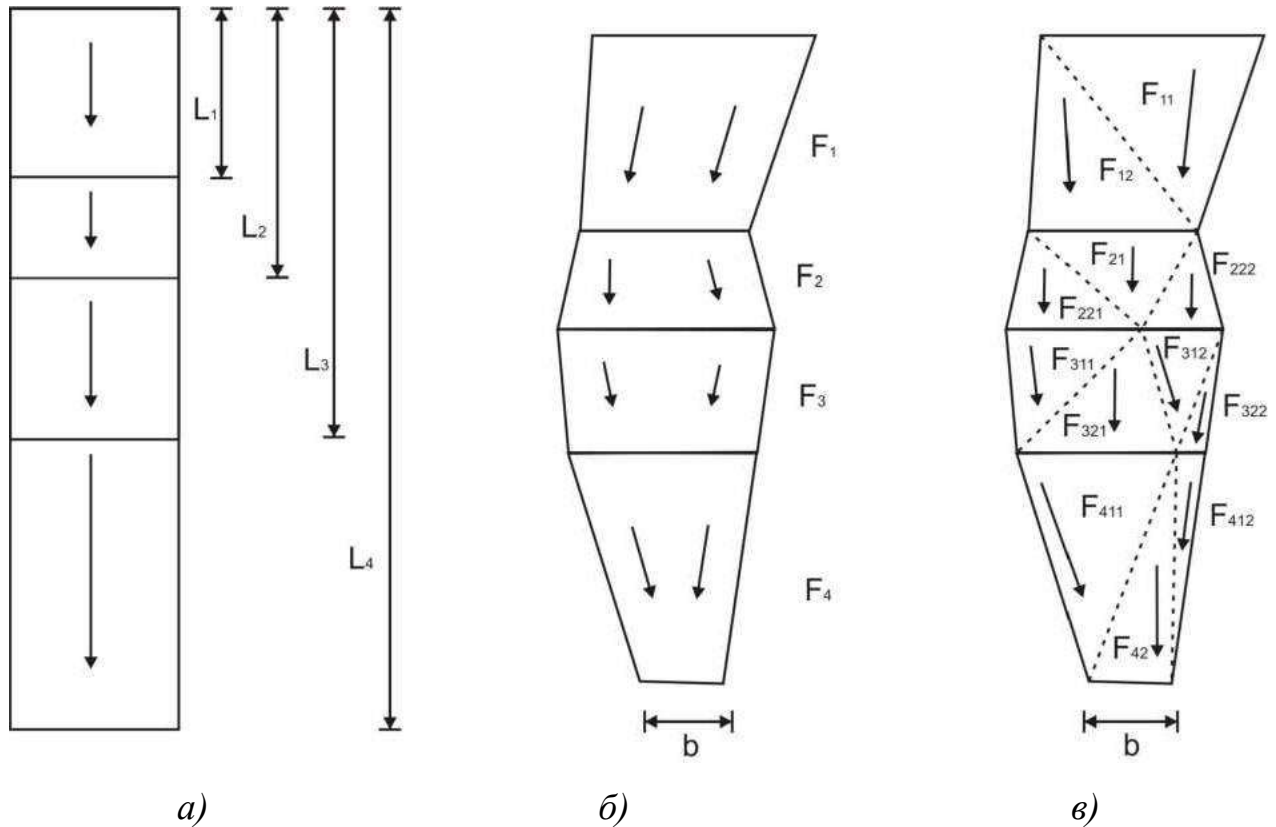


Рис. 4.2. Приклади часткових водозборів на елементарному схилі:

a – елементи схилу постійної ширини; $b, в$ – елементи схилу змінної ширини

Такий підхід особливо ефективний, якщо поділ схилу здійснюється за GRID-моделлю, що допускає диференційоване обчислення змиву ґрунту. Для цього використовують рівняння:

$$w_i = \frac{F_i \cdot W_i - F_{i-1} \cdot W_{i-1}}{F_i - F_{i-1}} = \frac{F_i \cdot W_i - F_{i-1} \cdot W_{i-1}}{f_i} \quad (4.3)$$

де W і w позначають змив ґрунту в т/га/рік з $W_n = Z w_j$; W_i – величини, що обчислюються, використовуючи модель (4.3), починаючи з елемента 1 і розширюючи донизу частковий водозбір ($W_0 = 0, W_1 = w_1, F_0 = 0, F_1 = f_1$).

Відповідне програмне забезпечення (ПЗ) розробили за нашою участю

доц. Волошин В.У. та доц. Король П.П. Розробка такого ПЗ передбачалась програмою науково-дослідної держбюджетної теми з реєстраційним номером 0111 U 002146 (науковий керівник – проф. Мельник В.М.).

Отримання цифрової моделі здійснюється за допомогою оцифрування топокарт відповідного масштабу. Результатами є масив значень:

$$\begin{array}{cccccc} Z_1, & X_{11}Y_{11}, & X_{12}Y_{12}, & \dots, & X_{1n}Y_{1n}; \\ Z_2 & X_{11}Y_{11} & X_{22}Y_{22} & \dots, & X_{2n}Y_{2n}; \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots, & \dots; \\ Z_m & X_{m1}Y_{m1} & X_{m2}Y_{m2} & \dots, & X_{mn}Y_{mn}, \end{array} \quad (4.4)$$

де Z_1, Z_2, \dots, Z_m – позначки горизонталей, X_{mn}, Y_{mn} – координати точок горизонталей.

Нехай на основі числового масиву (формула 4.4) отримана Grid-модель рельєфу, а структурна лінія проводиться з початкової точки A_{i_0, j_0} (рис.4.3.).

$$\begin{array}{ccc} -135^\circ & -90^\circ & -45^\circ \\ A_{i_0-1, j_0-1} & A_{i_0, j_0-1} & A_{i_0+1, j_0-1} \\ 90^\circ & & 0^\circ \\ A_{i_0-1, j_0} & A_{i_0, j_0} & A_{i_0+1, j_0} \\ 135^\circ & 90^\circ & 45^\circ \\ A_{i_0-1, j_0+1} & A_{i_0, j_0+1} & A_{i_0+1, j_0+1} \end{array}$$

Рис. 4.3. Елементарна частина схилу у вигляді сітки з 9-ти комірок.

Автоматизація проведення структурних ліній наступна. З початкової точки будуються два напрямки ліній: висхідна і нисхідна. Зрозуміло, що висхідна лінія піде в напрямку максимуму вектора-градієнта (вододіл), а нисхідна – мінімуму (тальвег). Відомо [36], що вектор-градієнт можна записати у вигляді:

$$\alpha = \frac{\partial A}{\partial x}; \alpha = \frac{\partial A}{\partial y}, \quad (4.5)$$

де A – азимут, x, y – сила вектора-градієнта. В нашому випадку ЦМР представляє собою набір дискретних точок, тому вектор-градієнт можна записати як:

$$\alpha = \frac{A_{i_0+1, j_0} - A_{i_0-1, j_0}}{2}; \alpha = \frac{A_{i_0, j_0+1} - A_{i_0, j_0-1}}{2} \quad (4.6)$$

Оскільки в алгоритмі перехід до сусідньої точки здійснюється за напрямом вектора-градієнта, то знаменником можна нехтувати і (4.6) можна записати у вигляді:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{A_{i_0, j_0+1} - A_{i_0, j_0-1}}{A_{i_0+1, j_0} - A_{i_0-1, j_0}} \quad \text{або} \quad \alpha = \operatorname{arctg} \frac{A_{i_0, j_0+1} - A_{i_0, j_0-1}}{A_{i_0+1, j_0} - A_{i_0-1, j_0}} \quad (4.7)$$

Як відомо, функція arctg змінюється в інтервалі від -90° до 90° . Таким чином, для того, щоб визначити кут в повному діапазоні, потрібно додатково розглянути знак різниці $A_{i_0+1, j_0} - A_{i_0-1, j_0}$ – тобто якщо вона негативна, то до кута розрахованого з виразу (4.7), додається 180° і в кінцевому вигляді вираз для визначення кута вектора-градієнта по дискретній цифровій моделі можна записати так:

$$C = \operatorname{SIGN}(A_{i_0+1, j_0} - A_{i_0-1, j_0}) \operatorname{ARCTG} \frac{A_{i_0, j_0+1} - A_{i_0, j_0-1}}{A_{i_0+1, j_0} - A_{i_0-1, j_0}} \quad (4.8)$$

Виконання переходу по напрямку, який виходить з восьми сусідніх точок здійснюється у випадку щонайближчому до напрямку вектора-градієнта (рис.4.3.). Оскільки усі сусідні точки розташовані по відношенню до початкової з кроком 45° , то для вибору наступної точки необхідно розбити навколишній простір навколо вихідної точки на вісім секторів по 45° , що мають сусідню точку в центрі кожного сектора. Таким чином, межі між секторами пройдуть під кутами: 22.5° , 67.5° для висхідної лінії і -22.5° , -67.5° – для низхідної. Результатом пошуку кінцевої точки є та, в сектор якої вказує вектор-градієнт. Так, наприклад, якщо $22.5^\circ < \alpha < 67.5^\circ$, то перехід здійснюється до точки A_{i_0, j_0+1} або, якщо $-67.5^\circ > \alpha > -112.5^\circ$, то до точки A_{i_0, j_0-1} . Так здійснюється побудова лінії від точки до сусідньої точки в кожному наступному випадку.

Припинення роботи алгоритму відбувається у таких випадках: 1) з'єднання з вже побудованою лінією та 2) вихід лінії на плоску ділянку або на екстремум. Під екстремумами розуміємо максимальне чи мінімальне значення в напрямку лінії (в географічному змісті під точками екстремумів розуміють, наприклад, максимальну позначку вододільної поверхні чи

мінімальну позначку ділянки). За визначеними по цифровій моделі рельєфу вододілами і тальвегами можна здійснити візуальну оцінку та відзначити їх виразність.

Запропонований підхід був реалізований при картографічному дослідженні території дослідної ділянки на регіональному рівні досліджень.

4.1.1. Системний аналіз досліджуваного рельєфу комплексного регіонального геостаціонару за допомогою програмних пакетів ГІС

Для реалізації завдання аналізу рельєфу комплексного регіонального геостаціонару (КРГ) необхідно використовувати сучасні методи та засоби досліджень. В допомогу цьому стає програмне забезпечення ГІС. Важливою перевагою використання геоінформаційних систем є можливість аналізу рельєфу як тривимірного об'єкту, оскільки просторове положення точок місцевості описується не лише плановими координатами (x, y) , а й висотними відмітками (z) . Створені цифрові моделі рельєфу (ЦМР) та їх точність оцінюються за характеристиками розбіжностей між модельними та реальними значеннями висоти точок, що базується на використанні чотирьох основних чинників: метод інтерпретації вихідної інформації, об'єм та розміщення даних про вихідні точки, а також спосіб математичного моделювання. Для досліджень рельєфу комплексного регіонального геостаціонару використано сучасні програмні продукти Surfer та геоінформаційну систему ArcGIS, які містять в собі більшість математичних функцій для апроксимації рельєфу та здійснюють процедуру автоматизованої побудови ЦМР.

Одним із оптимальних методів апроксимації рельєфу на нерегулярних множинах висотних відміток є триангуляційна модель (TIN-модель). Проте точніше виконання створення ЦМР на регулярних сітках є GRID-модель [146]. Переваги триангуляційної моделі полягають у побудові поверхні рельєфу у вигляді елементарних трикутників різної форми та величини, які використовують результати всіх точок геодезичних вимірювань, враховуючи при цьому структуру рельєфу. Проте для здійснення поглибленого аналізу

рельєфу (морфометричних характеристик) необхідно використовувати GRID-модель (растрову модель), яка представляє собою систему висотних відміток у кожному вузлі квадратної або сфероїдичної регулярної сітки тощо.

Найбільшою популярністю внаслідок своєї максимальної схожості (точності) апроксимованого та реального рельєфу виділяють метод Крайгінга [114; 146]. Для дослідження чинника рельєфу виконано побудову регулярної цифрової моделі рельєфу з інтервалом 1 м між горизонталями. Вихідними даними слугували файли про характерні точки рельєфу, які отримані шляхом оцифрування планшетів топознімання масштабу 1:2000. Загальна кількість використаних при моделюванні точок рельєфу становить 28249. Тривимірну реконструкцію досліджуваної ділянки регіонального геостаціонару подано на рис. 4.5.

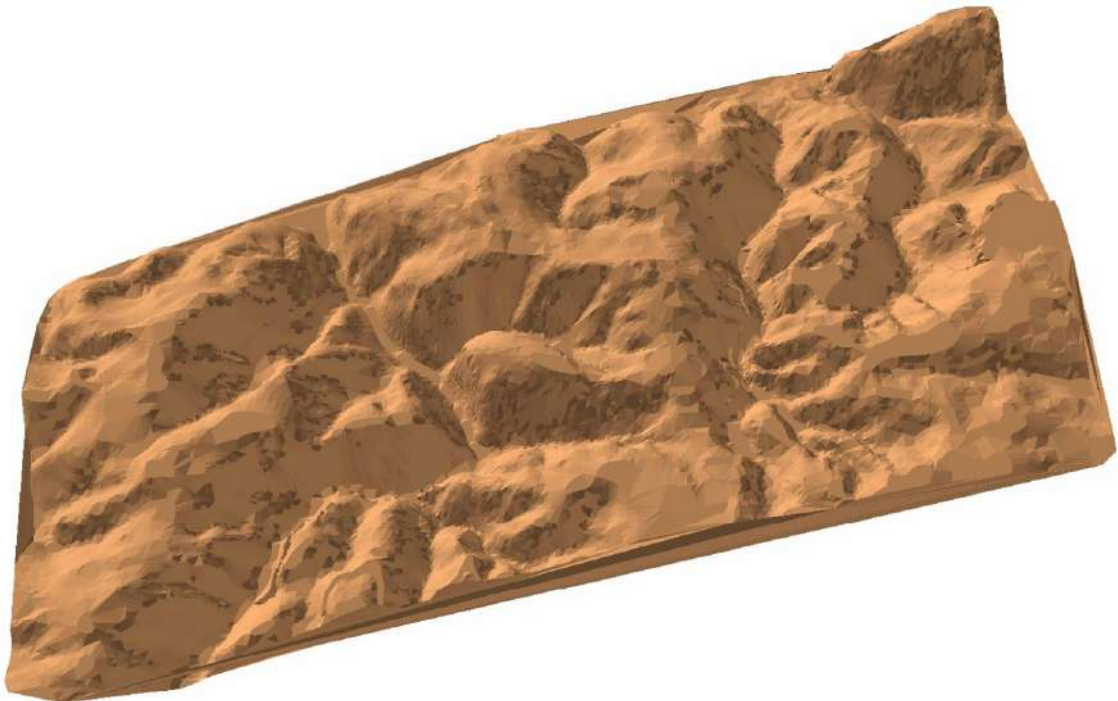


Рис. 4.5. Тривимірна реконструкція досліджуваної ділянки комплексного регіонального геостаціонару

Дана цифрова модель рельєфу використовувалась з метою аналізу чинника рельєфу досліджуваної території (експозиція, крутизна, напрями стоку дощових потоків, водозбірні площі). В результаті практичного вивчення ЦМР

отримано ряд тематичних карт геостационару – гіпсометричну карту, векторну карту ліній стоку, карти загальної крутизни та експозиції схилів.

На основі регулярної ЦМР побудовано загальну гіпсометричну карту геостационару, представлену на рис. 4.6. На рис. К.1 в [додатку К](#) подано векторну карту ліній стоку комплексного регіонального геостационару.

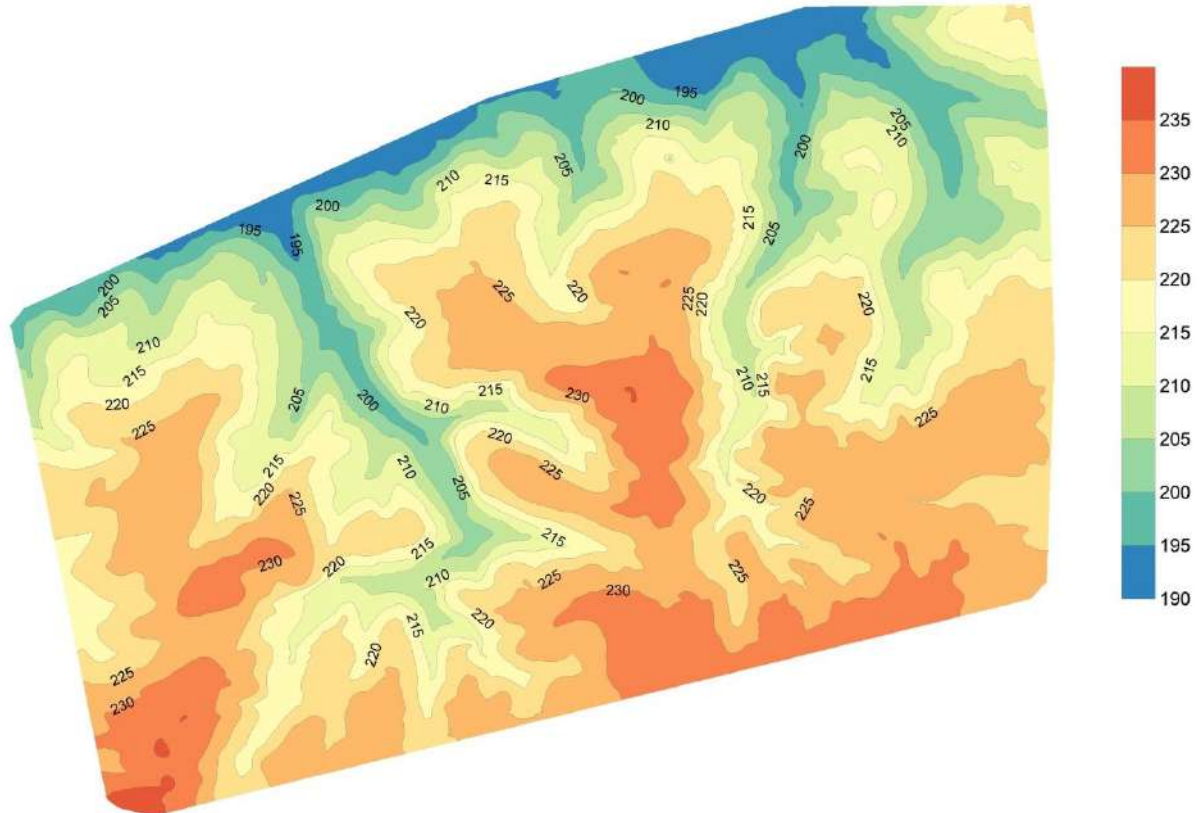


Рис. 4.6. Гіпсометрична картосхема території комплексного регіонального геостационару

Іншим важливим напрямком застосування ЦМР є аналіз та одержання похідних морфометричних і структурних характеристик рельєфу. На основі ЦМР проводяться розрахунки крутизни, експозиції та форми схилів. На рисунку 3.2-3.3 ([додаток К](#)) подано карти загальної крутизни та експозиції схилів типової ділянки, які розраховані автоматично у програмному продукті Surfer 7.

Створення цифрової моделі рельєфу передбачає як виділення та аналіз структурних ліній, так і перехід структурно-цифрових представлень рельєфу. Виділення мережі орографічних ліній дає змогу здійснювати автоматичну

побудову експозиції водозбірних басейнів як похідних одиниць тематичного картографування ([додаток К](#), рис. 3.4).

Така широка інтерпретація поверхні рельєфу регіонального геостаціонару дозволяє здійснювати попередній аналіз, картографічне моделювання та прогностні варіанти динаміки площинної ерозії ґрунтів за чинниками ерозії (розділ 3).

4.1.2. Застосування методу карт пластики рельєфу для виділення ерозійно-небезпечних частин дослідної ділянки

Метод відображення пластики рельєфу або морфоізограф виник в першій половині ХХ століття в дослідженнях геоморфологічної будови та аналізу каркасних форм розвитку гір [147]. Головною ідеєю даного підходу є сполучення точок перегину горизонталей (точки нульової, від'ємної та додатньої кривин), що є нічим іншим як межею опуклих і увігнутих форм рельєфу. Проведення морфоізограф дає змогу відокремити різні форми рельєфу, що у свою чергу дозволяє виділяти водозбірні басейни, лінії тальвегів і вододілів. Результатом даної роботи є побудована на основі морфоізограф карт пластики з базовими контурами, що може бути використана як основа при проведенні польових досліджень водної ерозії, а також як система додаткового аналізу ерозійного потенціалу рельєфу.

Звідси випливає, що метод пластики – це картометричний метод дослідження поверхні Землі, відображеної горизонталями, який дає змогу аналізу каркасних форм його розвитку. Зважаючи на те, що розвиток рельєфу безпосередньо пов'язаний з геоморфологічними характеристиками досліджуваної території, можна стверджувати, що метод пластики – фундаментальна складова комплексної оцінки території, в тому числі, процесів змиву.

Математично морфоізографа визначаються другими похідними та є такою ж фундаментальною абстрактною топографічною лінією як і горизонталь. Морфоізографи бувають трьох категорій: додатні (з'єднують точки, в яких друга похідна додатна – лінії вододілів), від'ємні (з'єднують точки, в яких друга

похідна від'ємна – лінії тальвегів) та нульові (з'єднують точки, в яких друга похідна дорівнює нулю – точки перегину горизонталей, кривина в яких дорівнює нулю). В нашому випадку доцільно використовувати саме останню категорію морфоізограф.

Відповідно відношення між кривиною ізогіпс на карті та нормальною кривиною поверхні визначається за теоремою Мен'є [148]:

$$\frac{1}{\rho} \cos \theta = \frac{1}{R}, \quad (4.9)$$

де θ – кут між горизонтальною площиною та площиною нормального перерізу, яка має спільну дотичну з ізогіпсами.

Кривина кривої, визначеної в системі прямокутних декартових координат, обчислюється за формулою:

$$\frac{1}{\rho} = \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) / \left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 \right]^{3/2}, \quad (4.10)$$

де $\frac{1}{\rho}$ – похідна радіус-вектора горизонталі за довжиною дуги горизонталі, що дає змогу провести множину морфоізограф різних рівнів.

З ерозієзнавчої точки зору морфоізографна лінія є межею між опуклими та увігнутими елементами рельєфу, розділяючи їх геопотенціал на дві частини: конвергентну і дивергентну [149]. Вид поверхні створює характер потоку: опуклі форми рельєфу вказують на дивергентний потік (розсіювання енергії і матеріалу в навколишній простір), а увігнуті на конвергентний потік (акумуляція матеріалу та енергії в навколишньому просторі). Як результат відбувається розмежування характеру потоків, що обумовлює накопичення або змив матеріалу. Це відіграє важливу роль у формуванні динамічно активних природних середовищ, наприклад, ґрунтів.

При змивних процесах швидкість потоку води залежить від величини крутизни схилу. Зменшення крутизни схилу, відповідно зменшує сумарну кінетичну енергію, внаслідок чого відбувається сповільнення потоку, та зменшення амплітуди процесу змиву.

Відомо [57], що основою для розвитку елементів водної ерозії є баланс поверхневих і підземних вод, що формують стік з цієї території. Застосування протиерозійних заходів призводить до змін у такому балансі. Відповідно в основу розвитку динаміки рельєфу покладено гідрогеологічні особливості будови території, які формують його топографічну стійкість. Під топографічною стійкістю розуміють швидкість зміни рельєфу за одиницю часу. Для оцінки топографічної стійкості використовують формулу:

$$R = \frac{\sum m_1 - \sum m_i}{P}, \quad (4.11)$$

де m_1, m_i – сумарна довжина морфоізограф на початковий і даний момент часу (м); P – площа території (м^2).

Загальна тенденція до зниження або підвищення території визначається за формулою (4.12):

$$T = P_{\max} / P_{\min} \quad (4.12)$$

де P_{\max}, P_{\min} – площі додатної та від'ємної поверхонь, які відсікаються морфоізографами.

Представлені параметри визначення положення морфоізограф в плані є апріорним параметром динаміки розвитку рельєфу, поєднуючи в собі не лише особливості зовнішньої поверхні та палеорельєфу, а й визначаючи енергетичний баланс водного режиму території, що має важливе значення для аналізу ерозійного потенціалу рельєфу.

Практична апробація методу пластики рельєфу відбувається у три етапи: підготовчий, основний та підсумковий. На першому етапі необхідно здійснити опрацювання та аналіз інформації про об'єкт: використовуючи дані топографо-геодезичного знімання, ґрунтових обстежень, інженерно-гідрогеологічних вишукувань з метою побудови відповідних цифрових карт: агровиробничих груп ґрунтів, карт залягань підземних вод та геологічної будови відповідно. Другий етап передбачає безпосередньо створення на основі ЦМР карт водозбірних басейнів, елементарних схилів карт пластики рельєфу досліджуваної території. Для розуміння карт пластики на третьому етапі необхідно виконати аналіз

створеного картографічного матеріалу з порівнянням розповсюдження ґрунтових ареалів та ерозійного потенціалу рельєфу.

Відповідно нами було використано матеріали топографо-геодезичного знімання (планшети топографічних планів масштабу 1:2000), ґрунтових обстежень території комплексного регіонального геостаціонару та інженерно-гідрогеологічних вишукувань.

Виконання побудови морфоізографів на території КРГ Заборольської сільської ради Луцького району Волинської області здійснювалось за допомогою вбудованого у програмний продукт Surfer модуля моделювання поверхонь Terrain Modeling. Верифікацію отриманих моделей проведено графічним способом.

Відповідно визначення особливо ерозійно-небезпечних територій виконували за методикою оверлею карт лінійної пластики рельєфу в двох головних ортогональних напрямках (рис. 4.7, 4.8). Виконуючи суміщення карт лінійної пластики рельєфу, отримуємо (рис. 4.9) відповідну інтерпретацію зон підвищеної ерозійної активності, викликані чинником рельєфу (позначено синім кольором). Результатом досліджень є створена карта пластики рельєфу регіонального геостаціонару⁵ (рис. 4.10).

Побудовані карти пластики рельєфу ілюструють загальну тенденцію розподілу потенційно ерозійно-небезпечних земель, а саме, від'ємні ареали обмежені нульовою морфоізографією (на рисунку позначені помаранчевим кольором). Експериментально-теоретичні дослідження показали, що морфоізографи – сукупність особливих точок рельєфу, які характеризують досліджувану поверхню як межу двох стабільних в геологічному відношенні середовищ, а їх планове розташування зумовлене розміщенням четвертинних відкладів. Відповідно морфоізографію також може розглядатися як динамічна межа, положення якої визначає зміни елементів рельєфу протягом досліджуваного періоду та визначає контури з підвищеною нестійкістю – потенційно небезпечні зони (наприклад, ерозійно-небезпечні ділянки).

⁵ В основній частині дисертації представлено фрагмент досліджуваної ділянки як тестового. Основні картографічні матеріали розміщені в [додатку М](#), рисунки М.1, М.2, М.3, М.4 та М.5 відповідно.

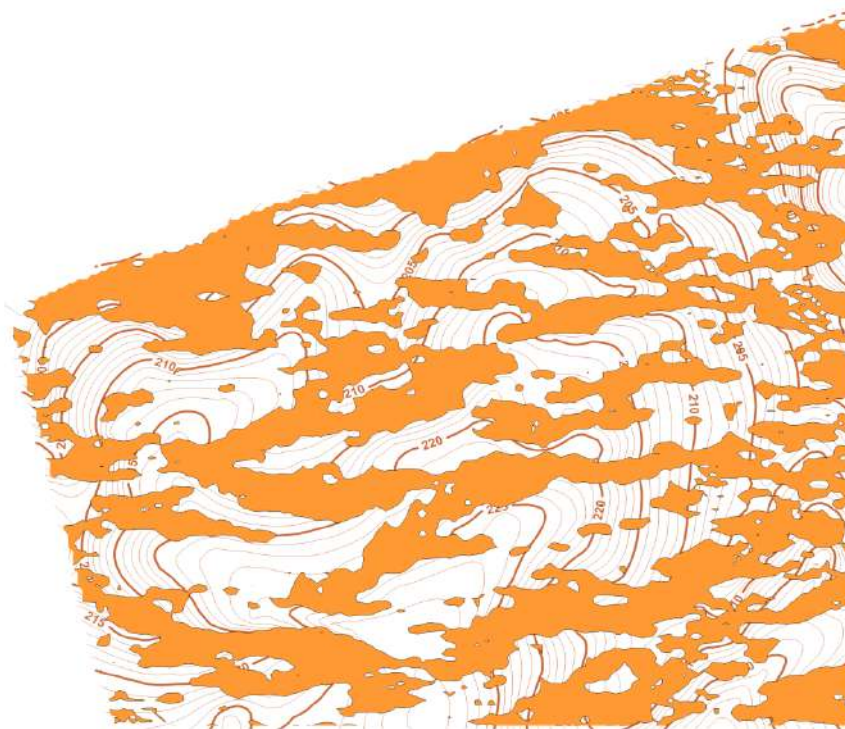


Рис.4.7. Картосхема лінійної пластики рельєфу типової ділянки комплексного регіонального геостаціонару (вертикальний профіль)

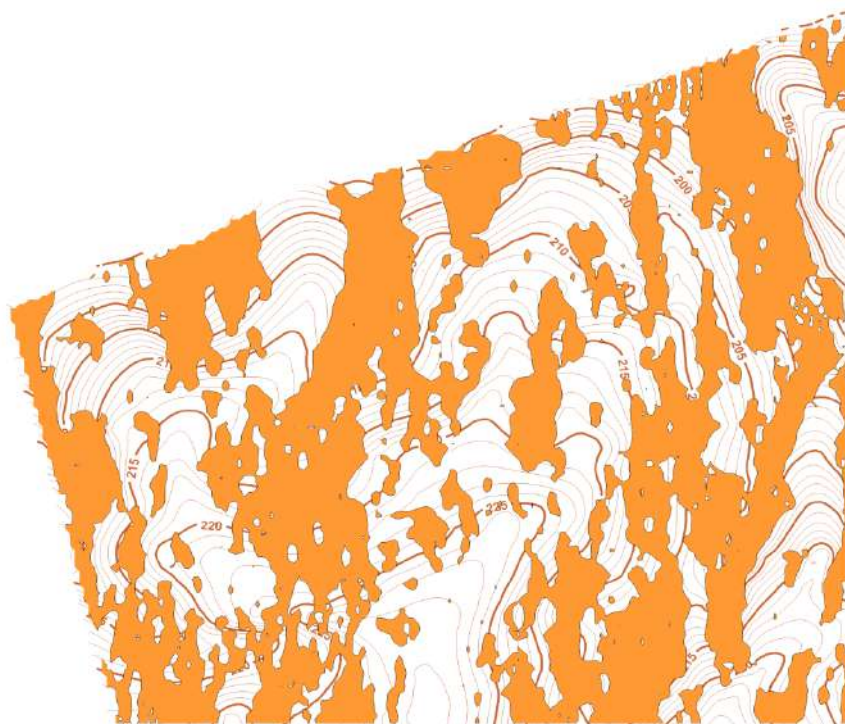


Рис. 4.8. Картосхема лінійної пластики рельєфу типової ділянки комплексного регіонального геостаціонару (горизонтальний профіль)

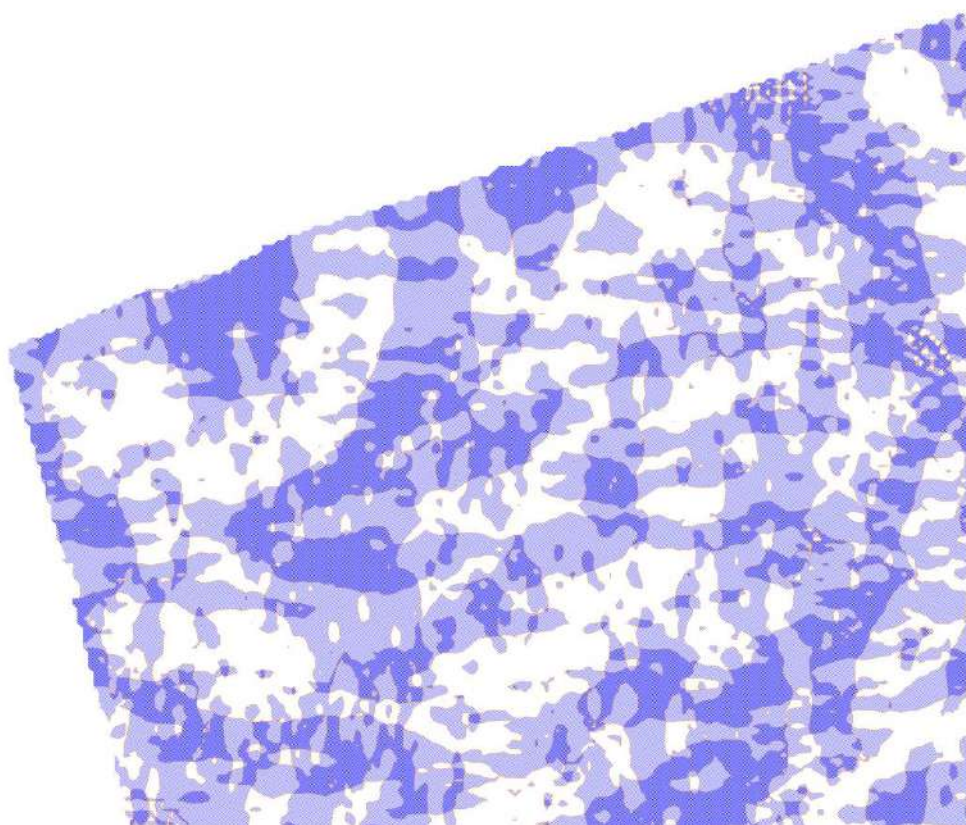


Рис.4.9. Оверлей карт лінійної пластики рельєфу типової ділянки комплексного регіонального геостаціонару

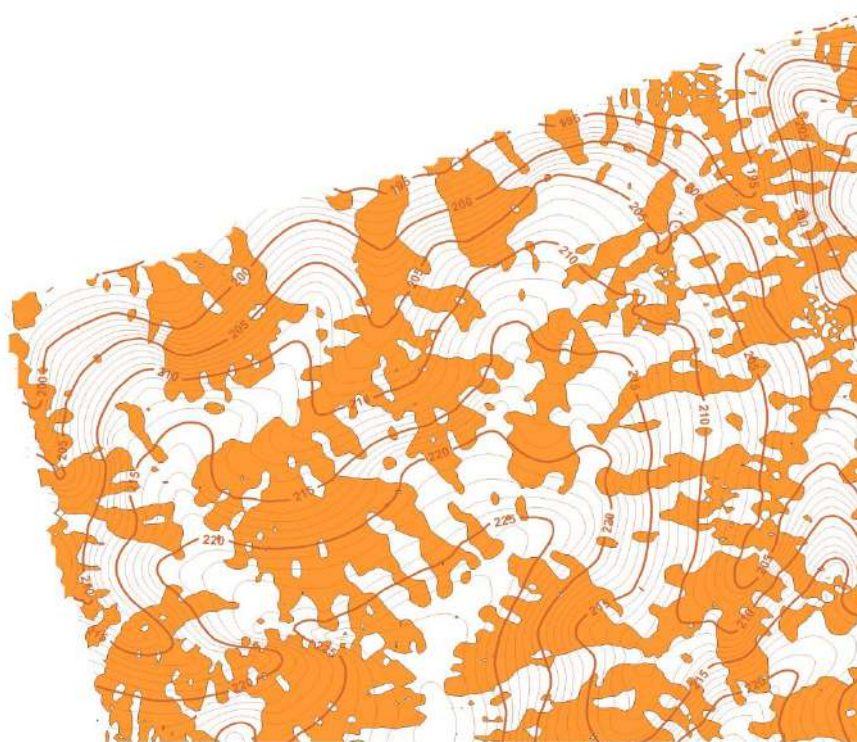


Рис. 4.10. Картосхема пластики рельєфу типової ділянки комплексного регіонального геостаціонару

Експериментальні дослідження показують наступне: ареали поширення різних форм рельєфу, обмежені морфоізографами, корелюють із зонами поширення певних ґрунтових типів (рис. 4.11); ці ж ареали збігаються з зонами поширення ярково-балкових систем (ця характеристика підтверджує доцільність і необхідність використання морфоізограф як основного індикатора локалізації палеорельєфу при проведенні досліджень площинного змиву ґрунтів.

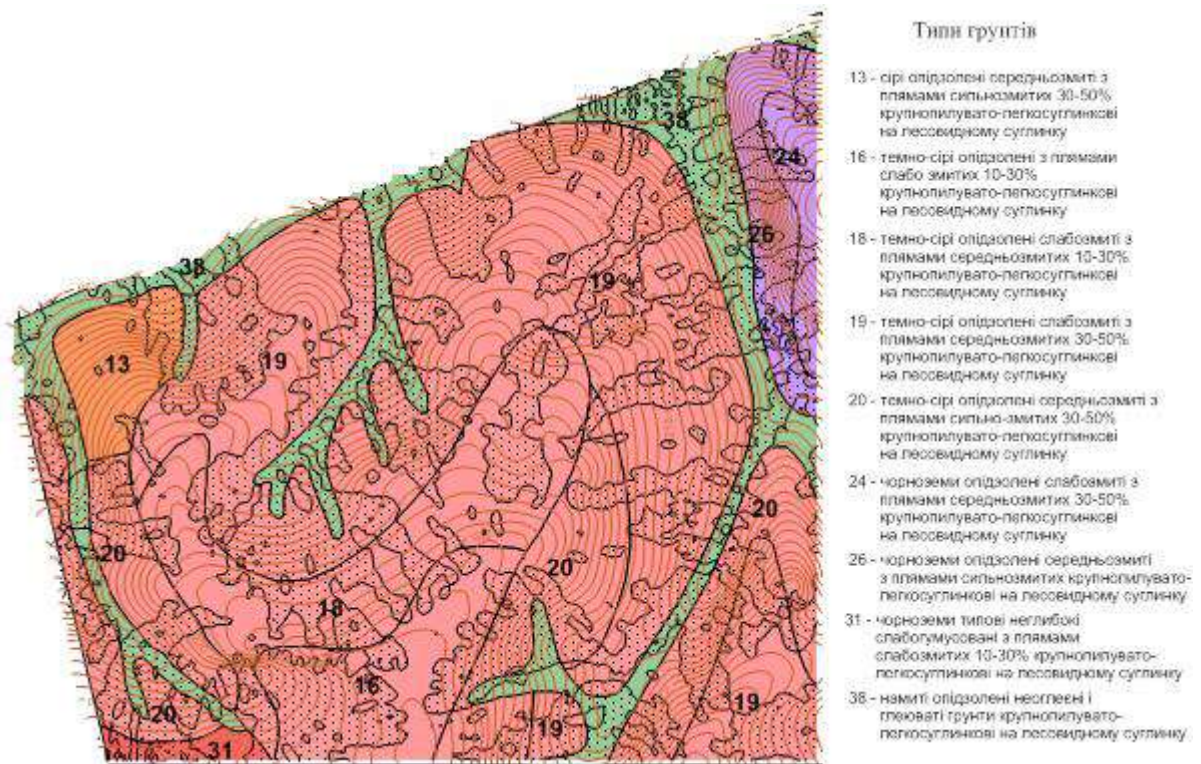


Рис. 4.11. Оверлей ґрунтової карти і карти пластики рельєфу типової ділянки комплексного регіонального геостаціонару

Як видно з представленого картографічного матеріалу, морфоізографна лінія є ефективним індикатором негативних змін хімічного, біологічного, механічного складу ґрунтів, динаміки ерозійних процесів та водночас забезпечує виявлення та попередження таких змін на ранніх стадіях їх розвитку. Відповідно положення морфоізограф та їх динаміка, з однієї сторони, є просторовими характеристиками поверхні досліджуваного рельєфу, зумовлені специфічними геоморфологічними складовими території, а з іншої, – вказують на можливе поширення явищ, які безпосередньо в якісному або кількісному плані пов'язані з формуванням даної поверхні.

4.1.3. Математико-морфологічний підхід при дослідженні ерозійних процесів.

В сучасному ерозієзнавстві значна увага приділяється використанню космо-, аерофотозйомки для дослідження інтенсивності змиву на основі аналізу різночасових спектрзональних або панхроматичних знімків [104; 150; 151]. Результатом опрацювання знімків є синтезоване зображення, що демонструє зміни, які відбулись в агроландшафті під впливом антропогенної і природної складової деградації [104; 152]. Про те не менш цікавим є використання бінарних зображень [153] для аналізу динаміки ерозійних процесів.

Математичним апаратом в таких дослідженнях є морфологічний аналіз зображень, який базується на цифрових алгоритмах обробки [70; 154; 155; 156].

Методика обробки цифрових зображень із застосуванням математичної морфології була запропонована в роботах [157; 158]. Вона базується на застосуванні нелінійних операторів, які математично описуються теоретико-множинним формалізмом. Математична інтерпретація подана такого підходу детально викладена в праці [159].

Про те важливим моментом дослідження є отримання максимально достовірних результатів. Для реалізації поставленої мети необхідно опрацювати вихідне зображення, яке має чіткі контури досліджуваних об'єктів – бінарне зображення. Запропонований „сюжет” пропонується реалізувати шляхом опрацювання матеріалів аерофотозйомки в такій послідовності: бінаризація, сегментація та морфолого-планіметричні визначення. Розглянемо детально їх зміст.

Бінаризація зображень. Для отримання параметрів ерозійних „плям” за їх аерознімками потрібно здійснювати процес бінаризації. Такий процес є найбільш вживаним у цифровій фотограмметрії [110] та в процесі аналізу зображень різного призначення [160; 161; 162; 163].

Математична бінаризація здійснюється за відомою методикою Соколова В.М. [164]: числу 1 відповідає піксель, що належить досліджуваній

області (пляма), а числу 0 – піксель, що не належить „плямі”. Такий алгоритм частково реалізований в програмному продукті „Stiman” та вимагав виконання оцінки точності.

Наступний етап опрацювання бінарного зображення полягає у процесі виділення суміжних границь та ділянок шляхом сегментації методом Лапласа.

Сегментація зображень. Сьогодні відомо про значну кількість методів сегментації цифрових зображень [164; 165; 166; 167]. Пропонується здійснювати сегментацію згідно теорії графів [115]. Алгоритм наступний. Припустимо, що оцінюються дві різної контрастності області A і B . Для встановлення границь їх поділу оцінюються знаки другої похідної перепаду контрастності. Нехай області A відповідає одна вершина графа C_A . У випадку коли області A і B мають спільну границю, то відповідні вершини C_A і C_B з'єднані єдиним ребром. Спрямування ребер здійснюється за схемою, коли для областей A і B друга похідна за напрямом, перпендикулярна до їх спільної границі і спрямована з A до B та змінює знак з негативного на позитивний, то ребро спрямоване з вершини графа C_A у вершину C_B і навпаки. Приклад такої сегментації проілюстровано на рис. 4.12.

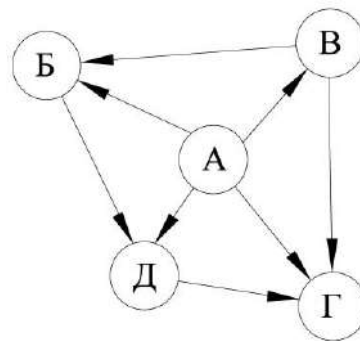


Рис. 4.12. Графічне представлення алгоритму сегментації

Вибір оптимального порогу дискримінації. Відомо про значну кількість порогових визначень глобального та локального характеру. (р-клітинковий метод, метод мод, метод градієнтної релаксації, методи Осту, Капура, Саху, Вонга, Чоу, Канеко, Фернандо, Монро тощо). Всі ці методи показують інваріантність процесу порогової дискримінації. Простим в реалізації та не

менш ефективним за результатом є метод вибору критерія порогового поділу (T). Його визначають за наступною формулою [168]:

$$T = (f_{\min}^0 + f_{\max}^1) / 2 \quad (4.13)$$

де 0 – об’єкт, 1 – фон.

Такий підхід можна використовувати для кінцевого поділу окремих ділянок зображення, і за необхідності, для перетворення зображення в бінарний вигляд.

Математико-морфологічні визначення планіметричних характеристик. Після завершення сегментації областей проводять морфолого-планіметричні визначення на досліджуваному зображенні [157; 169] з використанням піксельних масок розміром 2×2 .

За цим алгоритмом можна обчислити статистичні розподіли ерозійних „плям” за площею, периметром та фактором форми тощо. Приклади універсальності запропонованого методу, а також відповідні обчислення приведені нами в роботі [117] при опрацюванні РЕМ-знімків поверхні зразків ґрунту.

Точність математико-морфологічних планіметричних визначень залежить від кількості ліній розкладання, а також від орієнтації досліджуваних ділянок щодо ліній растрової розгортки. Для оцінки точності можна використати відому з теорії геометричної ймовірності задачу покриття плоских ґраток [169].

Нехай лінії растрової сітки паралельні деякій осі x . Виконаємо розділення досліджуваного контура Z зображення відносно осі y на однакові смужки шириною l . Виразивши число смужок n на підставі задачі Бюффона через периметр контуру $p = \pi l$, отримаємо:

$$\sigma_z^2 = \frac{b^2 l p}{6\pi} \quad (4.14)$$

Тоді апріорна точність визначення площі складного контуру наступна: при кількості ліній растра (N) – 128, густина растра (b) становить 0,783; при (N) – 256, (b) – 0,387, при (N) – 512, (b) – 0,198.

Результати. В якості тестового зразка було досліджено бінарне зображення (рис.4.13, а). Це, насамперед, було зумовлено тим, що для характеристики такого зображення необхідно проаналізувати тільки дві області кольорів, які чітко відрізняються.

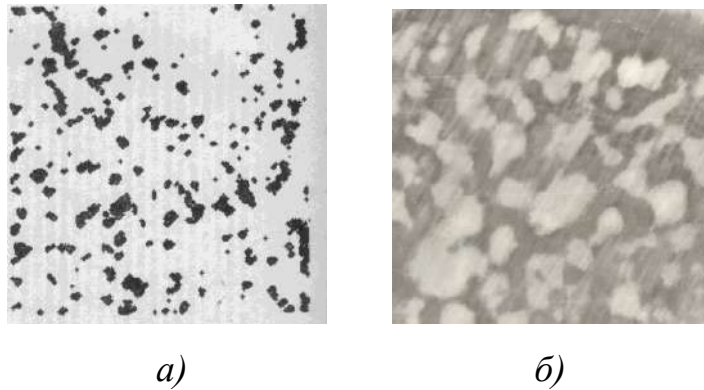


Рис.4.13. Частина сканованого дослідного матеріалу:

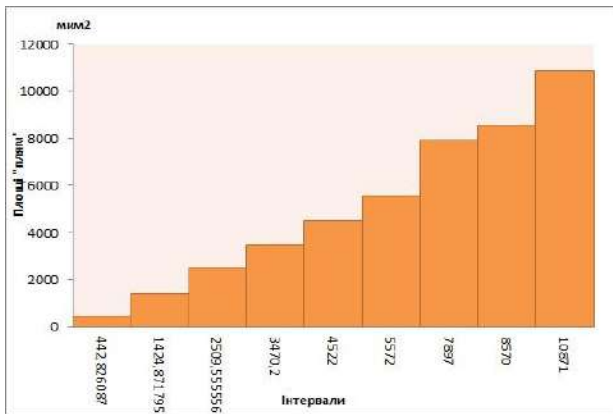
а – тестовий зразок, б – фрагмент ділянки аерофотознімка

Сканування аерофотознімка було здійснено на фотограмметричному сканері “Дельта-2” з роздільною здатністю 1200 dpi при 256 рівнях сірого тону⁶. Вибір порогу граничної дискримінації бінарного зображення від якого фактично залежить достовірність отриманих даних здійснювався за запропонованим критерієм порогового поділу T (5). Даний пороговий метод дозволив встановити оптимальний рівень сірого (в нашому випадку 85), після чого зображення перевелось в бінарну форму.

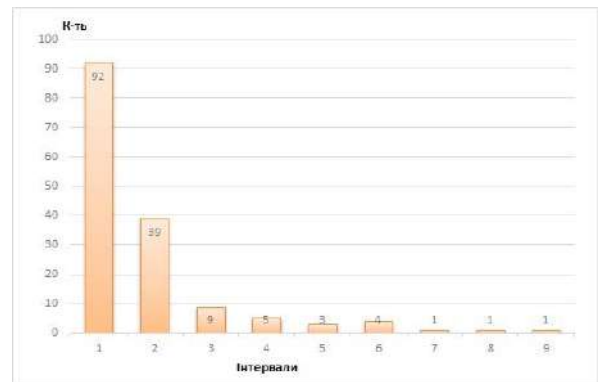
Відповідно здійснено опрацювання даного матеріалу двома способами за допомогою інструментального способу (ПП „Surfer 7”) та запропонованого автоматичного способу визначення характеристик об’єктів на зображенні в програмі „Stiman”. Алгоритм роботи детально поданий в статті [159].

⁶ Параметри аерофотознімання не брались до уваги, зважаючи на мету дослідження, яка полягала у принциповій можливості використання методики оперативного дослідження сільськогосподарських земель за бінарними зображеннями.

На рисунку 4.13,б показаний фрагмент аерофотознімка ділянки поля, що піддалась дії водної ерозії на території Вільхівської сільської ради Горохівського району Волинської області. Використавши запропоновану методику, здійснено аналіз відповідного зображення, результатом яких стала побудова ряду гістограм (рис. 4.14,а,б; рис. 4.15,а,б; рис. 4.16а,б), що характеризують морфологію досліджуваних об’єктів (площа, периметр, фактор форми „плям”).

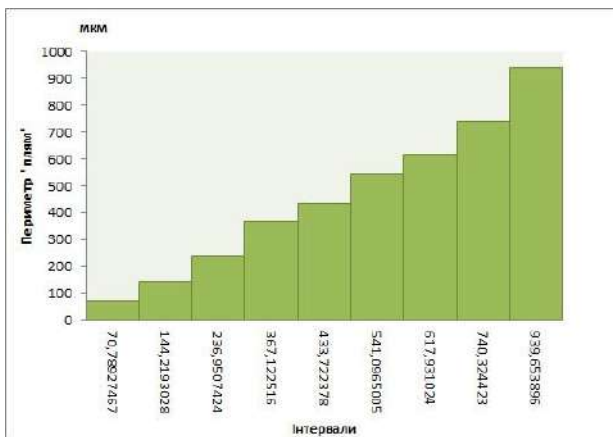


а)

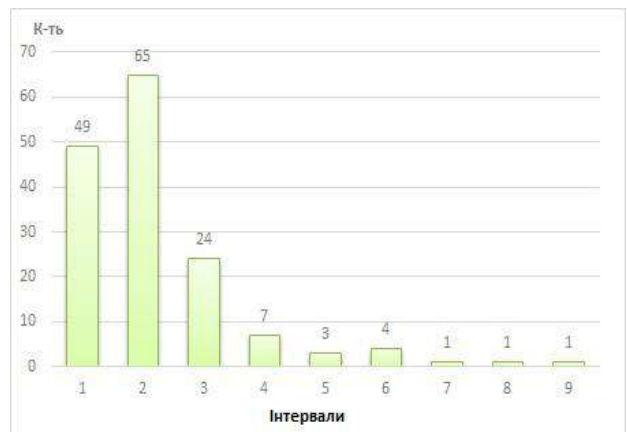


б)

Рис.4.14. Гістограма розподілу площ (а) та їх кількісна характеристика

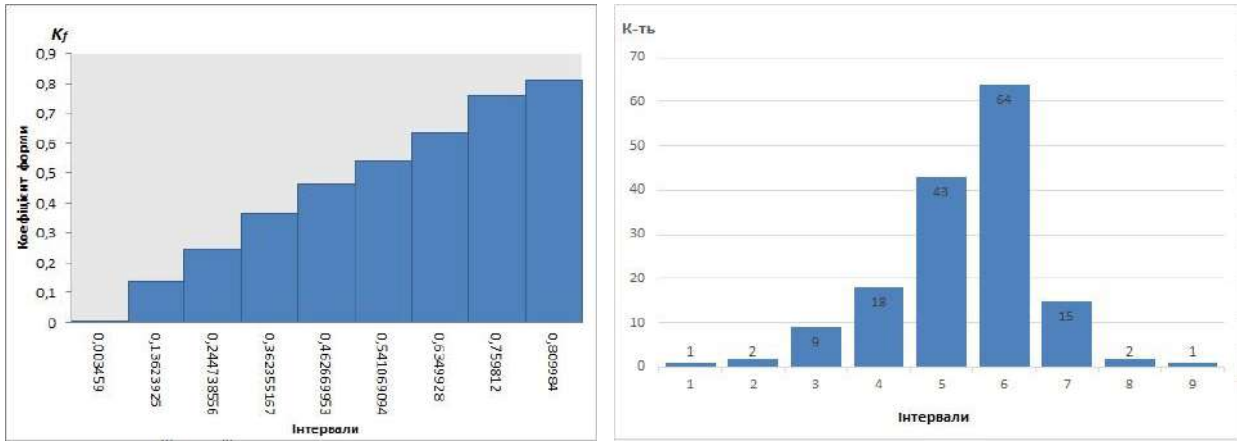


а)



б)

Рис.4.15. Гістограма розподілу за периметром (а) та його кількісна характеристика (б)



а)

б)

Рис.4.16. Гістограма розподілу за фактором форми (а) та їх кількісна характеристика (б)

Здійснивши автоматичний піксельний підрахунок площі нами було виявлено, що 38,7% аерофотозображення – це територія, що піддалась впливу водної ерозії. Частина аерознімка, що охоплює дану територію становить площу 2,4520 га, з яких: 0,9489 га – землі котрі мають різну ступінь еродованості (слабку – 0,3013 га, середню – 0,1246 га, сильну – 0,5230 га). Використовуючи архівні дані спостережень за змивом, які були проведені на організованих стаціонарах в межах Горохівського району Поліською філією Інституту ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського підтверджено, що більша частина даної території піддається негативному впливу ерозійних процесів, зокрема, водної ерозії. А виконані нами польові дослідження площинного змиву ґрунту [19] формують достатньо повну картину про геометричні зміни досліджуваної поверхні. В нашому випадку об'єми змитого ґрунту при циклічних спостереженнях становили 11,2 т/га/рік (Мельник В.М., Мендель В.П., 2012) та 12,3 т/га/рік (Поліська філія Інституту ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського) відповідно.

Такий підхід дозволяє визначати не тільки сільськогосподарські території котрі піддаються водній чи вітровій ерозії, але при використанні циклічних дистанційних спостережень простежити динаміку змін, що значно спрощує пошук ділянок найбільш підданих деградаційним процесам. Це у свою чергу

дозволяє локалізувати найпроблемніші місця та скоординувати подальші детальні дослідження.

Відповідно встановлено, що спосіб визначення основних характеристик площинних об'єктів ерозійно-небезпечних територій (площ, периметрів та форм) за допомогою сучасного програмного забезпечення є більш дієвим і не менш ефективнішим ніж класичні підходи.

4.2. Регіональні дослідження ерозії земель півдня Волині

Просторово-часовий аналіз будь-якого процесу передбачає ряд необхідних положень:

- 1) встановлення причинно-наслідкових зв'язків між компонентами системи, що вивчаються;
- 2) одночасне вивчення як сукупності, так і кожного чинника досліджуваного середовища;
- 3) можливість варіативності змін з подальшим прогнозуванням для створення необхідних захисних заходів;
- 4) вдосконалення засобів відображення досліджуваних об'єктів, явищ і процесів.

Спрощення просторово-часового аналізу відбувається за умови стабільності одної і більше досліджуваних змінних. В такому випадку аналіз інших змінних системи відбувається на рівномірно розподіленій основі. Прикладом такої системи є дослідження впливу чинників водної ерозії ґрунтів (інтенсивність та кількість опадів, агрофон, тип обробітку) на певній території з фіксованими значеннями чинників рельєфу та ґрунту (гранулометричний та хімічний склад). При цьому здійснюється моделювання вихідного картографічного зображення у трансформоване зображення. Такий принцип створення картографічних матеріалів є нічим іншим як геоінформаційним тематичним картографуванням (ГТК), що значно спрощує створення модельних варіантів розвитку деградаційних фізико-географічних явищ (підтоплень, зсувів, змивів, видувань ґрунтів тощо).

Застосування ГТК в дослідженнях водної ерозії зумовлене необхідністю збору, опрацювання, аналізу великої кількості масивів геопросторової інформації з метою створення ряду картографічних зображень (тематичних карт). Розвиток комп'ютерних технологій та програмного забезпечення дав змогу створити сучасний розділ картографії – геоінформаційне картографування, складовим елементом якого є ГТК, покликане виконувати складні операції з автоматизованого укладання набору геопросторових баз даних із залученням класичних тематичних баз даних [149; 170]. Основними методами ГТК, використовуваних під час дослідження, є синтетичне та анаморфоване картографування [171; 172].

Об'єктом картографічного супроводу регіонального рівня є еродовані землі шести південних районів Волинської області, яка належить до природно-ландшафтної одиниці районування – Волинської височинної фізико-географічної області (Волинське лісостепове Опілля).

4.2.1. Моделювання існуючого та прогнозного стану розвитку водної ерозії

Для дослідження та аналізу характерних особливостей прояву і поширення водної ерозії на рівні УЗГ (універсальний зональний геостационар – шість південних районів Волинської області) використано картографічну базу даних про географічні об'єкти, явища і процеси, що включає множину цифрових тематичних карт, створених на основі електронних карт-основ (картографічна база атрибутивних даних: оцифровані нами топографічні карти масштабу 1:100000 (6 шт.), 1:25000 (15 шт.), 1:10000 (7 шт.), загальна кількість набраних точок 493 321).

Семантична (атрибутивна) частина тематичної ГІС є набором геопросторових даних (кількісні та якісні характеристики прояву, інтенсивності проходження і поширення водної ерозії; набір статистичних даних, які використовувались під час досліджень ерозійно-небезпечних земель, (п. 1.1 додаток А1, А2). Атрибутивна та картографічна база даних пов'язані між собою за ключовими полями таблиць та точками (пікселями) векторних об'єктів. Використовуючи багатофункціональну

геоінформаційну систему MapInfo Professional 5.0, отримано серію тематичних карт відповідно до предмету дослідження.

Під час розробки серії тематичних карт було використано такі способи картографічного зображення: картограма і картодіаграма (спосіб кількісного фону). Базовими (інформаційними) даними були показники таблиць А.1, А.2 в додатку А та табл. Л.1-Л.4 в додатку Л. На їх основі побудовано тематичну карту фактичних модулів і обсягів змиву ґрунту (рис. 4.17), карти змитості сільськогосподарських угідь (рис. М.1)⁷, ріллі (рис. Л.2) та дефляційно-небезпечних сільськогосподарських угідь (рис. М.3), міру освоєності та розорюваності території (рис. М.4).

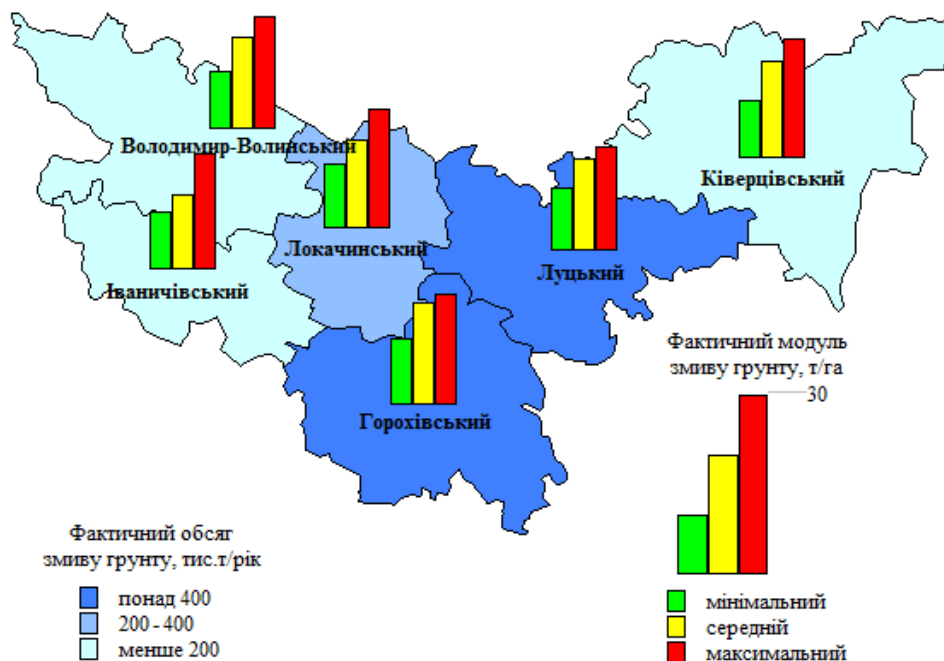


Рис. 4.17. Модулі і обсяги змиву ґрунту (в розрізі адміністративних районів)

Аналізуючи отримані дані та дані фондових джерел про наявність значних обмів змитого ґрунту, можна сформулювати проміжні висновки регіональних досліджень змиву ґрунту: фактична розораність сільськогосподарських угідь в області становить 64%; негативні природні і антропогенні явища (водна, вітрова ерозія) призвели до деградації земель; родючість ґрунтів послідовно погіршується, що призводить до зниження

⁷ Цей та наступні рисунки подані в [додатку Н](#).

продуктивності сільськогосподарського угідь; загальне погіршення екологічного режиму навколишнього середовища на суміжних з сільськогосподарськими землями територіях (заплави річок, сельбищні зони населених пунктів тощо). виправлення такого становища можливе за рахунок зменшення показників інтенсифікації ведення господарювання (оптимальні показники розораності земель до отриманого кінцевого продукту), виведення з ріллі малопродуктивних земель (схилові, піщані, кам'янисті тощо), здійснення консервації сильно- і середньозмитих сільськогосподарських угідь Лісостепової зони області на схилах крутизною понад 7° та збіднених піщаних земель Поліської зони).

4.2.2. Синтетичне анаморфоване картографування

Процес змиву ґрунтів включає багато чинників, які в тій чи іншій мірі впливають на інтенсивність ерозії. Оперативність впровадження захисних заходів в багатьох випадках залежить від картографічного супроводу досліджуваного питання. Сучасні засоби ГІС пропонують широкі можливості обліку та інтерпретації порушених [173], в тому числі, і ерозійно небезпечних земель [7]. Відомі широкому загалу тематичні карти, зазвичай, містять набір даних, що складається з однієї-двох характеристик зображуваного явища. Проте у випадку з ерозійними процесами виникає потреба комплексного аналізу та врахування більшої кількості факторів (рельєф, ґрунти, опади, агрофон, обробіток ґрунту тощо) з встановленням взаємозв'язків між ними, просторового розміщення та ілюстрації результатів їх впливу. Вирішення такого завдання можливе за допомогою способу анаморфованого картографування.

Графічне зображення, утворене зміною масштабу, що залежить від числової величини щільності прояву та розподілу певного чинника, називають анаморфованим картографічним зображенням – анаморфозою [174].

Поширеним різновидом трансформованих зображень є площинні анаморфози. Зміст таких карт полягає у відображенні площ одиниць територіального поділу відповідно в пропорції до частоти (щільності)

картографованого явища. Важливим елементом такого підходу є максимально збережене взаємне розташування та форма суміжних територій.

В дисертаційній роботі на прикладі різних характеристик ерозійних процесів досліджуваних районів Волинської області (фактичні модулі і обсяги змиву ґрунту, змитість сільськогосподарських угідь, ріллі, дефляційно-небезпечні сільськогосподарські угіддя, міра освоєності та розорюваності території тощо) здійснена вдала спроба створення анаморфованих карт, що відображають одночасно ряд взаємопов'язаних явищ та їх інтегральні характеристики.

Відомо про одиничні дослідження використання анаморфоз в економічній картографії 1970-х років. Значне полегшення в отриманні анаморфоз відбулось з використанням можливостей комп'ютерної графіки [175; 176]. Алгоритми, які пропонувались для побудови анаморфованих зображень базувались на геометричних принципах проектування зображення з тривалими та складними розрахунками. Американські фізики М. Ньюман та М. Гастнер, практично довели їх малоефективність: результатом виконання побудов були важкочитабельні зображення з не прогнозованими варіантами (результуючі карти мали перекриття та накладання суміжних площ).

Математичній інтерпретації процесу анаморфування присвячено ряд іноземних досліджень [174; 177-179]. На вітчизняній науковій ниві до питання трансформованого способу картографування з використанням сучасної комп'ютерної техніки можна віднести працю [180]. Працівниками кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки удосконалено математичний апарат викладений в роботі [172]. В результаті запропоновано розробку, яка реалізована в корегованому для потреб картографування еродованих земель програмному модулі (геоінформаційна система ArcGIS фірми ESRI) та побудовано анаморфовані картографічні зображення.

Інформаційною базою стали Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2012 та 2014 рр., а також власні спостереження та дослідження викладені в попередніх розділах роботи.

За представленими даними (табл. К.1., додаток К) створено анаморфозу у розрізі адміністративних районів Волинської області (рис. 4.18) з фактичними

модулями змиву ґрунту та з тематичним навантаженням площ еродованих земель (табл. 4.1).

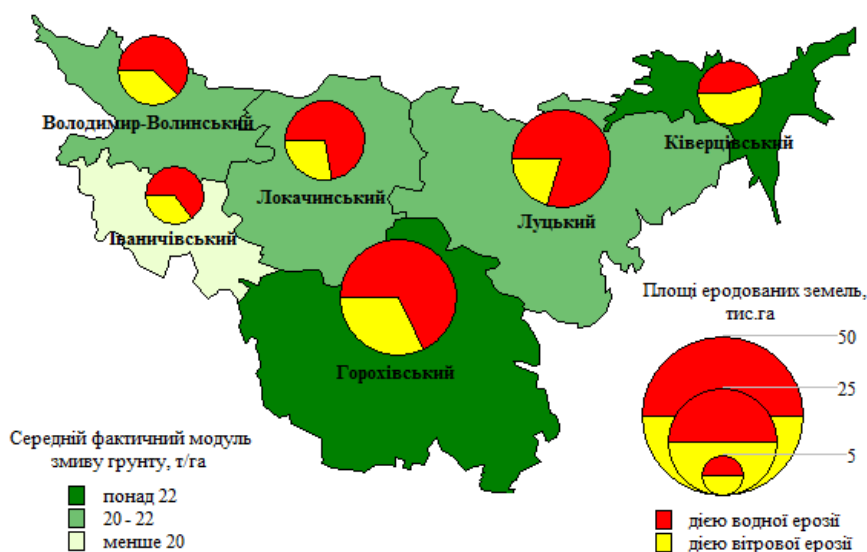


Рис. 4.18. Анаморфована карта фактичних обсягів змиву ґрунту в розрізі адміністративних районів Волинської області

Як показники тематичного навантаження використовуються розподіл змитих сільськогосподарських угідь від загальної площі (картограма) та відсотки сільськогосподарських угідь за ступенем змитості (картодіаграма), представлені в розрізі адміністративних районів Волинської області (табл. К.3., додаток К, рис. 4.19).

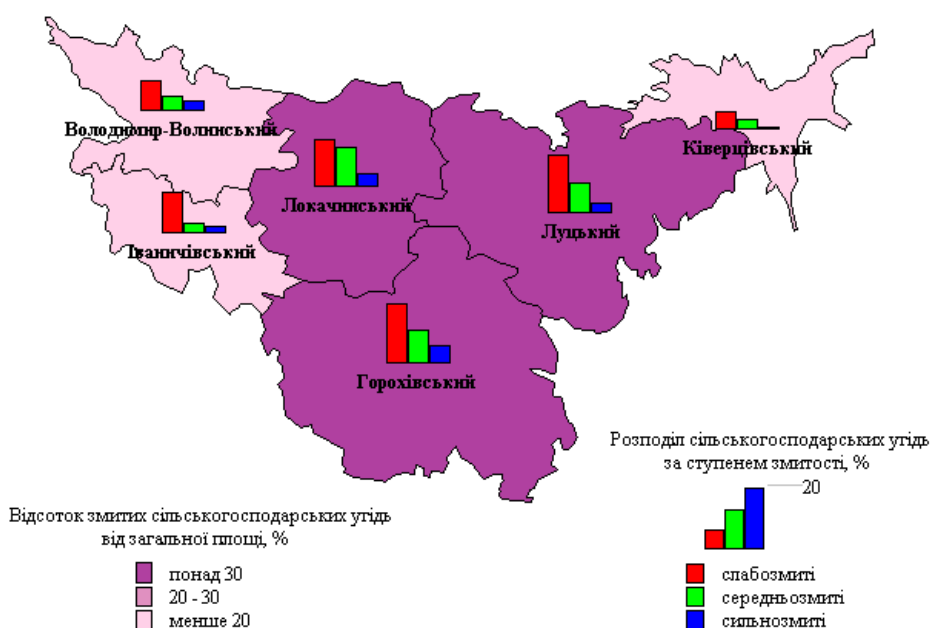


Рис. 4.19. Анаморфована карта площ змитих сільськогосподарських угідь (в розрізі адміністративних районів)

Відомо, що ступінь еродованості ґрунтів залежить від крутизни схилу [181]. В цьому контексті доцільно знати наочну інформацію про розподіл слабо-, середньо- та сильно еродованих земель. Для цього необхідно побудувати карти земель різного ступеня змитості та орних ґрунтів з ілюстрацією їх розподілу за крутизною схилів (додаток М, рис. М.5 – М.7).

На основі здійсненого аналізу площ еродованих земель Волинського Лісостепу побудовано анаморфовану тематичну карту, що відображає стан еродованих земель (рис. 4.20).

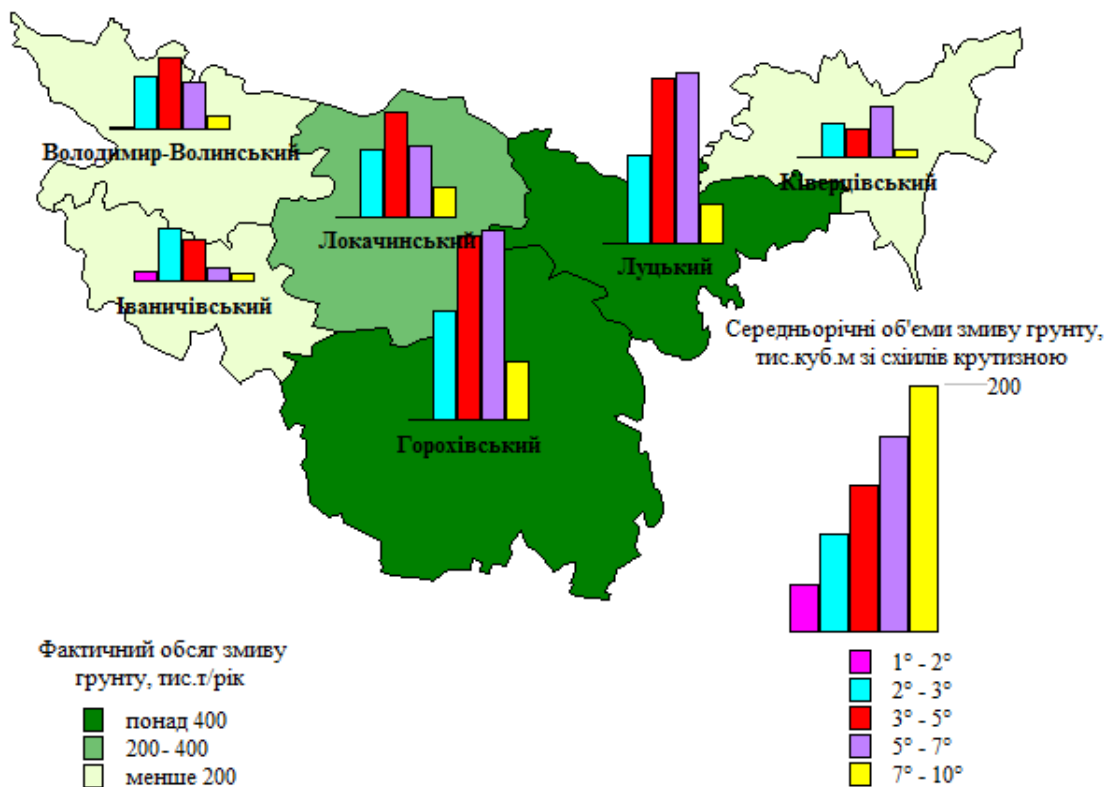


Рис. 4.20. Анаморфована карта площ еродованих земель
(в розрізі адміністративних районів)

Запропоновані анаморфовані тематичні карти є вдалою наочною ілюстрацією зображуваного процесу змиву ґрунтів. Це є ефективним способом інтерпретації, що визначає доцільність, оперативність та ефективність використання запропонованих карт для ведення досліджень ерозійно-небезпечних або інших земель, які піддаються різним негативним руйнівним процесам. Перевага анаморфованих карт полягає в тому, що вони можуть використовуватись

як на етапі обґрунтування досліджень (аналітичні карти), так і на підсумковому етапі при отриманні результируючих показників (карти-висновки).

4.3. Етапи вивчення площинної ерозії та оптимізація землекористування.

Рекомендації.

Оскільки метою дисертаційної роботи була розробка методів досліджень еродованих ґрунтів та ерозійно-небезпечних земель засобами прикладної фотограмметрії та тематичної картографії на різних масштабних рівнях у відповідності до досліджуваного об'єкту, то в даному пункті нами подано деякі рекомендаційні аспекти оптимізації землекористування, оскільки без них була б неповною картина завершеності запропонованих досліджень.

Критеріями збалансованого використання земельних ресурсів є оптимальне співвідношення втрат ґрунту внаслідок змиву та виконаних захисних заходів. Оптимізація використання порушених земель внаслідок дії негативних процесів (водна ерозія) повинна здійснюватись на основі результатів виконаних комплексних ґрунтово-ерозійних обстежень. Сучасне використання поняття оптимізації еродованих територій передбачає не лише збереження властивостей ґрунтів, але й стійкий розвиток агроландшафтів [107].

Виходячи з аналізу сучасного стану ґрунтового покриву Волинської області, катастрофічної ситуації, що склалася у сільськогосподарському виробництві та основних положень Земельного кодексу, Закону про охорону ґрунтів, діючих регіональних програм, „Основних напрямків Державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки”, затверджених Постановою Верховної Ради України від 5.03.98 р. № 188/98-ВР, „Основних напрямків національної програми охорони родючості ґрунтів”, основними завданнями галузі, що потребують першочергового вирішення в області є: запровадження державної політики щодо збереження земель та відтворення родючості ґрунтів; узгодження регіональних, місцевих та відомчих програм розвитку господарства, пов'язаних з використанням земельних ресурсів. Важливо враховувати екологічні наслідки від їх використання; запобігання процесам

природної та антропогенної деградації ґрунтів; вдосконалення системи агрохімічної паспортизації земель як основної складової моніторингу та якісної оцінки ґрунтів; формування та відновлення агротехнічних, культуртехнічних, гідротехнічних та інших меліоративних заходів на землях сільськогосподарського призначення; оптимізація територіальної структури землекористування; забезпечення та вдосконалення систем стандартизації використання ґрунтів та земельних ресурсів; координація систем фінансування, контролю, інформації та наукового забезпечення в галузі охорони ґрунтів [48].

Відомі методики вивчення ерозійних процесів в більшості не використовуються в практиці протиерозійного проектування, а тим більше при створенні екологічно збалансованих агроландшафтів. Ця справа обмежується тільки деяким набором протиерозійних агротехнічних операцій. Тому нами запропоновано систему поетапного впровадження запропонованих методів в схему оптимізації використання сільськогосподарських ерозійно-небезпечних земель (таб.4.2). Перший етап (I) передбачає поділ процесу вивчення на структурні елементи (підрозділи 1а, 1б, 1в), коли аналізуються ключові характеристики: сучасний стан агроекологічних властивостей сільськогосподарських земель (структура ґрунтового покриву, склад угідь та типи сівозмін), здійснюється оцінка матеріально-технічної забезпечення (наявність фінансування, наукові кадри, прилади та засоби для спостережень), а також визначаються масштаби необхідних досліджень, класифікуються та впроваджуються запропоновані в дисертаційній роботі методи досліджень, що становлять цілісну картину описаної ієрархічної моделі вивчення площинної ерозії ґрунтів. Відповідно до методичної схеми оптимізації здійснюються II-ий та III-ій етапи комплексних ґрунтозахисних заходів.

Запропоновані етапи оптимального використання ерозійно-небезпечних сільськогосподарських земель можуть бути застосовані при створенні проектів землеустрою різних за площею агроформувань (5-500 га) з контурно-меліоративною організацією території. Такі проекти (схеми) землеустрою повинні враховувати регіональні характеристики території та мати конкретну практичну реалізацію.

Важливим моментом дієвості варіантів оптимізації землекористувань сільськогосподарського спрямування на локальному та регіональному рівнях є враховування таких базових принципів:

1) цінність сільськогосподарських земель, тобто недопустимість втрат найбільш продуктивних земель внаслідок їх нераціонального використання (екстенсивне та інтенсивне ведення сільського господарства; ігнорування принципів ґрунтозахисних та протиерозійних заходів; незнання сучасних методів обробки та характеру сівозмін тощо);

2) максимальна мобільність процесу рекультивації земель, які вже піддалися негативним процесам (заліснення, залуження тощо) та припинення сільськогосподарського використання земель на схилах із значною крутизною (від 5° і більше);

3) підвищення продуктивності земель, що залишаються в обробітку та можливості безоплатної передачі „нестабільних” в ерозійному відношенні сільськогосподарських земель у природоохоронне користування.

Запропоновані принципи дозволяють перейти від теоретичної моделі оптимального використання сільськогосподарських земель до практичної сторони процесу оптимізації.

Проте не менш важливою складовою планування та впровадження заходів із захисту ґрунтів від ерозії є необхідність врахування зональних (регіональних) особливостей впливу природних ерозійних чинників. Серед них доцільно виділити прогнозні варіанти погодних умов (кількість та інтенсивність опадів, сонячних днів), ґрунтові особливості (водопроникність, механічний та хімічний склад тощо) та особливості рельєфу (крутизна, довжина та орієнтування схилів). При цьому ефективність одних і тих самих організаційно-господарських, агротехнічних та фітомеліоративних протиерозійних заходів на територіях з неподібними умовами може бути як високою так і низькою. Враховуючи значні площі та об'єми змитих ґрунтів, які були встановлені в ході аналізу досліджень площинного змиву в межах півдня Волині [182] та ряду відомих даних (табл.4.3), в табл. 4.2 подана класифікація протиерозійних заходів та їх ефективність залежно від регіональних особливостей (табл.4.1) [183].

Таблиця 4.3

Схема оптимізації використання сільськогосподарських ерозійно-небезпечних земель

Головні етапи оптимізації	Проміжні етапи оптимізації	Виконані дії	Результати пройденого етапу, отримані дані, впровадження методів
<i>I етап</i> (вивчення / базовий)	<i>1a</i>	Аналіз сучасного стану агроекологічних властивостей сільськогосподарських земель (структура ґрунтового покриву, склад угідь та типи сівозмін);	Статистична інформація в графічному та табличному представленні (карти агрохімічних обстежень, проекти існуючих сівозмін, тощо).
	<i>1б</i>	Оцінка матеріально-технічної бази (наявність фінансування, наукові кадри, прилади та засоби для спостережень);	Впровадження запропонованих методик досліджень з підвищеним показником еколого-економічного ефекту (РЕМ-мікроскопія, короткобазисна фотограмметрія)
	<i>1в</i>	Визначення масштабів необхідних досліджень, класифікація та впровадження рівнів досліджень відповідно до запропонованої моделі вивчення площинної ерозії ґрунтів.	Отримання статистичних даних змиву, а також якісних характеристик факторів формування водної ерозії (морфолого-етнотропійні характеристики, поровий простір, пошук коефіцієнтів R-функцій, карти пластики).
<i>II етап</i> (впровадження / основний)	<i>2a</i>	Класифікація інтенсивності процесів змиву відповідно до природно-антропогенних умов (чинники формування змиву), зонування агроекологічних ландшафтів, створення стаціонарів різних рівнів, встановлення залежності змивних процесів від комбінації факторів;	Прогнозування розвитку змиву в комбінації факторів, а також пропозиція до використання/застосування різних підходів в протиерозійному моделюванні (субмоделі R-функцій, ґрунтознавчо-гранулометрична модель, програма „EROSION”).
	<i>2б</i>	Застосування контурно-меліоративної організації території; збалансування співвідношень елементів структури сільськогосподарських угідь; удосконалення умов відновлення родючості земель (введення ґрунтозахисних сівозмін, застосування протиерозійних заходів – обробіток земель, внесення добрив, характер посівів, чергування черезсмужних захисних ділянок, терасування, заліснення і залуження схилів тощо);	Повторні циклічні спостереження за процесом змиву (короткобазисна фотограмметрія). Встановлення закономірностей підвищення/зменшення в реальних умовах. Корегування прогнозних результатів, статистичний аналіз результатів. Створення робочого проекту захисту земель від водної ерозії.
	<i>2в</i>	Спостереження за розвитком ерозійних процесів в умовах впровадження запропонованих заходів; співставлення з альтернативними варіантами.	Створення проміжних звітів за результатами спостережень в умовах впровадження захисних заходів.
<i>III етап</i> (коректуючий / заключний)	<i>3a</i>	Покрокове заміщення елементів ґрунтозахисних технологій більш дієвими, модифікація способів захисту;	Впровадження відкоректованих способів захисту, складення окремих методик.
	<i>3б</i>	Створення програми захисту ерозійно-небезпечних сільськогосподарських територій на довільний період (1-5-7 років);	Складення фінальних звітів, які підтверджують ефективність створених захисних заходів, створення прогнозних варіантів розвитку ерозії та їх картографування (карти анаморфози).
	<i>3в</i>	Впровадження оптимізаційних заходів шляхом інтерполювання отриманих показників з тестових ділянок на території з подібними агроекологічними умовами.	Складення фінальних проектів захисту ґрунтів від ерозії на території, які зазнали негативних змивних процесів.

Таблиця 4.2

**Орієнтовний перелік протиерозійних заходів та їх ефективність для
регіональних умов Волинського Опілля.**

Зона (регіон, ділянка)	Протиерозійні заходи, які мають:	
	високу ефективність	низьку ефективність
Зона (регіон, ділянка) підвищеного зволоження або період з підвищеним зволоженням	Гідротехнічні споруди для скидання надлишкового стоку, залуження водостоків, глибока оранка та оранка з ґрунтопоглибленням, щілювання та кротування ґрунту	Полезахисні лісосмуги, водорегулювальні (стокорегулюючі) лісосмуги, прибалкові лісосмуги, яружно-балкові лісові насадження, державні лісосмуги, водозатримувальні споруди, створення борозен, переривчастих борозен, валиків, лунок, мікроліманів
Зона (регіон, ділянка) недостатнього зволоження або період з недостатнім зволоженням	Полезахисні лісосмуги, водорегулювальні (стокорегулюючі) лісосмуги, прибалкові лісосмуги, ярково-балкові лісові насадження, державні лісосмуги, водозатримувальні споруди, безполицевий обробіток ґрунту зі збереженням стерні, плоскорізний, чизельний, мінімальний та нульовий обробіток ґрунту, створення борозен, переривчастих борозен, валиків, лунок, мікроліманів, обробіток упоперек схилу, контурний обробіток, снігозатримання та регулювання сніготанення	Глибока оранка та оранка з ґрунтопоглибленням, щілювання та кротування ґрунту*

*Питання ефективності глибокої оранки, оранки з ґрунтопоглибленням та щілювання ґрунтів в умовах нестійкої та недостатньої зволоженості є дискусійним, оскільки ці заходи, з одного боку, сприяють водопоглинанню, а з іншого боку - призводять до пересушення ґрунтів на глибині.

Таблиця 4.3

Площі, модулі та об'єми змитих сільськогосподарських угідь

Назва адміністративного району	Площа змитих с/г угідь, тис. га	Середній фактичний модуль змиву, т/га за рік	Фактичний об'єм змиву ґрунту, тис. м³/рік
Володимир-Волинський	12,5	21	170
Горохівський	31,2	23	500
Іваничівський	9,2	17	130
Ківерцівський	7,5	22	110
Локачинський	17,2	20	270
Луцький	26,6	21	430

Планування та проведення ґрунтоохоронних заходів ерозійно-небезпечних земель передбачає розробку комплексу оптимальних ґрунтозахисних заходів (організаційно-господарських), які забезпечать максимальний ефект при відповідних заходах запобігання прояву ерозійно-деградаційних процесів. До них належать: диференційоване використання земель залежно від природних умов; раціональне розміщення земельних угідь різного функціонального призначення; оптимізація структури сільськогосподарських угідь; раціональне розміщення сівозмін різних типів; організація ґрунтозахисних сівозмін; науково обґрунтоване розміщення та форми полів, робочих ділянок, лісомеліоративних та гідротехнічних заходів; науково-обґрунтований підбір сільськогосподарських культур; обмеження міри сільськогосподарського охоплення території; масштаби консервації земель.

Висновки до розділу 4

1. Вперше у вітчизняній практиці ерозієзнавчих досліджень розроблено оригінальну методику комплексного картографічного відображення ерозійного стану земель Волинського Опілля із застосуванням карт пластики рельєфу. Розроблені алгоритми оперативного отримання карт пластики дозволяють виконувати оцінку геоморфологічної та гідрологічної однорідності території та її взаємозв'язку з проявом водної ерозії на основі аналізу геоморфологічних параметрів досліджуваної території (вертикальне та горизонтальне розчленування), що підтверджено представленими картосхемами.

2. Запропоновано методику визначення планового розподілу ерозійних „плям” на сільськогосподарських землях на основі опрацювання бінарних зображень матеріалів аерофотознімання із застосуванням методів морфолого-планіметричного аналізу. В результаті встановлені локації можливого виходу ґрунотвірних порід на поверхню та, відповідно, обчислені статистичні розподіли „плям” на аерофотознімках за площею, периметром та фактором форми. Частина аерознімка, що охоплює дану територію становить площу 2,4520 га, з яких: 0,9489 га – землі котрі мають різну ступінь еродованості (слабку – 0,3013 га, середню – 0,1246 га, сильну – 0,5230 га).

3. Запропоновано здійснювати вивчення площинної ерозії ґрунтів використовуючи площинні анаморфози. Побудова картографічної моделі здійснювалась за запропонованим спрощеним математичним апаратом. Виконане картографічне відтворення процесу змиву (площі, темпи змиву, прогнозні варіанти розвитку процесу деградації) є вдалою наочною інтерпретацією та становить оперативно-ефективну геопросторову модель досліджень ерозійно-небезпечних територій (додаток М).

4. Подано алгоритм використання запропонованих методів під час розробки рекомендацій до впровадження комплексів протиерозійних заходів (І та ІІ етапи). Застосування таких методів дозволить оперативніше реагувати на зміни інтенсивності змиву, з високою вірогідністю прогнозувати (близько 90%) та, відповідно, звести до мінімуму розвиток деградації ґрунтового покриву, значно поліпшивши екологічний стан довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 4

145. Flacke W., Auerswald K., Neufang L. Combining a modified universal soil loss equation with a digital terrain model // *Catena*, 1990. – V. 17. – P. 383-397.
146. Бурштинська Х. В. Порівняльний аналіз побудови цифрових моделей рельєфу з використанням апроксимаційних функцій // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – 2001. – вип. 61. – С. 137-148.
147. Krcho J. Morphometric Analysis of Relief on the Basis of Geometric Aspect of Field Theory / *Acta Geographica Universitatis Comeniana. Geographico- physica*. – 1973. – № 1. – P. 7-233.
148. Метод пластики рельєфа в тематическом картографировании: Сб.науч.тр. – Пушино: Изд-во АН СССР, 1987. – 159 с.
149. Бондаренко Е. Л. Геоінформаційні основи еколого-географічного картографування / Е. Л. Бондаренко, В. О. Шевченко, В. І. Остроух. – К.: Фітосоціоцентр. – 2005. – 116 с.
150. Замятин А.В. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли / А.В. Замятин, Н.Г. Марков – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 176 с.
151. Zhang, Y. Highlight Article: Understanding Image Fusion. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2004. – Vol. 70, – P. 657-661.
152. Сальников И. И. Методы распознавания сложных бинарных изображений на основе построчного и следящего анализа / И.И. Сальников // «Искусственный интеллект». – 2013 – № 3. – С.242-252.
153. Тумська О. В. Дослідження автоматичної побудови цифрової моделі рельєфу VLL-методом за матеріалами аерофотознімання / О. В. Тумська, М. Т. Процик, В. Я. Янчак // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – Львів, 2004. – Вип.65. – С.96-104.
154. Визильтер Ю. В. Теория и методы морфологического анализа

изображений: Автореф. дисс. докт. физ.-мат. наук. – Самара, 2009. – 32 с.

155. Розенфельд А. Распознавание образов и обработка изображений. – М.: Мир, 1972. – 230 с.

156. Sergeev V. Quantitative morphological analysis in a SEM-microcomputer system - J. Quantitative shape analysis of single objects / V. Sergeev, V. Sokolov // Journal of microscopy, 1984, – V.135 – Pt.1. – P.1-12.

157. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. – London: Academic Press., 1992. – P. 329-341.

158. Шостак А. В. Оцінка дисперсних ґрунтів та їх основних реологічних властивостей / А. В. Шостак // Містобудування та територіальне планування. К., – 2011. – Вип. 39. С. 465-475.

159. Мендель В. П. Застосування методів математичної морфології при дослідженні ерозійних процесів за матеріалами аерофотозйомки / В. П. Мендель // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2017. – Вип.85. – С.83-92.

160. Молчанова В. С. Адаптивный пороговый метод бинаризации растровых изображений технических чертежей / В. С. Молчанова // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2015. – № 2 – С.62-70.

161. Sauvola J. Adaptive Document Binarization / J. Sauvola, M. Pietikainen // Pattern Recognition. – 2000. – № 33. – P. 225-236.

162. Yang Y. An adaptive logical method for binarization of degraded document images / Y. Yang, H. Yan // Pattern Recognition. – 2010. – Vol. 33. – P. 787–807.

163. Pratikakis I. Document Image Binarization Contest (ICDAR 2013) / I. Pratikakis, B. Gatos, K. Ntirogiannis // ICDAR 2013: 12th International Conference on Document Analysis and Recognition, USA, Washington, 25–28 August, 2013. – Washington, 2013. – P. 1471–1476

164. Соколов В. Н. Метод количественного анализа микроструктуры твердых тел по РЭМ изображениям / В. Н. Соколов, Д. И. Юрковец,

О. В. Розгулина, В. Н. Мельник // Зав. лаб., 1997. – № 9. – Т.63. – С. 5-35.

165. Марчуков В. С. Теория и методы тематической обработки аэрокосмических изображений на основе многоуровневой сегментации: Автореферат дисс. на соискание ученой степени док. Техн. наук. – Москва, МИИГАиК, 2011.

166. Fowlkes C. Learning Affinity Functions for Image Segmentation. / C. Fowlkes, D. Martin, J. Malik Combining Patch-based and Gradient-based Approaches. 2003.

167. Navon E. Color image segmentation based on adaptive local thresholds / E. Navon, O. Miller, A. Averbuch // Image and Vision Computing. – 2012. – № 23. – P. 69–85.

168. Кибернетический сборник. Новая серия Вып. 27. Сб. статей: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 200 с., ил.

169. Кендалл М. Геометрические вероятности. / М. Кендалл, П. Моран – М.: Наука, 1972. – 192 с.

170. Мендель В. П. Картографування сільськогосподарських земель в умовах прояву водної ерозії / В. П. Мендель // Вісник НУВГП – 2013. – №3 – С. 41–42.

171. Системное картографирование природы и хозяйства Украинской ССР (теория, опыт, задачи): Сб. науч. тр. / ред. кол. Золовский А.П. (отв. ред.) и др. – К.: Наукова думка, 1985. – 236 с.

172. Гусейн-Заде С. М., Тикунов В. С. Численные методы создания анаморфированных картографических изображений // Геодезия и картография. 1990. – № 1. – С. 38-44.

173. Маланчук М. С. Кадастрова інвентаризація земель, порушених промисловими розробками родовищ сірки: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.24.04 – кадастр та моніторинг земель. Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Л. – 2013.– 18 с.

174. Тикунов В. С. Моделирование в картографии. – М.: Изд-во Моск.

ун- та, 1997. – 405 с.

175. Петров П. В. Аналитический способ создания анаморфированных картографических изображений / П. В. Петров, С. Н. Сербенюк, В. С. Тикунов // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. Геогр. 1983. № 2. – С. 56-63.

176. Gastner M.T. Diffusion – based method for producing density equalizing maps / M. T. Gastner, M. E. J. Newman // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, № 101. – 2004. – P.7499-7504.

177. Tobler W. R. Pseudo-Cartograms // The American Cartographer. – 1986. – 13. – №1. – P.43-50.

178. Dougenik J. A. An algorithm to construct continuous area cartograms / J. A. Dougenik, N. R. Christman, D. R. Niemeyer. – Prof. Geogr., 1985. – 37. – №1. – P.75-81.

179. Selvin S. Transformations of map to investigate clusters of disease. / S. Selvin, D. Merrill, S. Sacks, L. Wong, L. Bedell, J. Schulman // Lawrence Berkeley Laboratory, Univ.of California. – 1984. – 33 p.

180. Мельник В. М. Основи картографії: навч. посібн. / В. М. Мельник. – Луцьк: РВВ Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. – 212 с. (Лист Мінмолодьспорту № 1/11-9794 від 18.06.2012р.).

181. Процик М. Статистична модель дослідження залежності між еродованістю рілньничих сільськогосподарських угідь та крутизною схилів / М. Процик, П. Зазуляк, І. Покотило, В. Гавриш // Матеріали регіон. наради «Можливості дистанційного зондування землі та геоінформаційних технологій у вирішенні проблем Полісся». – Київ-Луцьк. – 2002. – С.42-43.

182. Мендель В. П. Деякі питання дослідження ерозійно – трансформованих земель півдня Волині / В. П. Мендель // V Міжнародна науково-практична конференція студентів і аспірантів «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень». – Луцьк. - 2011. – С.222-223.

183. Зональні методичні рекомендації із захисту ґрунтів від ерозії. – Харків, 2010. – 148 с.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі узагальнюючі висновки.

1. В результаті аналізу кількісних характеристик ерозійного стану ґрунтового покриву Волинського Опілля на основі багаторічних статистичних та великої кількості фондових матеріалів встановлено: за останні 25 років площа еродованих земель збільшилася на 50 тис. га; екстремально-максимальний змив становить 21 т/га/рік; середньорічні темпи приросту змитих площ сільськогосподарських земель знаходяться в межах 2-2,5 %. Вказані тенденції унеможливають принципи сталого землекористування і не дозволяють здійснювати реалізацію державної програми сталого розвитку і використання сільськогосподарських земель.

2. Вдосконалено метод короткобазисної фотограмметрії з визначення об'ємів змитого ґрунту в межах елементарних стокових майданчиків. Метод вирізняється мобільністю і уможливає визначення ерозії ґрунту в різних транзитно-аккумулятивних частинах схилу. Точність методу – 2%. Отримані дані були використані для пошуку параметрів добре відомої в практиці ерозієзнавства математичної моделі RUSLE. В результаті запропоновано модифікований варіант – найбільш придатний до фізико-географічних умов Волинського Опілля. Для її реалізації створено програмний модуль „EROSION”. Верифікація з широко вживаним в ерозієзнавстві графо-аналітичним методом професора Ларіонова Г.А. підтвердила достовірність визначення об'ємів загального змиву в межах 5-8%.

3. Апробовано методику вивчення порових властивостей ерозійно небезпечних ґрунтів растрово-електронно-мікроскопічними засобами. Отримані статистичні дані свідчать про те, що більші пори мають більш округлу форму, а отже і збільшення водопоглинаючої властивості ґрунту та зменшення інтенсивності змиву. Експериментально підтверджено доцільність інтеграції фізико-механічних та стереологічних досліджень зразків ґрунту, що дозволяє отримувати регресійні залежності між модулем деформації E_y , модулем загальної деформації E_0 та загальною площею пор A (мкм²). Встановлені тісні кореляційні залежності між щільністю скелету ґрунту (протиерозійна стійкість) ρ (г/см³) і загальною площею пор A (мкм²) $R = -0,89$.

Вперше введено поняття коефіцієнта пористості n , який є нічим іншим як складовою частиною протиерозійної стійкості. Значення показників характеристик порового простору чорнозему (1) (анізотропія $K_a = 6,86\%$, фактор форми $K_f = 0,454$, загальна площа пор $S_{заг} = 29027 \text{ мкм}^2$) є меншими ніж відповідні значення дерново-підзолистого ґрунту (2) (анізотропія $K_a = 14,6\%$, фактор форми $K_f = 0,545$, загальна площа пор $S_{заг} = 53496 \text{ мкм}^2$), та загальної їх площі $S_{заг}$. Отримані рівняння регресій та кореляційних залежностей загальної пористості досліджуваних ґрунтів від їх загальної площі.

4. Проведені РЕМ-дослідження дозволили отримати параметри властивостей ґрунту без використання загально вживаних підходів в ґрунтознавстві, які використані при розробці ґрунтознавчо-гранулометричної моделі ерозії ґрунту для умов досліджуваної території (R-функцій). Отримані математичні вирази дозволяють з високою точністю моделювати та прогнозувати можливу динаміку ерозійних процесів для конкретних агроландшафтів. Точність верифікації моделей порядку 85%. Стереометричний аналізу профільної характеристики РЕМ-зображення зразка ґрунту дозволяє визначати ступінь неоднорідності (невпорядкованості) ЦММР, а значення оцінки ентропії характерної точки – інтервал квантування з кроком $\Delta z = 0,1 \text{ мкм}$, який і визначає інформаційну ємність ЦММР, а отже, найбільш піддатливу до змиву тверду фазу скелета ґрунту (частота Найквіста). В нашому випадку це $1/81=0,012$, а частки, відповідно, діаметром 81 мкм, що властиво ґрунтам з низькою і сильно змінюваною міцністю зв'язків, яке зумовлює рівноймовірне порушення структурних елементів практично будь-якого рівня організації (чорноземи та дерново-підзолисті ґрунти). Спеціально розроблена нами програма морфологоспектрального аналізу дозволяє в автоматичному режимі визначати такі мікроструктурні параметри ґрунтів.

5. Вперше у вітчизняній практиці ерозієзнавчих досліджень розроблено оригінальну методику комплексного картографічного відображення ерозійного стану земель Волинського Опілля. Розроблені алгоритми оперативного отримання карт пластики рельєфу дозволяють виконувати оцінку

геоморфологічної та гідрологічної однорідності території та її взаємозв'язку з проявом водної ерозії на основі аналізу геоморфологічних параметрів досліджуваної території (вертикальне та горизонтальне розчленування).

Запропоновано методику визначення планового розподілу ерозійних „плям” на сільськогосподарських землях на основі опрацювання бінарних зображень матеріалів аерофотознімання із застосуванням методів морфолого-планіметричного аналізу. В результаті отримані статистичні дані про розподіл „плям” на аерофотознімках за площею, периметром та фактором форми.

6. Запропоновано здійснювати вивчення площинної ерозії ґрунтів на рівні УЗГ (універсального зонального геостаціонару) в межах природних зон використовуючи площинні анаморфози. Побудова картографічної моделі здійснювалась за запропонованим спрощеним математичним апаратом. Виконане картографічне відтворення процесу змиву (площі, темпи змиву, прогностні варіанти розвитку процесу деградації) є вдалою наочною інтерпретацією та становить оперативно-ефективну геопросторову модель досліджень ерозійно-небезпечних територій (додаток М).

7. Подано алгоритм використання запропонованих методів під час розробки рекомендацій до впровадження комплексів протиерозійних заходів (I та II етапи). Застосування таких методів дозволить оперативніше реагувати на зміни інтенсивності змиву, з високою вірогідністю прогнозувати (близько 90%) та, відповідно, звести до мінімуму розвиток деградації ґрунтового покриву, значно поліпшивши екологічний стан довкілля.

Характеристика ріллі за ступенем змитості та крутизною

№ зп	Назва адміністративного району	Крутизна схилів, °	Змиті орні ґрунти							
			Разом		у тому числі:					
			тис. га	% від загальної площі	слабозмиті		середньозмиті		сильнозмиті	
тис. га	% від загальної площі	тис. га			% від загальної площі	тис. га	% від загальної площі			
1	Володимир-Волинський	1-2	0,4	0,8	0,4	0,8				
		2-3	4,2	8,0	4,2	3,0				
		3-5	3,5	6,5	1,4	2,6	2,1	3,9		
		5-7	1,5	2,8			0,4	0,8	1,1	2,0
		понад 7	0,4	0,8					0,4	0,8
Разом		10,0	18,9	6,0	11,4	2,5	4,7	1,5	2,8	
2	Горохівський	1-2								
		2-3	8,8	11,8	8,8	11,8				
		3-5	9,2	12,3	6,4	9,6	2,6	3,7		
		5-7	6,3	8,8			4,7	6,3	1,6	2,2
		понад 7	1,6	2,2					1,6	2,2
Разом		23,9	24,8	15,2	20,4	7,5	10,0	3,2	4,4	
3	Іваничівський	1-2	1,4	3,6	1,4	3,6				
		2-3	4,0	10,2	4,0	10,2				
		3-5	2,0	5,1	0,7	1,8	1,3	3,3		
		5-7	0,5	1,3					0,5	1,3
		понад 7	0,2	0,5					0,2	0,5
Разом		8,1	20,7	6,1	15,6	1,3	3,3	0,7	1,8	
4	Ківерцівський	1-2	0,2	0,4	0,2	0,47				
		2-3	2,7	6,2	2,7	6,2				
		3-5	1,4	3,2	0,6	1,4	0,8	1,8		
		5-7	1,6	3,7			1,2	2,8	0,4	0,9
		понад 7	0,2	0,5					0,2	0,5
Разом		6,1	14,0	3,5	8,0	2,0	4,6	0,6	1,4	
5	Локачинський	1-2								
		2-3	5,6	12,9	5,6	12,9				
		3-5	5,5	12,6	1,5	3,4	4,0	9,2		
		5-7	2,5	5,7			1,7	3,9	0,6	1,8
		понад 7	0,9	2,1					0,9	2,1
Разом		14,5	33,3	7,1	16,3	5,7	13,1	1,7	3,9	
6	Луцький	1-2								
		2-3	7,6	11,1	7,6	11,1				
		3-5	8,8	12,5	7,3	10,6	1,5	2,2		
		5-7	6,1	8,9			5,0	7,3	1,1	1,6
		понад 7	1,2	1,7					1,2	1,7
Разом		23,7	34,5	14,9	21,7	6,5	9,5	2,3	3,3	

Таблиця А.2.

Характеристика орних ґрунтів за ступенем змитості

№ п/п	Назва адміністратив- ного району	Ступінь змитості орних ґрунтів						Всього	
		слабозмиті		середньозмиті		сильнозмиті		загальна площа, тис. га	% від загальної площі
		загальна площа, тис. га	% від загальної площі	загальна площа, тис. га	% від загальної площі	загальна площа, тис. га	% від загальної площі		
1	Володимир- Волинський	6,8	9,4	3,5	4,9	2,2	3,1	12,5	17,4
2	Горохівський	17,0	19,2	9,7	10,9	4,5	5,1	31,2	35,2
3	Іваничівський	6,6	13,2	1,5	3,0	1,1	2,2	9,2	18,4
4	Ківерцівський	4,2	6,1	2,6	3,8	0,7	1,0	7,5	10,9
5	Локачинський	8,0	15,0	6,8	12,8	2,4	4,5	17,2	32,3
6	Луцький	15,5	18,6	8,0	9,6	3,1	3,7	26,6	31,9

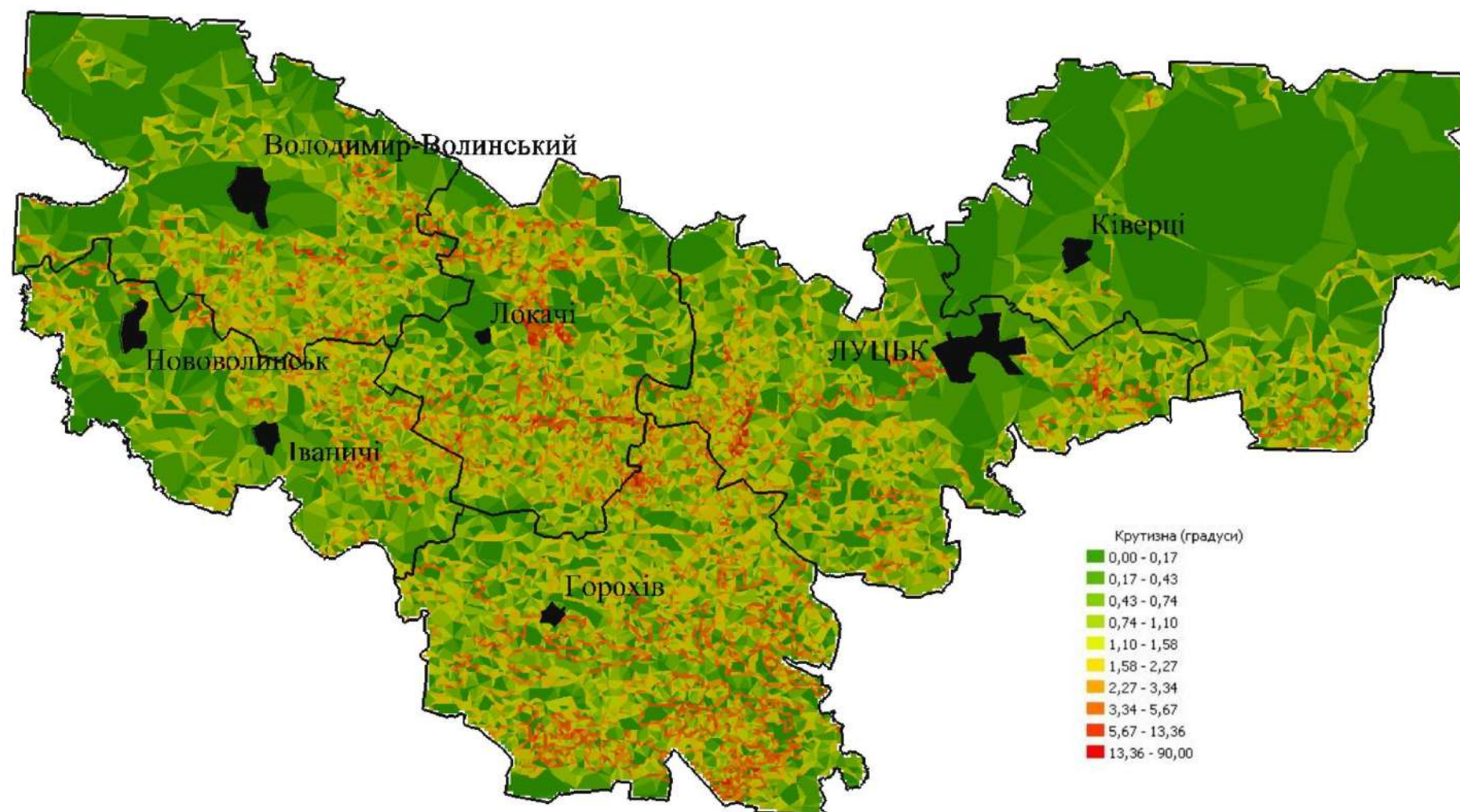


Рис. Б.1. Характеристика рельєфу Волинської височини за крутизною схилів

Геодезичне забезпечення відповідного рівня здійснення комплексних спостережень за водно-ерозійними процесами на всій території КРГ виконано з урахуванням наступних наукових розробок (методик), інструкцій та державних стандартів України:

- Методика, математическая обработка и анализ геодезических измерений при изучении эрозии почв (на примере северо-восточной части Украинской ССР) [203];

- Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98);

- ГОСТ 10529-86 Теодолиты. Общие технические условия. (Теодоліти. Загальні технічні умови);

- ГОСТ 10528-90 Нивелиры. Общие технические условия. (Нівеліри. Загальні технічні умови).

На проектному етапі дослідження були заплановані та закріплені на місцевості пункти знімальної геодезичної основи (рис. В.1). Планування мережі пунктів знімальної геодезичної основи, а також попередні розрахунки точності здійснено з врахуванням ситуації (використано топографічні карти масштабів 1 : 10 000 та 1 : 25 000).

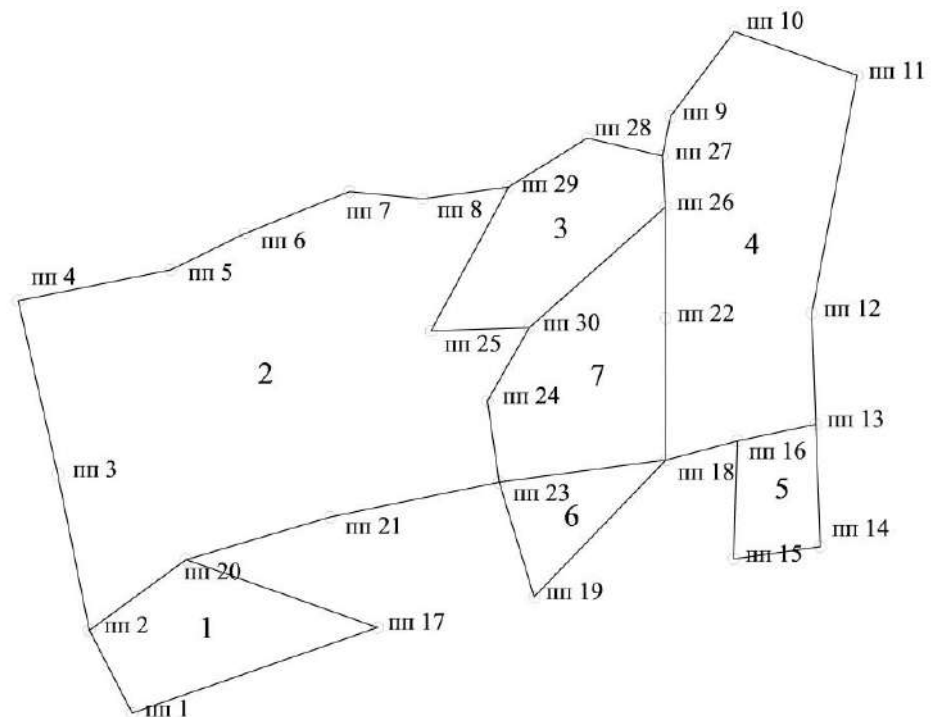


Рис.В.1. Схема розміщення пунктів полігонометрії на території КРГ

Структура коду програми „EROSION”

Програма являє собою компонент до CMS Joomla. При написанні дотримувались MVC та ООР принципів програмування. MVC принцип фронтальної частини відображений на рис.1. Деталі про структуру компонента для CMS Joomla описано на офіційному сайті цієї системи.

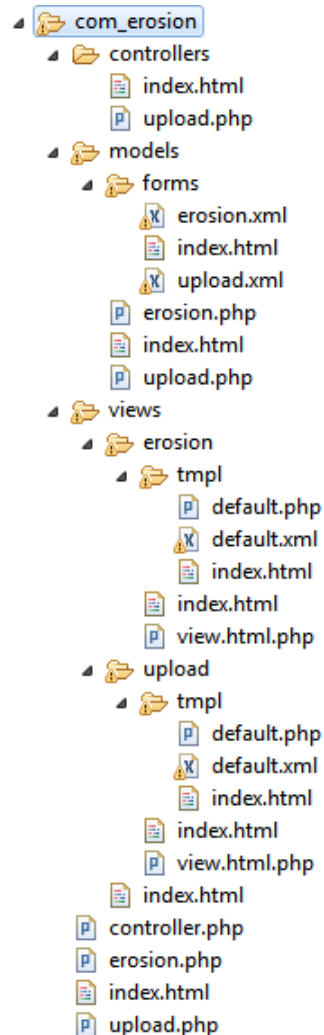


Рис. 1. Приклад MVC принципу програмування

В цьому компоненті містяться дві моделі erosion та upload.

Модель erosion забезпечує виведення інформації щодо завантаження файлів, а модель upload завантажує ці файли та опрацьовує їх.

Структура класу ErosionModelUpload наступна:

```
class ErosionModelUpload extends JModelItem
{
* @var string upload
*/
protected $head;
protected $note;
protected $upload;
```

```

/**
 * @var val
 */
protected $val;
protected $valls;
protected $valfls;
protected $p;
protected $I30;
/**
 * @var Змінні для розхунку LS
 */
private $arrofpoints;
private $ls;
private $lsm;
protected $arrls;
protected $arrfls;
protected $savefile;
protected $erosion;
protected $erosionls;
protected $erosionfls;
protected $erosionfks;
protected $upload_file;

/**
 * Змінні для збереження початкових даних
 */
private $x;
private $y;
private $x1;

```

```

private $x2;
private $y1;
private $y2;
/**
 * Get the message
 * @return string The message to be displayed to the user
 */
public function getHead()
public function getNote()
/* Get the value*/

public function getVal()
/*Get the value for LS*/
public function getValLS()

```

```

//Метод, для обрахунку значення LS
public function getLS($a=22.1, $b=65.4, $c=4.56, $d=0.0065,
$l=44.2, $m=2, $s=0)
//Метод, для обрахунку значення Довжини L, кута S, та кооф. m
public function getLsm($square)
//Метод, для обрахунку значення масиву значень LS
public function getArrLS($arrxyz=array())
public function getValFLS()
//Метод, для обрахунку значення F(LS)
public function getFLS($ls,$alpha,$a,$b,$c,$d,$e)
//Метод, для обрахунку значення масиву значень F(LS)
public function getArrFLS($arrayLS=array())
//Метод завантаження файлу InputLS
public function getUpload()
//Метод запису файлу
public function getSaveFile($savefile = ",$savefilename =
",$stypе="a+")
/* Метод, який із завантаженого файлу створює масив точок з
координатами XYZ*/
public function getArrayOfPoints($filename = ", $savefilename = ")
public function getErosionFLS($filename = ", $savefilename = ")
public function getErosiondivFKS($arrayfks=array())
public function getErosionFKS($filename = ", $savefilename = ")
public function getErosionMultiplication($arr1 = array(), $arr2 =
array(), $fei = 1, $fcu1 = 1, $fagr = 1,$ermax = 25)
public function getP()
public function getI30()
public function getEi()
public function getFei()
public function getFcu1()
public function getFagr()
public function getERmax()
public function getErosion()
}

```

Для прикладу розглянемо метод `getErosion()`, в якому розписано які медоти викликаються для визначення необхідних нам даних:

```

public function getErosion()
{

```

Продовження додатку Д

```

    $user = JFactory::getUser();
    $userId = $user->get('id');
    $filename = "tmp" . DS . "erosion" . DS .
    $userId."inputLS.grd";
    $savefilename = "tmp" . DS . "erosion" . DS .
    $userId."outputLS.grd";

```

```

        $filenameks = "tmp" . DS . "erosion" . DS .
$userId."inputKS.grd";
        $savefilenameks = "tmp" . DS . "erosion" . DS .
$userId."outputKS.grd";
        $savefilenameeer = "tmp" . DS . "erosion" . DS .
$userId."outputEROSION.grd";
        $arrFLS = $this->getErosionFLS($filename, $savefilename);
        $arrFKS = $this->getErosionFKS($filenameks,
$savefilenameks);
        //Множення всіх функцій
        //Дописати взяття параметрів з бази
        $fei = $this->getFei();
        $fcul = $this->getFcul();
        $fagr = $this->getFagr();
        $ermax = $this->getERmax();
        $erosion = $this-
>getErosionMultiplication($arrFLS,$arrFKS,$fei,$fcul,$fagr,$ermax);
        $savefile = 'DSAA'."\r\n";
        $savefile .= $this->x." ".$this->y."\r\n";
        $savefile .= $this->x1." ".$this->x2."\r\n";
        $savefile .= $this->y1." ".$this->y2."\r\n";
        $savefile .= '0 '$ermax."\r\n";
        foreach ($erosion as $line){
            foreach ($line as $square){
                if ($square == '1.70141E+038') {
                    $savefile .= '1.70141E+038 ';
                }
                else
                {
                    $savefile .= $square.' ';
                }
            }
            $savefile .= "\r\n\r\n";
        }
        $this->getSaveFile($savefile, $savefilenameeer, "w+");
        $this->erosion = "Всі дії виконані";
        return $this->erosion;
    }

```

Додаток Е

Додаток Е.1

Вихідні параметри субмоделей функцій відклику**Точка №3**

Роки спостережень	Ерозійний індекс дощу, EI	Фактор рельєфу, LS	Еродованість ґрунту, KS
1997	8.6	1.91	2.8
1998	7.2	1.91	2.8
1999	10.7	1.91	2.8
2000	3.5	1.91	2.8
2001	7.3	1.91	2.8

Точка №5

Роки спостережень	Ерозійний індекс дощу, EI	Фактор рельєфу, LS	Еродованість ґрунту, KS
1997	8.6	5.23	2.8
1998	7.2	5.23	2.8
1999	10.7	5.23	2.8
2000	3.5	5.23	2.8
2001	7.3	5.23	2.8

Точка №6

Роки спостережень	Ерозійний індекс дощу, EI	Фактор рельєфу, LS	Еродованість ґрунту, KS
1997	8.6	6.08	2.8
1998	7.2	6.08	2.8
1999	10.7	6.08	2.8
2000	3.5	6.08	2.8
2001	7.3	6.08	2.8

Точка №12

Роки спостережень	Ерозійний індекс дощу, EI	Фактор рельєфу, LS	Еродованість ґрунту, KS
1997	8.6	1.36	3.6
1998	7.2	1.36	3.6
1999	10.7	1.36	3.6
2000	3.5	1.36	3.6
2001	7.3	1.36	3.6

Продовження додатку Е.1

Точка №17

Роки спостережень	Ерозійний індекс дощу, EI	Фактор рельєфу, LS	Еродованість ґрунту, KS
1997	8.6	2.66	3.6
1998	7.2	2.66	3.6
1999	10.7	2.66	3.6
2000	3.5	2.66	3.6
2001	7.3	2.66	3.6

Точка №24

Роки спостережень	Ерозійний індекс дощу, EI	Фактор рельєфу, LS	Еродованість ґрунту, KS
1997	8.6	1.9	3.35
1998	7.2	1.9	3.35
1999	10.7	1.9	3.35
2000	3.5	1.9	3.35
2001	7.3	1.9	3.35

Точка №27

Роки спостережень	Ерозійний індекс дощу, EI	Фактор рельєфу, LS	Еродованість ґрунту, KS
1997	8.6	2.43	3.35
1998	7.2	2.43	3.35
1999	10.7	2.43	3.35
2000	3.5	2.43	3.35
2001	7.3	2.43	3.35

Значення функцій відклику субмоделей

Точка №3

Роки спостережень	$f_1^e(EI)$	$f_2^e(LS)$	$f_3^e(KS)$
1997	0.9940	0.31	0.78
1998	0.9768	0.31	0.78
1999	0.9998	0.31	0.78
2000	0.5517	0.31	0.78
2001	0.9788	0.31	0.78

Точка №5

Роки спостережень	$f_1^e(EI)$	$f_2^e(LS)$	$f_3^e(KS)$
1997	0.80	0.86	0.78
1998	0.67	0.86	0.78
1999	1.00	0.86	0.78
2000	0.33	0.86	0.78
2001	0.68	0.86	0.78

Точка №6

Роки спостережень	$f_1^e(EI)$	$f_2^e(LS)$	$f_3^e(KS)$
1997	0.80	1	0.78
1998	0.67	1	0.78
1999	1.00	1	0.78
2000	0.33	1	0.78
2001	0.68	1	0.78

Точка №12

Роки спостережень	$f_1^e(EI)$	$f_2^e(LS)$	$f_3^e(KS)$
1997	0.80	0.22	1
1998	0.67	0.22	1
1999	1.00	0.22	1
2000	0.33	0.22	1
2001	0.68	0.22	1

Продовження додатку Е.2

Точка №17

Роки спостережень	$f_1^e(EI)$	$f_2^e(LS)$	$f_3^e(KS)$
1997	0.80	0.44	1
1998	0.67	0.44	1
1999	1.00	0.44	1
2000	0.33	0.44	1
2001	0.68	0.44	1

Точка №24

Роки спостережень	$f_1^e(EI)$	$f_2^e(LS)$	$f_3^e(KS)$
1997	0.80	0.31	0.93
1998	0.67	0.31	0.93
1999	1.00	0.31	0.93
2000	0.33	0.31	0.93
2001	0.68	0.31	0.93

Точка №24

Роки спостережень	$f_1^e(EI)$	$f_2^e(LS)$	$f_3^e(KS)$
1997	0.80	0.40	0.93
1998	0.67	0.40	0.93
1999	1.00	0.40	0.93
2000	0.33	0.40	0.93
2001	0.68	0.40	0.93

ГЛАВНАЯ ПРОГРАММА

```

DIMENSION X(512), XC(512), A1(10), A2(10), BWM(10), B(512), X1(512)
COMMON K7
READ(5,31) T,GRAD,KRAT, N, NU, MM, K2, K7, (BWM(1), I=1, K2)
GRAD=GRAD*3.14159/180.
NORD=N
NNU=N+NU
NNU2=N+NU*2
N1=NU+1
READ(5,29) (X(I), I=N1, NNU)
DO 80 I=1,NU
  X(I)=X(N1)
  K=I+NNU
80   X(K)=X(NNU)
     IF(K7-1) 82, 82, 83
82   PRINT 29, (X(I), I=N1, NNU)
83   N=NNU2
PRINT 30, T, GRAD, KRAT, NORD, NU, MM, K2, K7, (BWM(I), I=1, K2)
C   READ(5,29) (X(I), I=1,N)
C   PRINT 29) (X(I), I=1,N)
     NK=N
     DO 74 I=1, NK
74   B(I)=X(I)
C   NK=N
DO 78 I1=1, K2
BW=BWM(I1)
PRINT 32, T, NORD, MM, BW
CALL NFREQ(MM, T, BW, A1, A2, BZERO, M3)
CALL PTR(M3, X, XC,A1, A2, BZERO, N)
  DC 81 I=1, N
    K=N+1-I
    X(1)=XC(K)
CALL FTR(M3, X1, XC, A1, A2, BZERO, N)
N=N-NU*2
C   ПЕРЕНУМЕРАЦИЯ МАССИВА XC ПОСЛЕ ПЕРВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ
J=N1
J1=NNU
  DO 76 I=1, N
    X(I)=X(J)
    X1(I)=XC(J1)
    J1=J1-1
76   J=J+1
XMSCHT=1000./(2*KRAT*SIN(GRAD))
PRINTV 77, NU, XMSCHT
DO 73 I=1, N
73   X(I)=(X(I)-X1(I))*XMSCHT
30   FORMAT(' ', 2F8.4, 615/(15F8.4))
IF(K2-I1) 85, 86, 85
86   CALL PETCH3(X, N, XMSCHT)
     DO 79 I=1, N
       X1(I)=X(1)
       H=0.1*XMSCHT
       VMIN=-1.2*XMSCHT
       VMAX= 1.2*CO1* XMSCHT
CALL ENTR1 (X1, N, H, VMIN, VMAX, 1)
CALL AUT1 (X, N, T)
31   FORMAT(2F8.4, 615/(10F8.4))
29   FORMAT(10F8.3)
C   ПРИМЕНЕНИЕ ОКНА ХЕММИНГА К КОВАРИАЦИИ
NL=N-1
DO 1 I1=1, N
I=I I-1

```

Продовження додатку Ж

```
AD=0.54+0.46*COS(3.1416*I/NL)
1   X(I)=X(I)*AD
CALL FF1(X, XC, N, T)
DO 75 I=1, NK
75  X(I)=B(I)
N=NK
73  CONTINUE
32  FORMAT(' ', F8.4, 215, F8.4)
77  FORMAT(' '/10X,' ISX. И ФИЛЬТРОВ. МАССИВЫ УСЕЧЕНЫ НА',
*15,' ЧЛЕНОВ; =X= ИЗМЕРЯЕТСЯ В МИКРОНАХ, XMSCHT=', F10.4)
STOP
END
```

Продовження додатку Ж

```

                ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЕФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРАЦИИ
SUBROUTINE NFREQ (MK, T, BW, A1, A2, BZERO, M3)
DIMENSION A1(10), A2(10)
DOUBLE PRECISION A, B, C, D, E, F, G, H, FN, FACT, WEDGE, SECTOR, ANG
FACT=3.14159265*T*BW
FACT=DSIN(FACT)
F=1.0DC
M=MM
M1=IFIX(M/2.)
M3=M1
IF(M1.EQ.0) GOTO 10
M2=M
A=FLOAT(M2)
SECTOR=3.14159265 DO/A
WEDCE=SECTOR/2.DO
      DO 5 I=1, M1
      FN=I-1
      B=FACT*DSIN(FN*SECTOR+WEDGE)
      C=1.DO-FACT*FACT
      D=0.5DO*(-C+DSQRT(C*C+4.DO*B**2))
      B=DSQRT(D+1.DO)+DSQRT(D)
      C=2.DO*(2.DO*B*B/D)-1.DO/(E**2)
      H=-1.DO/(E**4)
      F=F*(1.DO-G-H)
      A1(I)=-G
      A2(I)=-H
5      CONTINUE
10     IT=M-2*M1
IF(IT.EQ.0) GOTO 15
M3=M1+1
A=FACT*FACT
G=2.DC*A+1.DO-2.DO*FACT*DSQRT(A+1.DO)
A1(M3)=-G
A2(M3)=0.
F=F*(1.DO-G)
15     A=FLOAT(M3)
BZERO=F**2(1.DO/A)
PRINT 20, (A1(I), A2(I), I=1, M3)
PRINT 21, M3, BZERO, BW
20     FORMAT(1X, 'ВЕСА ФИЛЬТРА', 15X, 'A1', 8X, 'A2'//(22X, 2F10.4))
21     FORMAT(/5X, 'M3=', 13, 5X, 'BO=', F8.4, 5X, 'ЧАСТОТА ОТСЕЧКИ BW=',
*F8.4)
RETURN
END

```

Продовження додатку Ж

```

                                ФИЛЬТРАЦИЯ
SUBROUTINE FTR(M3, X, XC, A1, A2, BZERO, N)
DIMENSION X(512), XC(512), A1(10), A2(10), YO(11), Y1(11)
COMMON_K7
MP=M3
DO 10 K=1, 11
YO(K)=0.
10   Y1(K)=0.
DO 70 L=1, N
YO(1)=X(L)
    DO 20 K=1, MP
    K1=K+1
    Y1=BZERO*YO(K)-A1(K)*YO(K1)-A2(K)*Y1(K1)
    Y1(K1)=YO(K1)
20   YO(K1)=Y1
70   XC(L)=Y1
IF(K7-1) 71, 72, 72
71   PRINT 29, N, MP, (XG(I), I=1, N)
72   COMNTINUE
29   FORMAT(1120X, 'ОТФИЛЬТРОВАННЫЙ МАССИВ'/20X, 'ЧИСЛО ЧЛЕНОВ N=',
*14/20X,
'ПОРЯДОК ФИЛЬТРА MM=', 13//(' ', 15F8.3))
RETURN
END

```

ЭНТРОПИЯ

```

SUBROUTINE ENTRI (VN, N, H, VMIN, VMAX, NENT)
DIMENSION VH(512), VH1(5), IS(5)
DIMENSION NP(512), EN(512)
IF (VMIN.NE.VMAX) GOTO 1
10705 CONTINUE
VMAX=0.0
VMIN=100000.0
DO 10710 I=1, N
VMAX=AMAX1(VMAX, VH(I))
10710 VMIN=AMIN1(VMIN, VH(I))
1      K=IFIX((VMAX-VMIN)/H+0.005)+1
PRINT 10742, VMIN, H, N, VMAX, K
M3=1
DO 10735 M=1, N
DO 10715 I=1, K
10715 NP(I)=0
EN(M)=0.
DO 10720 I=1, M
IR=IFIX((VH(I)-VMIN)/H+0.005)+1
10720 NP(IR)=NP(IR)+1
DO 10730 I=1, K
IF(NP(I).LE.0) GOTO 10730
A=NP(I)*1
A=A/M
EN(M)=EN(M)-A+ALOG(A)
10730 CONTINUE
10735 CONTINUE
PRINT 10740, NENT
DO 31 I=1, K
31      VH(I)=NP(I)/(FLOAT(M))
PRINT 30, (VH(I), I=1, K)
30      FORMAT(30F4.2/)
DO 32 I=1, N
32      VH(I)=EN(I)
10740 FORMAT(' ', 47X, 'ВАРИАНТ', 13)
10742 FORMAT(' ', 'МИНИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ=', F10.3, 12X)
*'ШИРИНА ИНТЕРВАЛА H=', F10.3, 12X, 'ЧИСЛО ДАННЫХ',
*=' ', 14/' ', 'МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ=', F10.3, 49X, 'ЧИСЛО ИНТЕРВАЛОВ=', 14)
PRINT 10750
10750 FORMAT (' ', 106(1H*))/' ', 'I', 5('НОМЕР I', 10X, 'I')/' ', 'I',
*E(9X, 'I', 'ЭНТРОПИЯ I')/' ', 'I', 5('ДАННОГО I', 10X, 'I')/' ', 106(1H*))
GOTO (10752, 10782), M3
10752 K=0
M1=1
J=1
10755 K=K+5
IF(K.LT.N) GOTO 10760
M1=2
K=N
10760 DO 10765 I=1,5
IS(1)=0
10765 VH1(I)=0.0
M2=0
DO 10770 I=J, K
IS(M2)=I
10770 VH1(M2)=EN(I)
PRINT 10775, IS(1), VH1(1), IS(2), VH1(2), IS(3), VH1(3), IS(4),
*VH1(4), IS(5), VH1(5)
10775 FORMAT(' ', 'I', 5(2X,I4, 3X, 'I', 1X, F8.3, 1X, 'I'))
10782 J=J+5

```

Продовження додатку Ж

```
GOTO (10755, 10785), M1
10785 PRINT 10788
10795 CONTINUE
PRINT 33, (VH(I), I=1, N)
33     FORMAT(' '(15F8.3))
10788 FORMAT(' ', 106(1H*))
22     FORMAT('ЗНАЧЕНИЕ IR ВЫХОДИТ ЗА ДОПУСТИМЫЕ', 218, 'I,IR')
23     FORMAT(2X, 1515)
RETURN
END
```


Продовження додатку Ж

```

                ОТБРАКОВКА. АВТОКОРРЕЛЯЦИЯ. ДИСПЕРСИЯ.
SUBROUTINE AUT1(XIN, NIN, T)
DIMENSION XIN(1024), AUD(512)
COMMON K7
5   SYY=0.
   SY=0.
   DO 100 I=1, NIN
100  SY=SY+XIN(I)
     SYS=SY/NIN
   DO 99 I=1, NIN
     XIN(I)=XIN(I)-SYS
99   SYY=SYY+XIN(I)**2
     IF(K7-1) 108, 109, 109
108  PRINT 104, (XIN(I), I=1, NIN)
109  SYYS=SYY/(NIN-1)
C     РЕДАКТИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПО ПРАВИЛУ 3*SIGMA
   SIG=SQRT(SYYS)
   SIG3=SIG*3.
     DO 2 I=1, NIN
       A=ABS(XIN(I))
       IF(A-SIG3) 2, 2, 3
3     C=ABS(XIN(I-1))-SIG
       B=XIN(I-1)
       IF(B) 6, 7, 7
6     XIN(I)=(-1.)*ABS(C)
       GOTO 8
7     XIN(I)=ABS(C)
8     PRINT 4, I, A, SIG3, SIG, XIN(I)
       GOTO 5
C
2   CONTINUE
     IF(K7-1) 106, 106, 107
106  PRINT 104, (XIN(I), I=1, NIN)
107  CONTINUE
4   FORMAT(' /'ОШИБКА В ИСХОДНЫХ ДАННЫХ', 15, '-ЫЙ ЭЛЕМЕНТ', F8.3, 'БОЛЬШЕ
   *SIGMA*3=', F8.3, 'SIGMA=' F8.3, 'НОВОЕ ЗНАЧ.', 'ЭЛЕМЕНТА=', F8.3)
C
C   ВЫЧИСЛЕНИЕ ЛАГА И КОВАРИАЦИИ 20 ПРОЦЕНТОВ, УЦ. ДЛИНЫ ПРОФ.
   NOT=IFIX(NIN/10.)
     NOT=NOT*2
     DLINA=0.
     DO 9 I=2, NIN
       A=(XIN(I)-XIN(I-1))
       A=A*A
       DL2=A+T*T
9     DLINA=DLINA+SQRT(DL2)
       UDL=DLINA/DLINA/(T*(NIN-1))
   PRINT 103, SYS, SYYS, SIG, UDL, NOT
   NOT=NOT+1
   DO 101 I=1, NOT
     SX=0.
     SY=0.
     SXY=0.
     L=NIN-I+1
     DO 102 J=1, L
       K=J+I-1
102  SXY=SXY+XIN(J)*XIN(K)
       A=L-1
101  AUD(I)=SXY/A
     PRINT 104, (AUD(I), I=1, NOT)
C   НУЛЕВОЙ СДВИГ I=1, L=NIN, J=1, NIN, K=1, NIN

```

Продовження додатку Ж

```
С   МАКСИМАЛЬНЫЙ СДВИГ I I=NOT, L=NIN-NOT+1, J=1, NIN-NOT+1
С   K=NOT NIN
    NIN=NOT
    DO 105 I=1, NOT
105  XIN(I)=AUD(I)
103  ФОРМАТ(/5X, 'СРЕДНЕЕ=', F8.3/5X, 'ДИСПЕРСИЯ=', F8.1, 9X,
    *'СТАНДАРТ=', F8.1, 'УД. ДЛИНЫ ПРОФИЛЯ=', F8.3/ 'ЛАГ=0, 1, ..., ', 14)
104  ФОРМАТ(/(' ', 10(1PE12.3)))
    RETURN
    END
```

Продовження додатку Ж

```

                ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ. РАСПЕЧАТКА МАССИВОВ.
SUBROUTINE FF1(X, XC, N, T)
DIMENSION X(1), XC(1)
COMMON K7
F=6.2831/N
N1=IFIX((N+1)/2.)
DO 20 I=1, N
  I2=I-1
  SUMC=0.
  DO 25 J=1, N
    J1=J-1
    ANG=F*J1*I2
25  SUMC=SUMC +X(J)+COS(ANG)
C    SUMC=SUMC*2.
20  XC(I)=SUMC*T*2
    IF(K7-1) 27, 27, 28
27  PRINT 31, (XC(I), I=1, N1)
C    ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
28  CONTINUE
    F=N+T
    DO 15 II=2, N1
      I=II-1
15  X(II)=P/I
      X(1)=9999.999
      PRINT 26, (X(I), I=1, N1)
        DO 17 I=1, N1
          I1=I-1
17  X(I)=I1/P
      PRINT 30, (X(I), I=1, N1)
      X(1)-XC(1)/P
        DO 100 I=2, N1
100  X(I)=X(I-1)+XC(I)/P
        PRINT 26, (X(I), I=1, N1)
      AN=X(N1)
        DO 101 I=1, N1
101  X(I)=X(I)/AN
      PRINT 29, AN, (X(I), I=1, N1)
        DO 32 I=1, N1
32  X(I)=XC(I)/(AN+P)
      PRINT 31, (X(I), I=1, N1)
26  FORMAT(' '/(' ',10(1PE12.3)))
29  FORMAT(' ', 1PE12.3/(10(1PE12.3)))
30  FORMAT(/(' ',15F8.4))
31  FORMAT(' '/(' ',10(1PE12.3)))
RETURN
END

```

ГРАФИК ПРОФИЛЯ

```

SUBROUTINE Y8VX(A, N, M, NGRID)

COMMON IVAR(10)
INTEGER CHAR(15)
DIMENSION A(101, 9), ABSCA(11), KAX IS(101), ORDIN(11), TEMPY(9)
DATA CHAR(1), CHAR(2), CHAR(3), CHAR(4), CHAR(5), CHAR(6), CHAR(7),
*CHAR(8), CHAR(9), CHAR(10), CHAR(11), CHAR(12), CHAR(13), CHAR(14),
*CHAR(15)/1H*, 1H0, 1H3, 1H4, 1H5, 1H6, 1H7, 1H8, 1H9, 1HA, 1HI, 1HU,
*1HY, 1HR, 1H/
DATA ISTAR, II, IRER, IDASH, IBLANK/1H+,1HI, 1H., 1H-, 1H/
100 FORMAT(////9X, 11(1PE10.2))
101 FORMAT(1PE13.2, 2X, 101A1)
102 FORMAT(15X, 101A1)
YMAX=A(1,2)
YMIN=A(1,2)
MP1=M+1
DO 4 J=2, MP1
DO 4 I=1, N
IF(YMAX-A(I,J))1, 2, 2
1 YMAX=A(I, J)
2 IF(YMIN-A(I, J))4, 4, 3
3 YMIN= A(I, J)
4 CONTINUE
5 YSHFT=YMIN*100.0/(YMAX-YMIN)
6 NM1=N-1
DO 8 I=1, NM1
IP1=I+1
DO 8 K=IP1, N
IF(A(K, 1)-A(I, 1)) 7, 8, 8
7 DO 88 J=1, MP1
ATEMP=A(I, J)
A(I, J)=A(K, J)
A(K, J)=ATEMP
88 CONTINUE
8 CONTINUE
XMIN=A(1, 1)
XMAX=A(N, 1)
ABSCA(1)=XMIN
ABSCA(11)=XMAX
CRDIN(1)=YMIN
CRDIN(11)=YMAX
DO 9 I=2, 10
Z=FLOAT(I-1)
ABSCA(I)=(XMAX-XMIN)*Z/10.0+XMIN
9 ORDIN(I)=(YMAX-YMIN)*Z/10.0+YMIN
PRINT 100, (ORDIN(J), J=1, 11)
STEPX=(XMAX-XMIN)/100.0
KDELX=1
KLINE=1
LINE=1
DO 26 IND=1, N
IF(NORID.EQ.0) GOTO 200
KSTEP=LINE
GOTO 201
200 KSTEP=(A(IND, 1)-XMIN)/STEPX+1.5
201 DO 10 J=2, MP1
10 TEMPY(J)=A(IND, J)*100.0/(YMAX-YMIN)-YSHFT
11 IF(KLINE-LINE) 12, 12, 18
12 DO 13 I=2, 100
13 KAXIS(I)
DO 14 I=1, 101, 10

```

```
14     KAXIS(I)=ISTAR
      IF(KSTEP-LINE) 15, 15, 17
15     DO 16 I=2, MP1
        K=TEMPY(I)+1.5
        MM=IVAR(I-1)
16     KAXIS(K)=CHAR(MM)
17     PRINT 101, ABSCA(KDELX), (KAXIS(J), J=1, 101)
      IF(NGRID.EQ.0) GOTO 202
      KLINE=KLINE+NGRID
      ABSCA(KDELX)=ABSCA(KLINE, 1)
      GOTO 24
202    KLINE=KLINE+10
      KDELX=KDELX+1
      GOTO 24
18     DO 19 I=2, 100
19     KAXIS(I)=IBLANK
      DO 20 I=1, 101, 10
20     KAXIS(I)=IPER
      IF(KSTEP-LINE) 21, 21, 23
21     DO 22 I=2, MP1
        K=TEMPY(I)+1.5
        MM=IVAR(I-1)
22     KAXIS(K)=CHAR(MM)
23     PRINT 102, (KAXIS(J), J=1, 101)
24     LINE=LINE+1
      IF(LINE-102) 25, 25, 27
25     IF(KSTEP-LINE) 26, 11, 11
26     CONTINUE
27     RETURN
      END
```

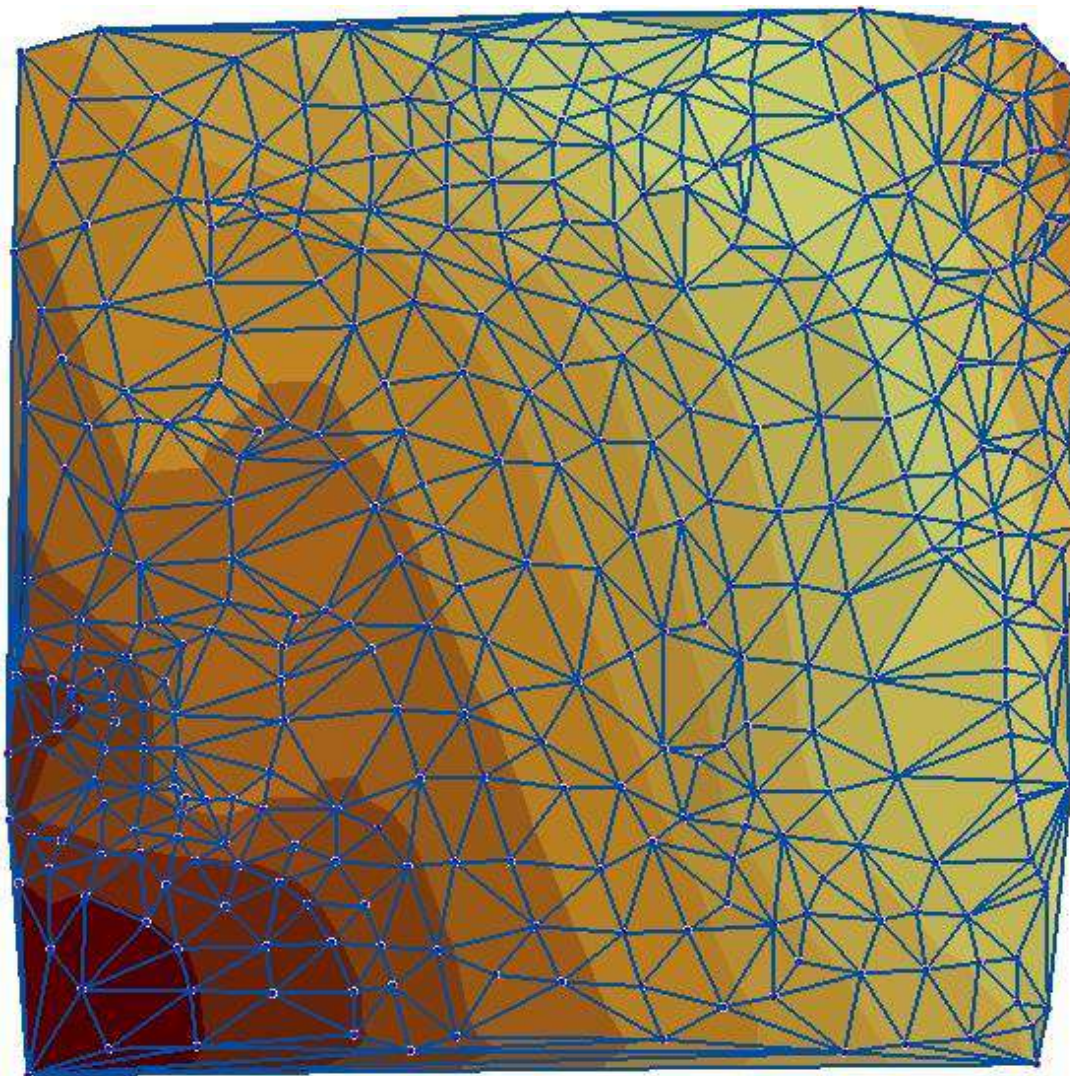


Рис.3.1 TIN-модель частини тестового полігону (Заборольська с.р. Луцького р-ну Волинської області).

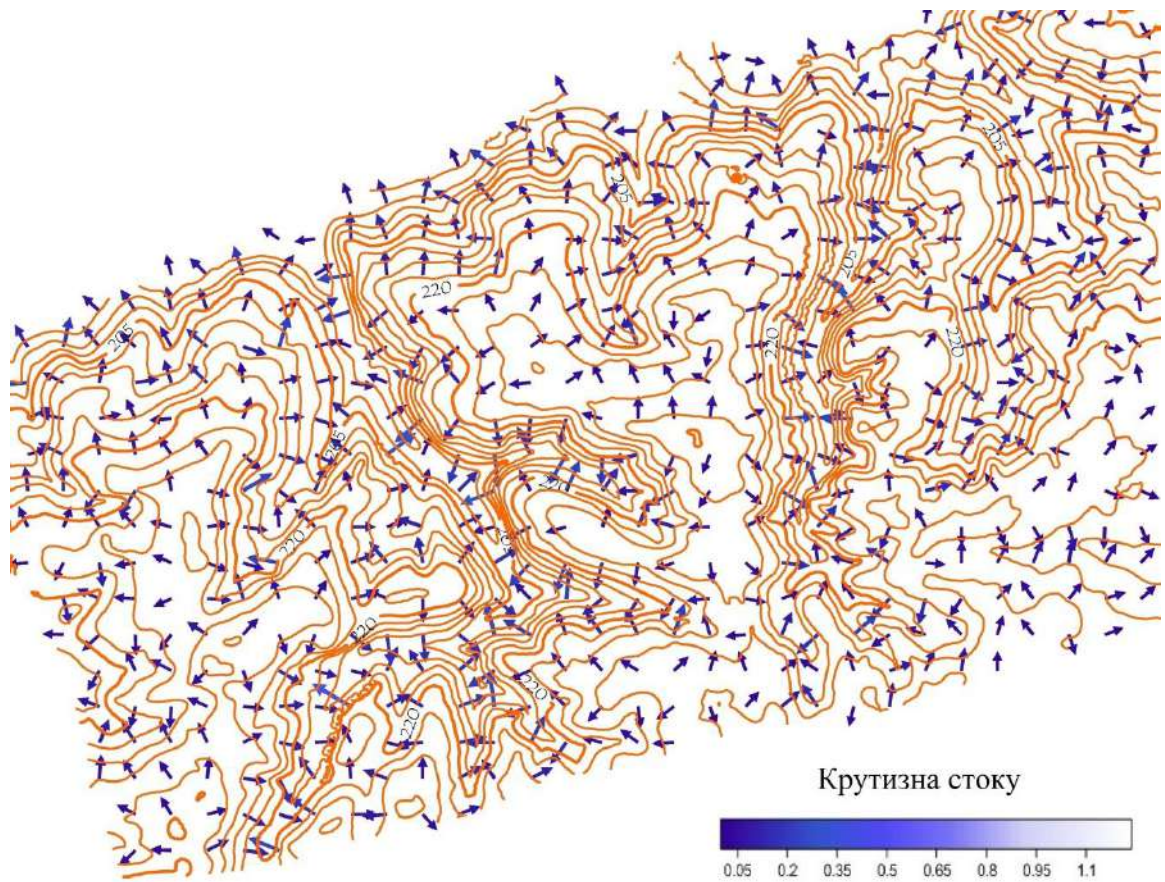


Рис. К.1. Векторна карта ліній стоку комплексного регіонального геостаціонару

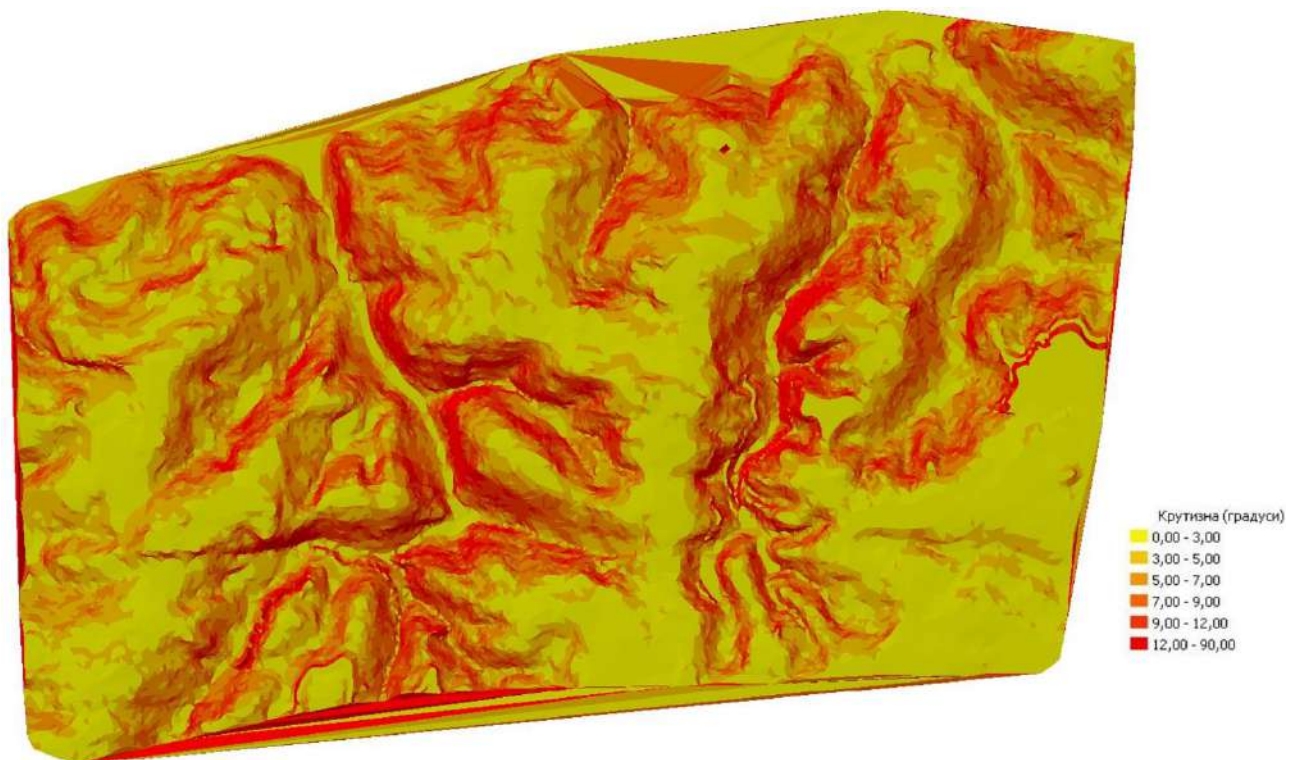


Рис. К.2. Картохема загальної крутизни схилів комплексного регіонального геостаціонару

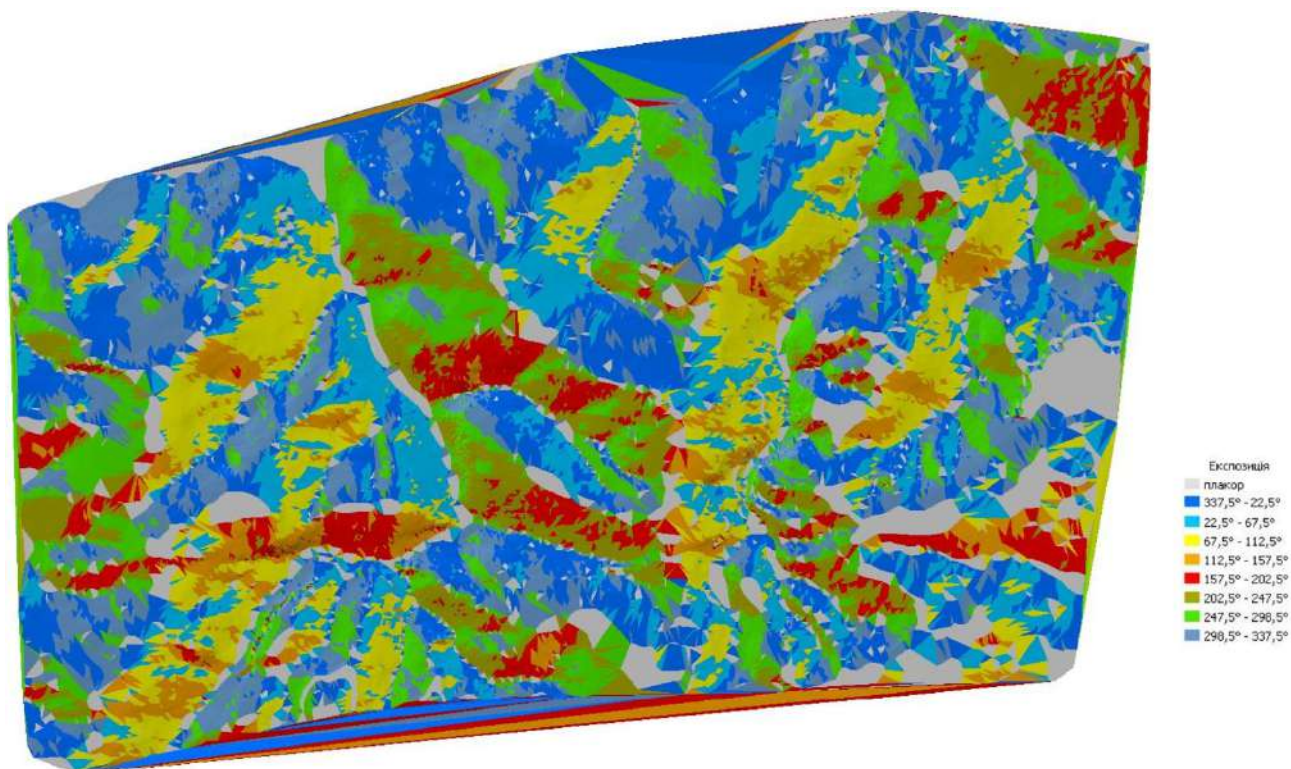


Рис. К.3. Картохема загальної експозиції схилів комплексного регіонального геостаціонару

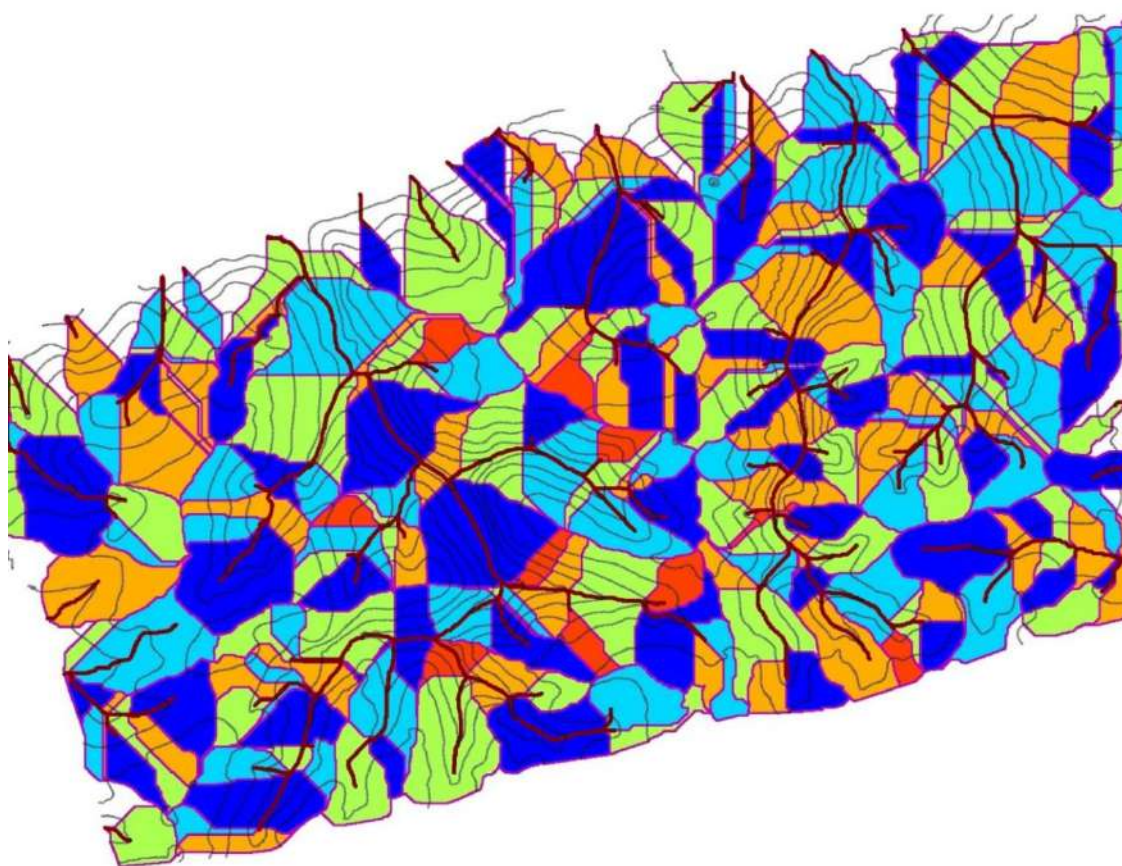


Рис. К.4. Картохема водозбірних басейнів комплексного регіонального геостаціонару орієнтованих за експозицією

Модулі та об'єми змиву ґрунту

№ зп	Назва адміністративного району	Фактичний модуль змиву ґрунту, т/га			Фактичний обсяг змиву ґрунту, тис.т/рік
		мінімальний	максимальний	середній	
1	Володимир-Волинський	13,1	25,4	21	170
2	Горохівський	15,2	25,3	23	504
3	Іваничівський	13,3	26,0	17	126
4	Ківерцівський	13,2	26,9	22	113
5	Локачинський	14,7	27,0	20	269
6	Луцький	14,2	23,6	21	429

Таблиця Л.2.

Загальна площа змитих орних ґрунтів, тис. га

№ зп	Назва адміністративного району	Змиті орні ґрунти	
		загальна площа, тис. га	% від загальної площі
1	Володимир-Волинський	12,5	17,4
2	Горохівський	31,2	35,2
3	Іваничівський	9,2	18,4
4	Ківерцівський	7,5	18,9
5	Локачинський	17,2	32,3
6	Луцький	26,6	31,9

Таблиця Л.3.

Характеристика дефляційно-небезпечних сільськогосподарських угідь

№ зп	Назва адміністративного району	Дефляційно-небезпечні сільськогосподарські угіддя							
		Разом		у тому числі:					
		тис. га	% від загальної площі	слабозмиті		середньозмиті		сильнозмиті	
				тис. га	% від загальної площі	тис. га	% від загальної площі	тис. га	% від загальної площі
1	Володимир-Волинський	16,4	22,8	2,5	3,5	13,4	18,6	0,5	0,7
2	Горохівський	7,2	8,1	3,8	4,3	3,1	3,6	0,3	0,3
3	Іваничівський	4,6	9,2	2,0	4,0	2,5	5,0	0,1	0,2
4	Ківерцівський	11,9	17,4	2,4	3,5	8,6	12,6	0,9	1,3
5	Локачинський	7,8	14,6	3,3	6,2	3,9	7,3	0,6	1,1
6	Луцький	6,7	8,6	4,1	4,9	2,5	3,0	0,1	0,1

Таблиця Л.4.

Сільськогосподарська освоєність та розорюваність території

№ зп	Назва адміністративного району	на 2010 рік			на 2000 рік		
		с/г освоєність території, %	розорюваність території, %	розорюваність с/г угідь, %	с/г освоєність території, %	розорюваність території, %	розорюваність с/г угідь, %
1	Володимир-Волинський	64,8	45,8	70,8	66,3	48,6	73,3
2	Горохівський	73,9	56,8	77,3	76,6	63,8	63,3
3	Іваничівський	75,4	65,5	76,8	74,6	56,9	79,0
4	Ківерцівський	46,1	27,7	60,1	46,9	30,0	63,9
5	Локачинський	69,0	52,5	96,1	72,2	58,8	81,4
6	Луцький	77,1	58,7	76,1	79,5	65,3	82,2

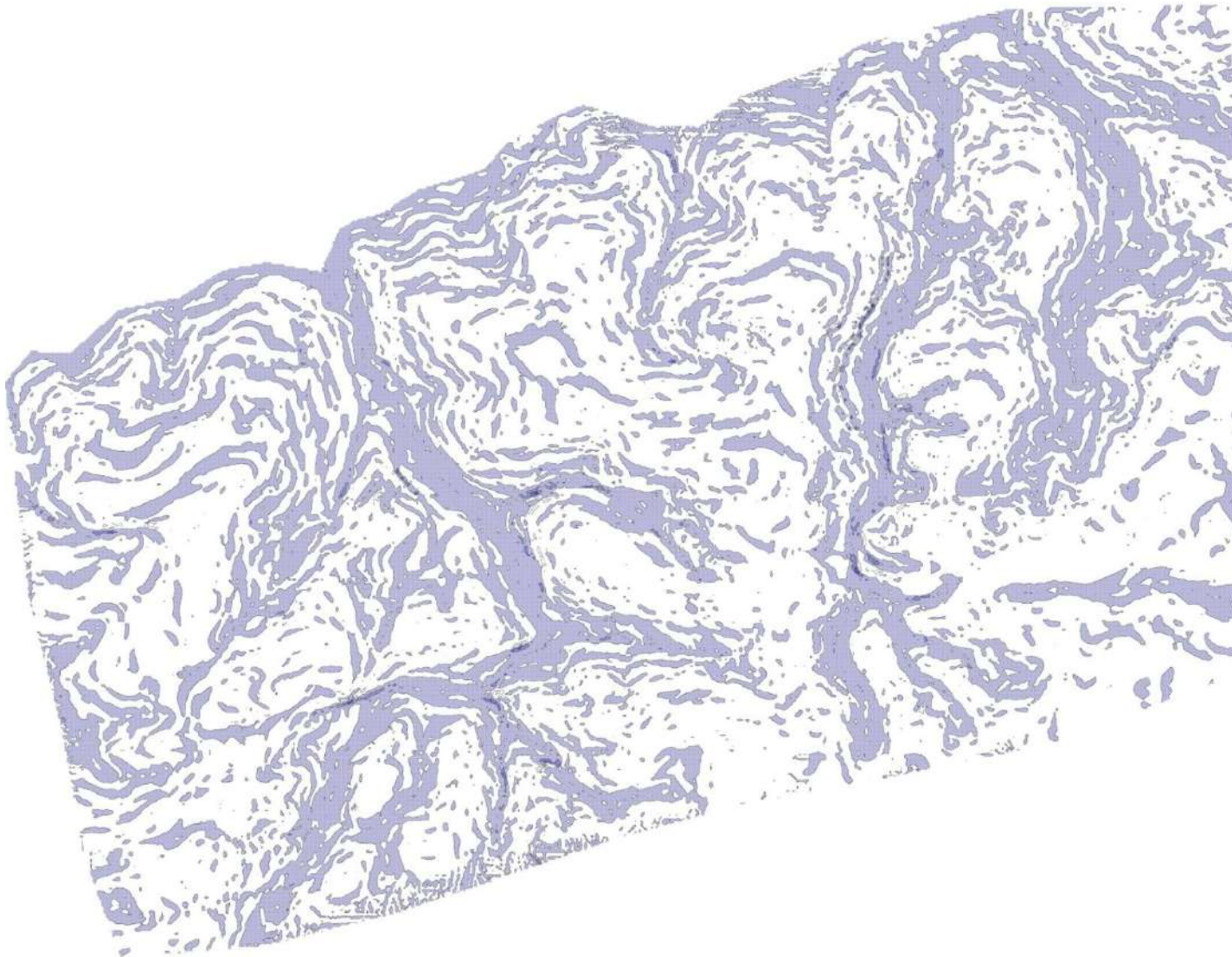


Рис. М.1. Картохема лінійної пластики рельєфу комплексного регіонального геостаціонару (вертикальний профіль)



Рис. М.2. Картохема лінійної пластики рельєфу комплексного регіонального геостаціонару (горизонтальний профіль)

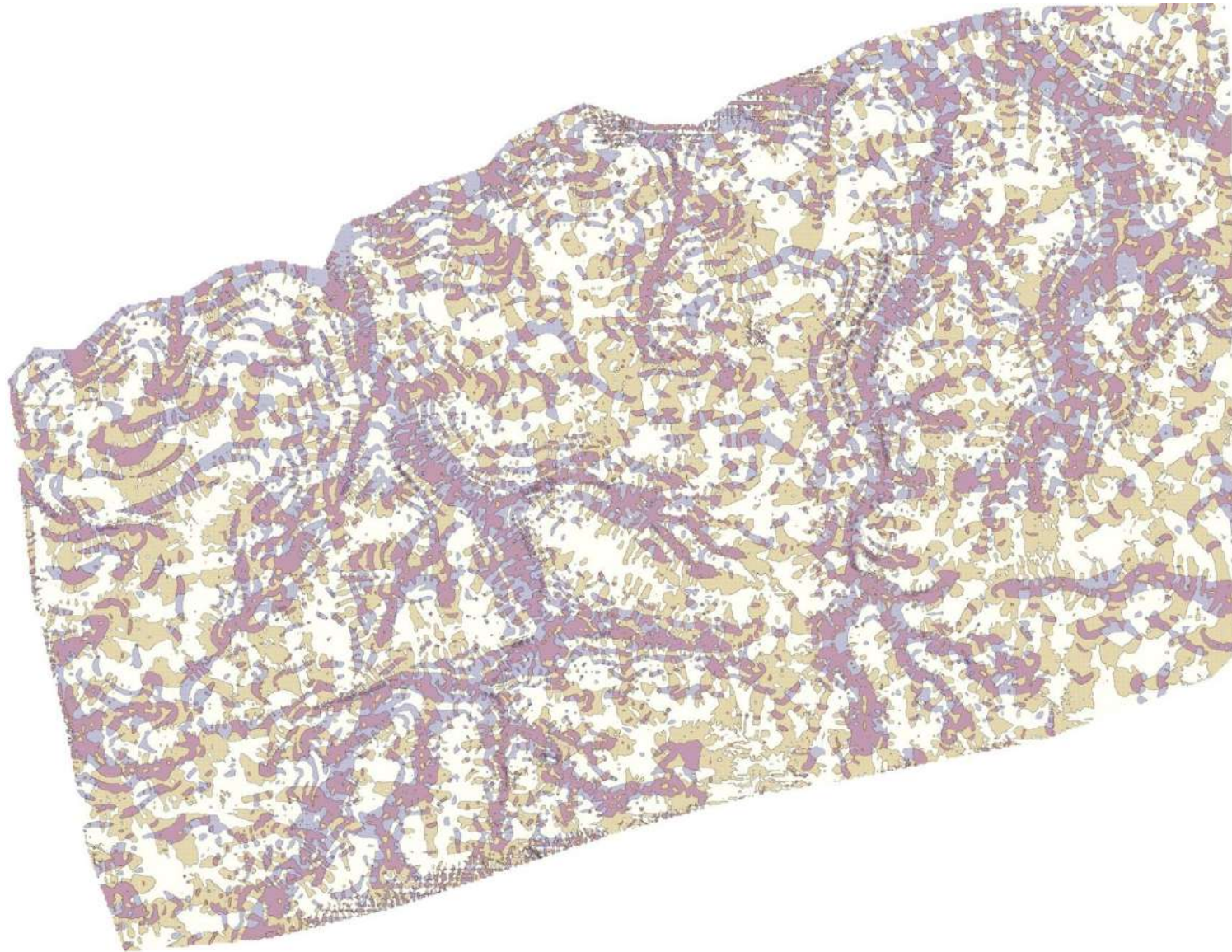


Рис. М.3. Оверлей карт лінійної пластики рельєфу комплексного регіонального геостаціонару

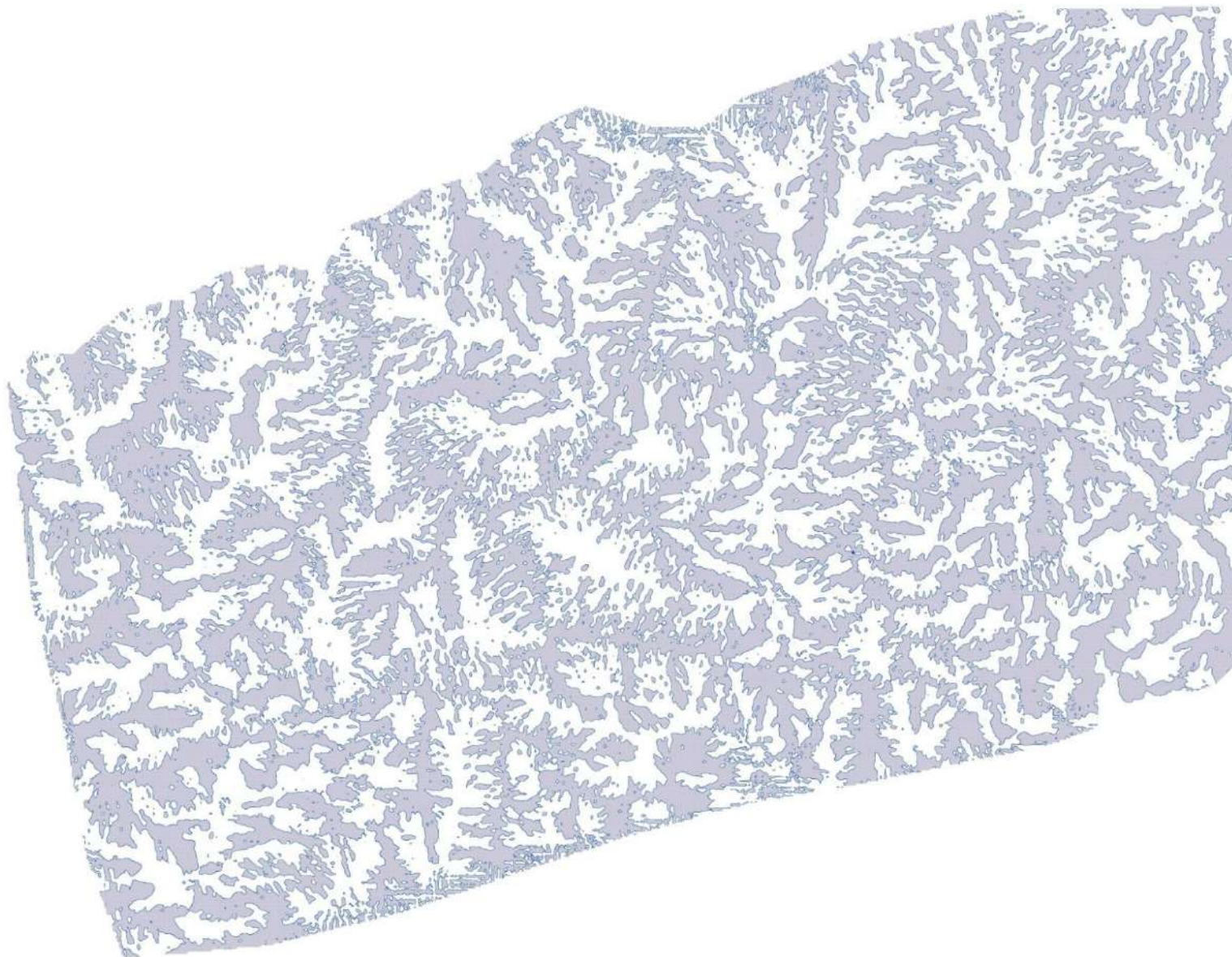


Рис. М.4. Картосхема пластики рельєфу комплексного регіонального геостаціонару

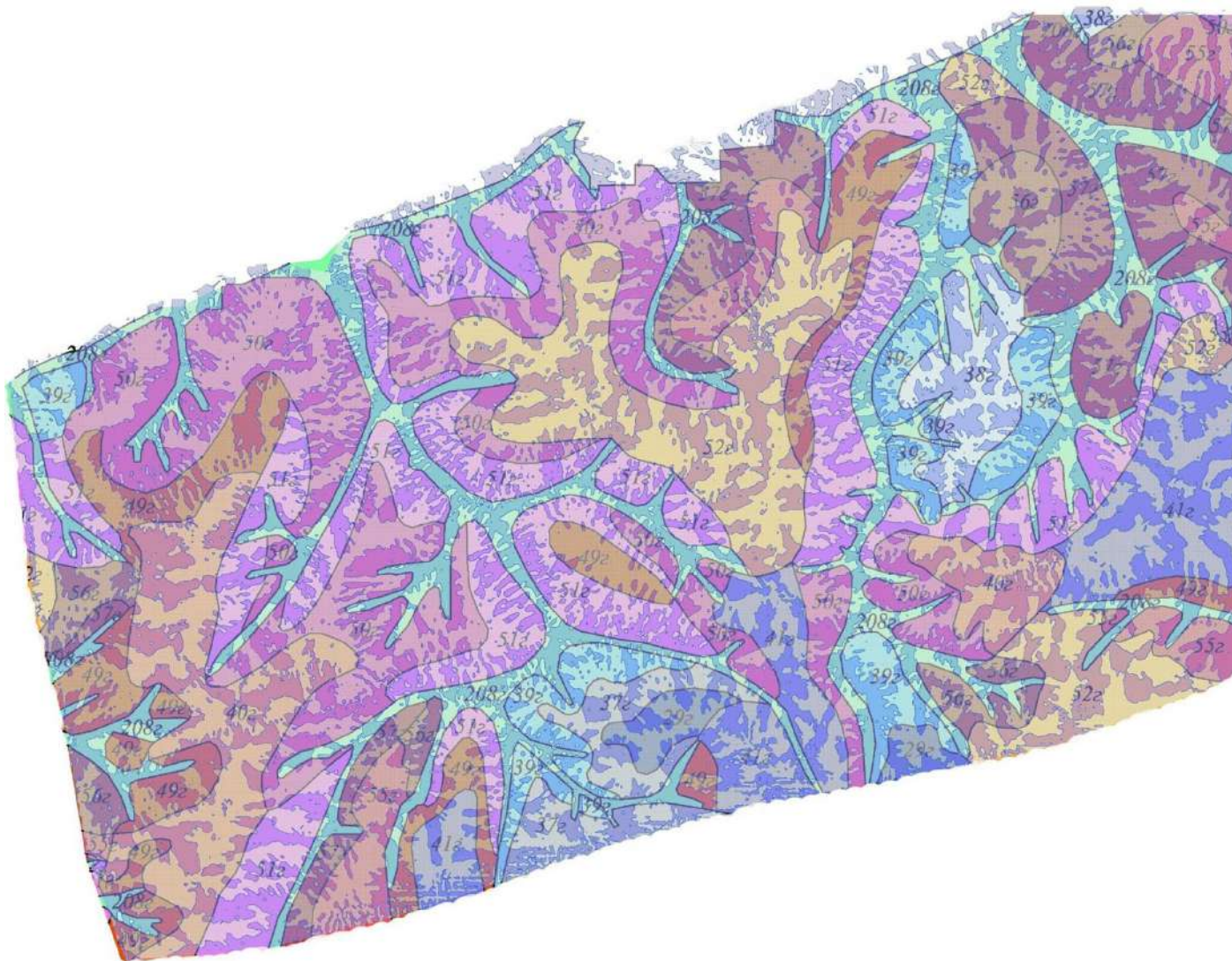


Рис. М.5. Оверлей ґрунтової карти і карти пластики рельєфу типової ділянки комплексного регіонального геостаціонарну

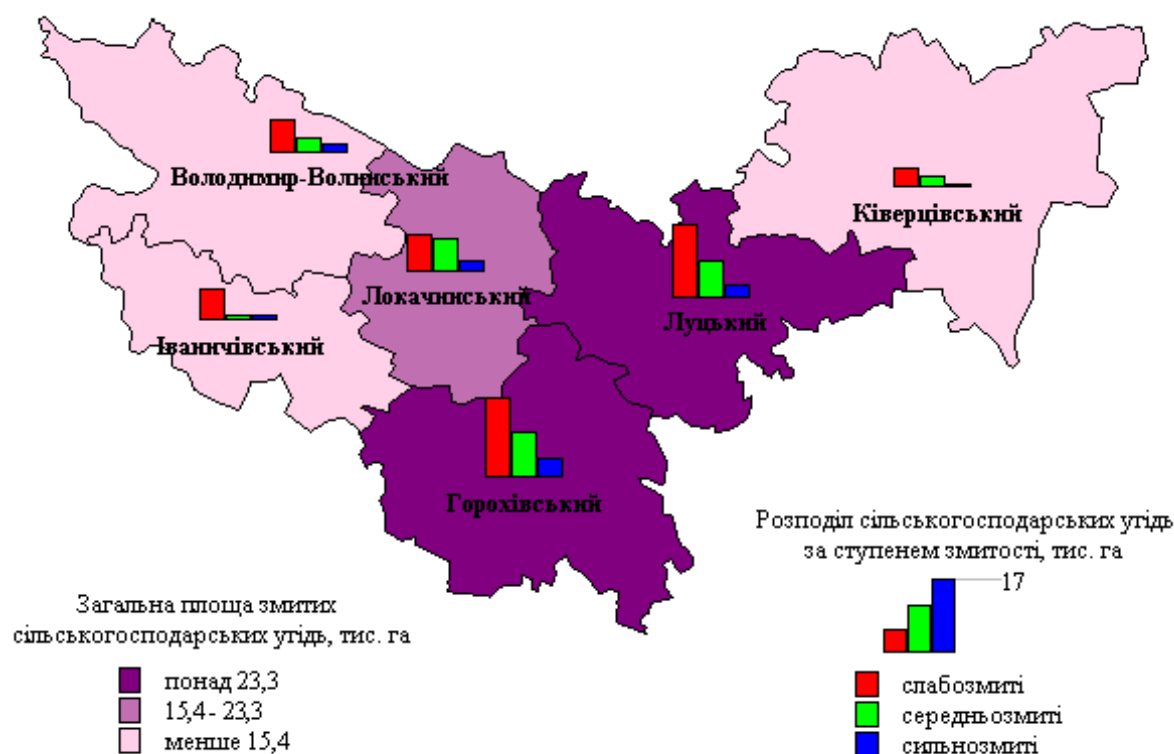


Рис. Н.1. Характеристика сільськогосподарських угідь за ступенем змитості (в розрізі адміністративних районів)

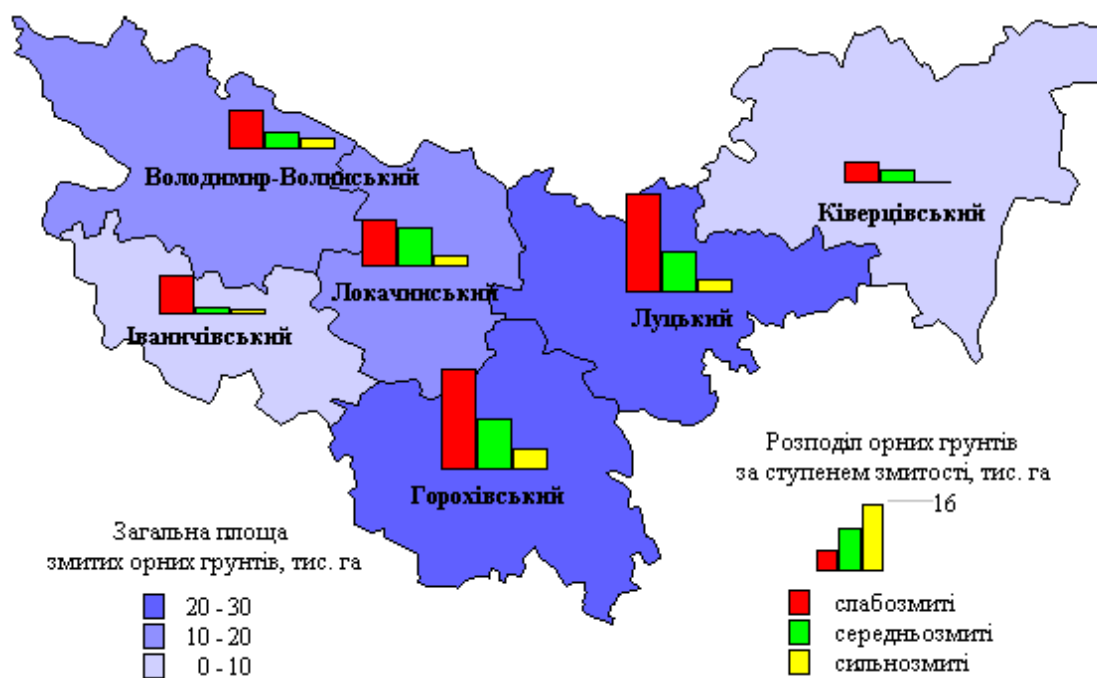


Рис. Н.2. Характеристика ріллі за ступенем змитості (в розрізі адміністративних районів)

Продовження додатку Н

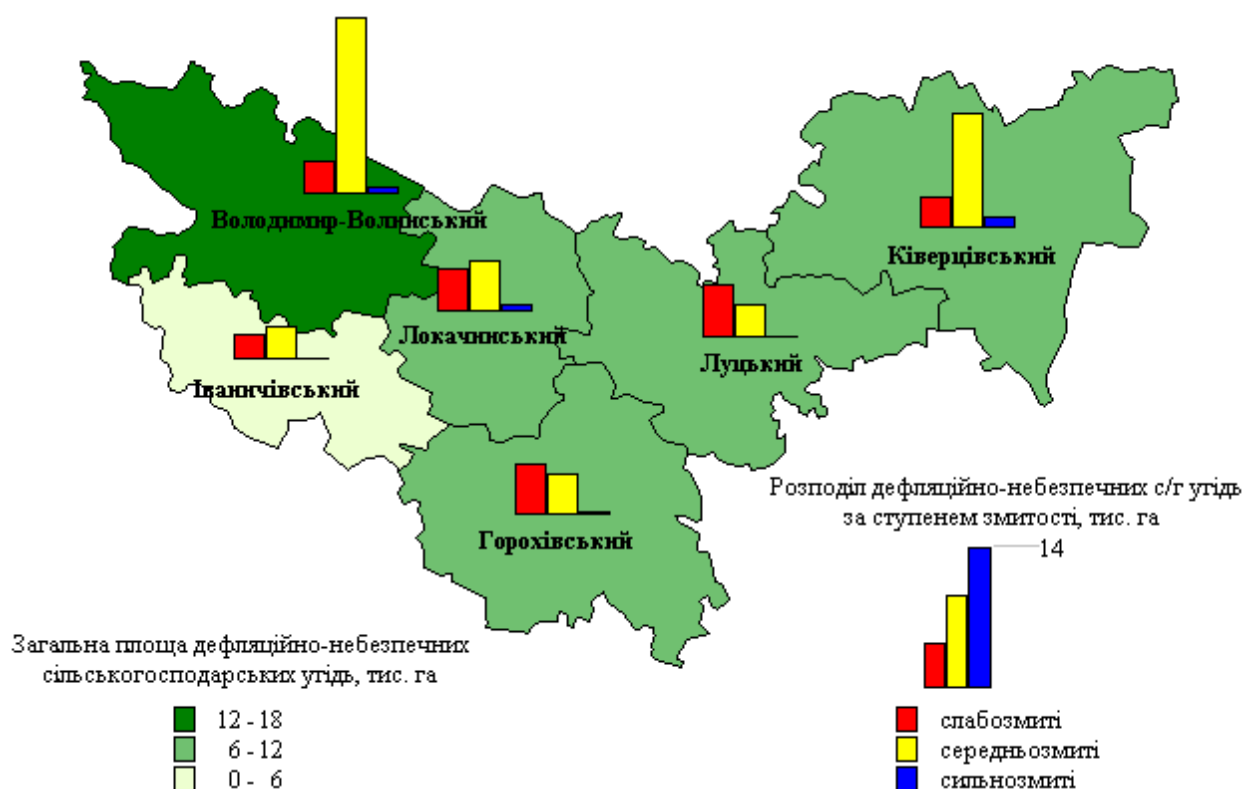


Рис. Н.3. Характеристика дефляційно-небезпечних сільськогосподарських угідь за ступенем змитості (в розрізі адміністративних районів)

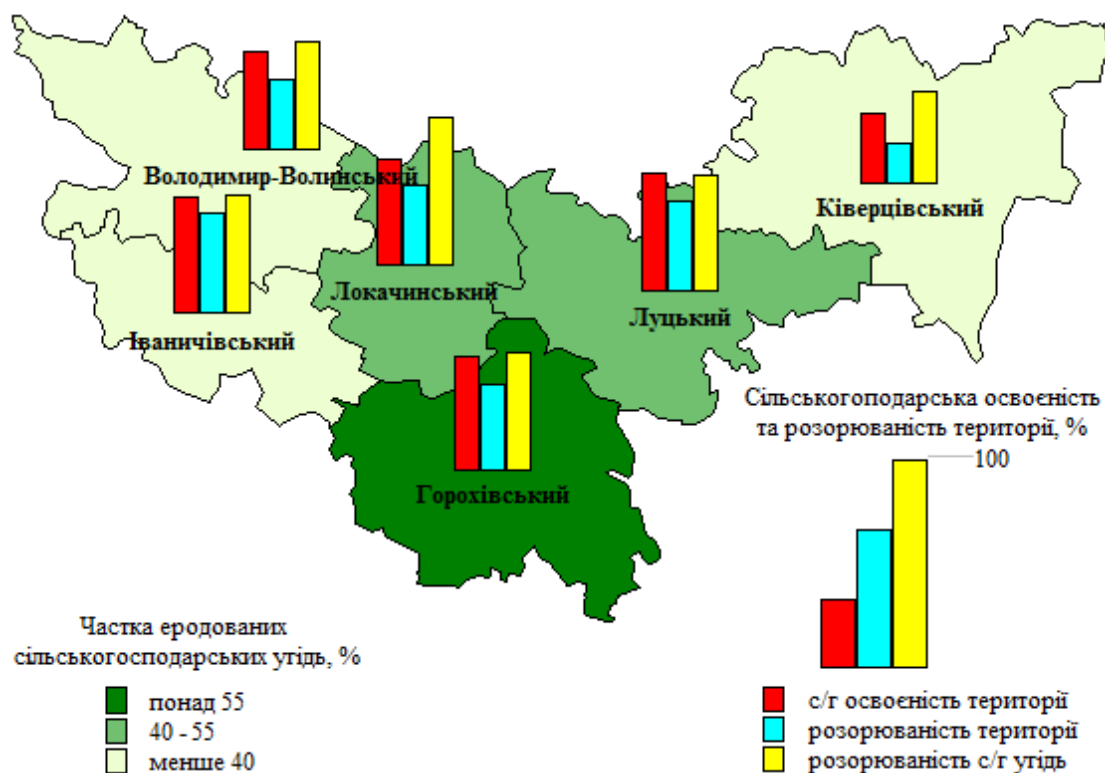


Рис. Н.4. Сільськогосподарська освоєність та розорюваність території (в розрізі адміністративних районів)

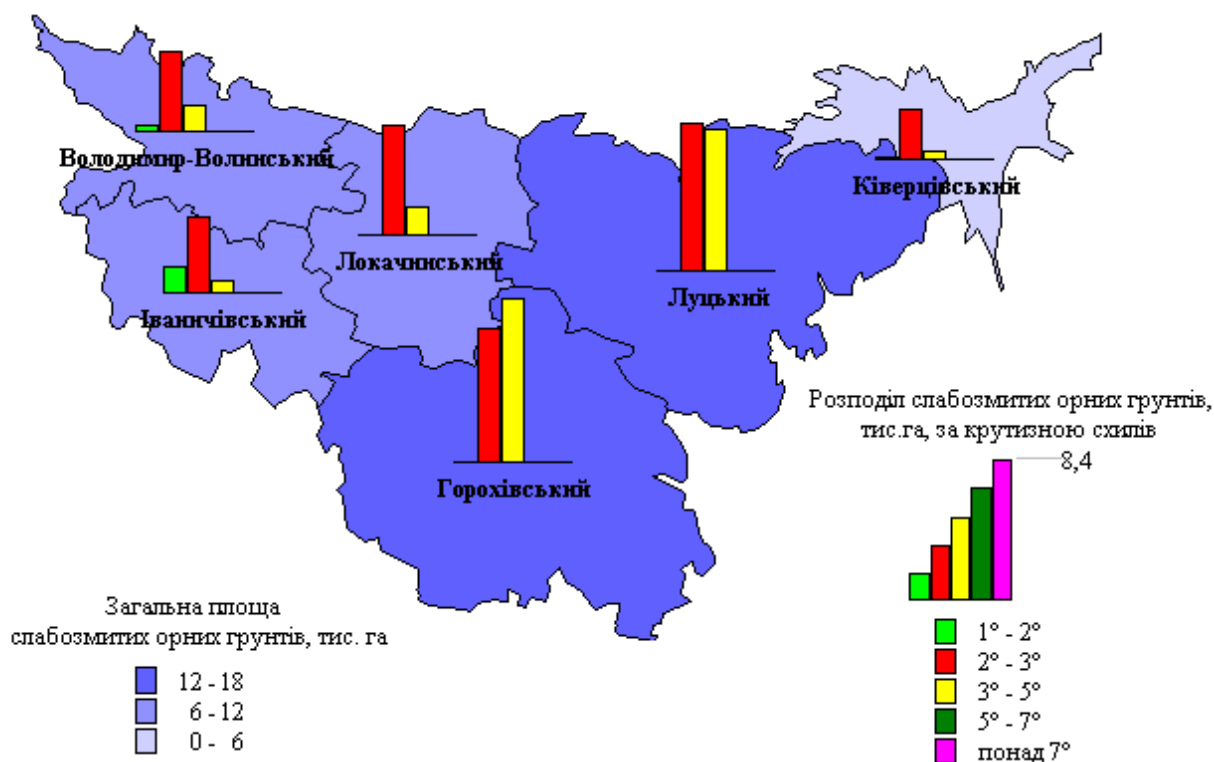


Рис. Н.5. Анаморфована карта площ слабозмитих орних ґрунтів (в розрізі адміністративних районів)

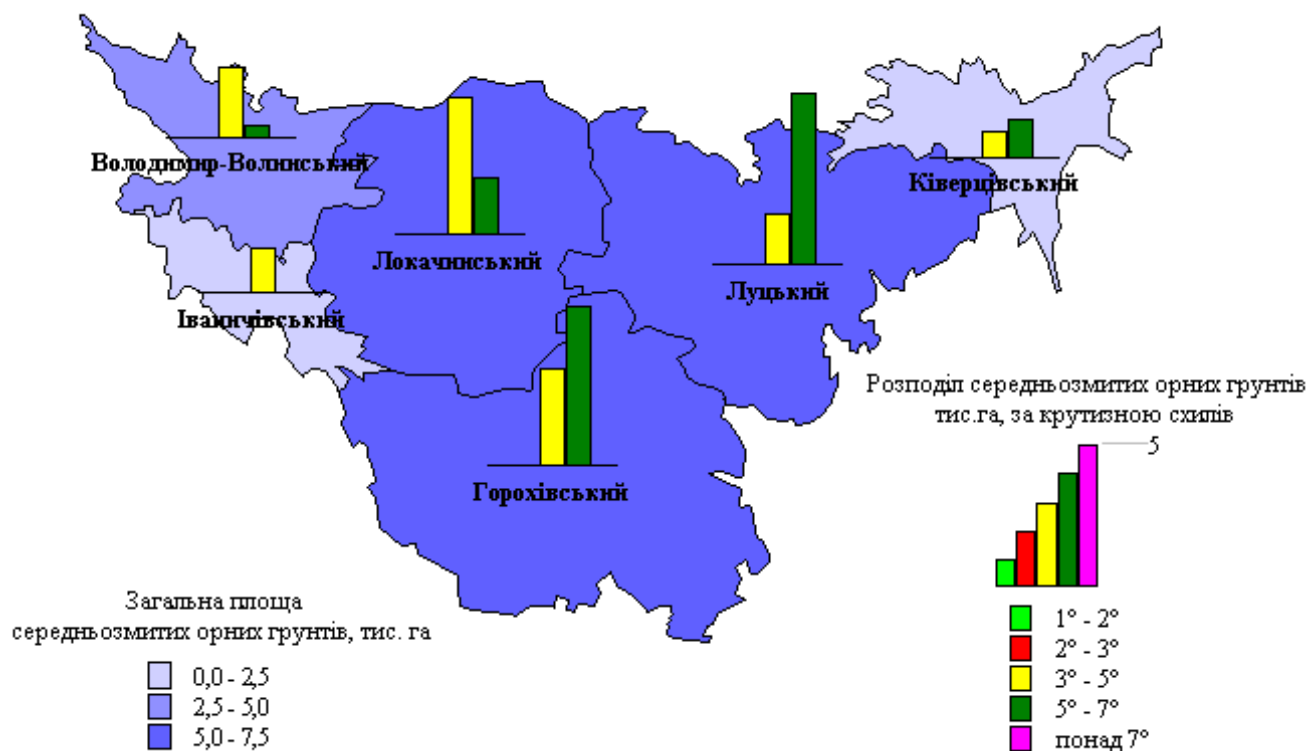
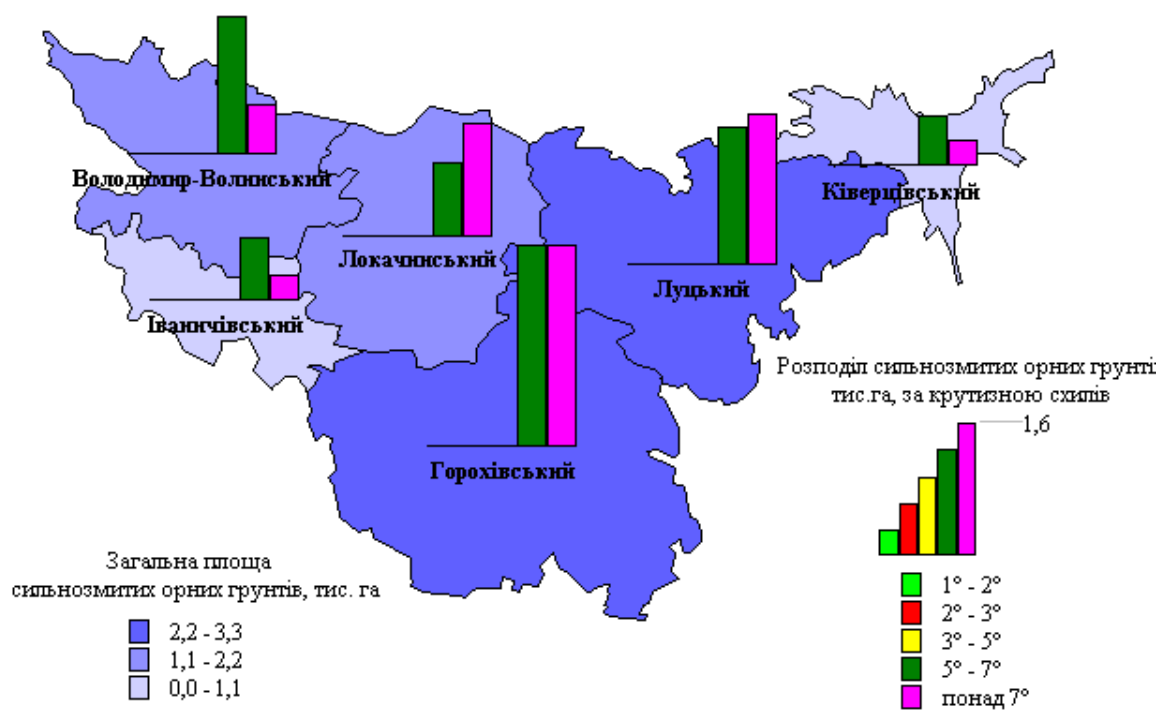


Рис. Н.6. Анаморфована карта площ середньозмитих орних ґрунтів (в розрізі адміністративних районів)



*Рис. Н.7. Анаморфована карта площ сильнозмитих орних ґрунтів
(в розрізі адміністративних районів)*