

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМ.ІВАНА ФРАНКА**

На правах рукопису

**НЕТРОБЧУК ІРИНА МАРКІВНА**

**КАРТОГРАФО-ФОТОГРАММЕТРИЧНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОЩИННОЇ ЕРОЗІЇ  
(на прикладі Волинської височини)**

Спеціальність: 11.00.04 – геоморфологія і палеогеографія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата географічних наук

Львів – 1997



00751044 (L)

Дисертацією є рукопис.  
Робота виконана на кафедрі раціонального природокористування і  
охорони природи Волинського державного університету ім. Лесі  
Українки

Науковий керівник: Заслужений працівник народної освіти України,  
доктор технічних наук, професор В.М.МЕЛЬНИК

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
І.Г.Черваньов  
кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент  
А.Б.Богуцький

Провідна організація: Українська державна академія водного  
господарства (м.Рівне)

Захист відбудеться "24" вересня 1997 року о 15<sup>00</sup> год. на засіданні  
спеціалізованої вченої ради К.04.04.14 з географічних наук у  
Львівському державному університеті ім. І.Франка (290000, м.Львів,  
вул.Дорошенка, 41)

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці  
Львівського державного університету ім.І.Франка (290000, м.Львів,  
вул.Драгоманова, 5)

Автореферат розіслано 20 вересня 1997 р.

Секретар спеціалізованої ради

Я.Б.Хомин

**Актуальність теми.** Успішно захистити ґрунт від водної ерозії, яка на Волинській височині має високі темпи, можна через застосування комплексу спеціальних організаційно-господарських, агротехнічних, меліоративних і гідротехнічних заходів на основі всебічного вивчення причин, факторів та механізмів розвитку ерозійних процесів для конкретних природних та господарських умов.

Важливу роль при цьому набуває картографування ерозійно-небезпечних земель. Внаслідок значної просторової диференціації змиву, яка в значній мірі обумовлюється територіальною варіабельністю ерозійного потенціалу рельєфу і мікроструктурними особливостями ґрунтів, картографічна оцінка повинна бути зроблена особливо ретельно, що можливе лише із застосуванням інтегративного методу досліджень на мікро, мезо- та макрорівнях. Такий підхід повинен базуватися на використанні растрової електронної мікроскопії як надзвичайно багатобічного методу у мікроструктурних дослідженнях ґрунтів, фотограмметричної оцінки ерозії в межах ділянок, співрозмірних за площею зі стокними через застосування фотограмметричних цифрових камер, що дозволить отримувати необхідну (безпосередньо в польових умовах) інформацію про змив в режимі реального часу. Основою макрорівня досліджень повинні бути цифрові моделі рельєфу місцевості та методи автоматизованого картографування як передові технології сучасної науки.

Розв'язання цих питань разом із вдосконаленням математичних моделей змиву є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить перейти в подальшому до коректно обґрунтованої системи моніторингу землекористування.

**Мета дослідження** – оцінка стану еродованості ґрунтового покриву Волинської височини, встановлення закономірностей і географічного розподілу цього показника та інтенсивності розвитку ерозійних процесів, розробка теоретичних і практичних засад картографо-фотограмметричного моделювання площинної ерозії. Реалізація поставленої мети передбачає розв'язання спектру завдань:

- визначення ролі площинної ерозії в процесах деградації ґрунтового покриву та модифікації рельєфу в умовах Волинської височини;
- оцінка ролі різних чинників, якими обумовлюються ерозійні процеси лісостепової зони Волині;
- розробка методики кількісної оцінки морфометричних і геометричних параметрів мікроструктури ґрунту за допомогою растрової електронної мікроскопії;
- встановлення кореляційних залежностей основних властивостей ґрунту від параметрів порового простору;
- теоретико-експериментальне обґрунтування застосування в ерозіознавстві методів короткобазисної фотограмметрії з використанням неметричних фотокамер;

– алгоритмізація побудови цифрових моделей рельєфу методом “триангулятора” та математичне моделювання ерозійно-площинної ерозії на основі R-функцій;

– розробка загальних принципів і структури програмного забезпечення для автоматизованого картографування ерозійнонебезпечних земель.

**Об’єкт дослідження** – Волинська височина.

**Методологія і методика досліджень.** Методологічною основою картографо-фотограмметричних досліджень площинної ерозії послужив просторово-часовий аналіз з використанням порівняльно-географічного, картографічного та математико-статистичного методів досліджень.

В прикладних дослідженнях (мікроскопічних, фотограмметричних та картографічних) використовувалося математичне та фізичне моделювання, основні положення фотограмметрії, елементи теорії ймовірності та цифрового моделювання. Для обґрунтування та перевірки окремих положень дисертації використовувались опубліковані та фондові дані гідрометеослужби м.Луцька, Укрземпроєкту, Поліської філії ПІА ім.О.Н.Соколовського, літературні та архівні матеріали.

**Наукова новизна роботи.**

– виявлена географія ерозійних процесів Волинської височини, інтенсивність та тенденція їх розвитку;

– методами растрової електронної мікроскопії досліджена мікроструктурна будова основних типів ґрунтів Волині, показаний її вплив на розвиток ерозійних процесів;

– методами кількісної стереологічної інтерпретації РЕМ-зображень отримана оцінка морфометричних і геометричних показників мікрморфології зразків ґрунту;

– із застосуванням РЕМ-стереознімків і прикладного спектрального аналізу розроблена оригінальна методика оцінки на мікрорівні просторової організації мікрорельєфу ґрунту, її зв’язку з потенціалом ерозії;

– розроблені засади практичного застосування в ерозіознавстві короткобазисної фотограмметрії;

– запропоновано новий алгоритм побудови цифрової моделі рельєфу на базі хвильового методу триангулювання і поліноміальної апроксимації;

– модифікована LS-модель змиву з врахуванням сукупного впливу факторів на основі R-функцій.

**Основні положення, що виносяться на захист:**

– закономірності поширення, інтенсивності розвитку площинної ерозії в межах Волинської височини, які полягають в домінуванні зливової складової площинної ерозії сільськогосподарських угідь, висотно-смуговій диференціації інтенсивності площинного змиву, спеціальному поєднанні ареалів, значній просторово-часовій варіабельності інтенсивності змиву зумовленій як природними (режим опадів і стоку), так і антропогенними (землеробство) чинниками;

– зміст та принципи стереолого-стереометричної інтерпретації растрово-електронномікроскопічної інформації, підходи до оцінки на мікрорівні ролі чинника протиерозійної стійкості ґрунтів у розвитку змиву;

– в практиці облікових методів оцінки площинного змиву до останнього часу обділеною увагою залишалась короткобазисна фотограмметрія. Активізація досліджень за допомогою цього методу дозволить визначати площинний змив в режимі реального часу;

– алгоритм картографо-фотограмметричного моделювання площинної ерозії, суть якого зводиться до інтеграції мікро- мезо- та макрорівнях.

**Практична цінність роботи.** Виконаний в дисертації аналіз площинної ерозії в межах Волинської височини може стати основою для проектування системи ґрунтозахисних заходів та конструювання ґрунтозахисних агроландшафтів, орієнтованих на забезпечення більш ефективного використання ґрунтів та екологічно безпечне ведення землеробства. З допомогою методу МКФ можна добитись суттєвого здешевлення проведення польових стаціонарних спостережень. Практичне значення результатів мікроструктурних досліджень з допомогою РЕМ полягає в можливості їх використання при районуванні територій за ознаками протиерозійної стійкості. Розроблені алгоритми картографо-фотограмметричного моделювання площинної ерозії реалізовано у вигляді прикладних програм для ПЕОМ типу IBM, що забезпечує автоматизацію і можливість успішного їх використання в регіональній системі ведення моніторингу земель, при створенні автоматизованих робочих місць агронома (фермера).

Результати проведених досліджень знайшли практичне застосування під час розробки загальнофакультетської теми “Природні ресурси Волині, їх раціональне використання та охорона”, при виконанні договорів про творчу співпрацю з Управлінням земельних ресурсів Волинської області. Отримані матеріали використовуються в навчальному процесі Волинського державного університету (м.Луцьк) при читанні курсів з основ ґрунтознавства та ерозіознавства.

**Вклад автора в реалізацію роботи.** Автор безпосередньо брав участь у розробці програм та методик проведення польових і лабораторних досліджень, теоретичному та експериментальному обґрунтуванні проблеми, зборі фактичних даних. Внесок дисертанта в отриманні експериментальних даних, які опубліковані в співавторстві, становить 50-60%.

**Апробація роботи.** Головні положення дисертації були апробовані на 12 конференціях, зокрема: на наукових конференціях та семінарах професорсько-викладацького складу ВДУ (Луцьк, 1993-1997); VIII та XIX Міжвузівських координаційних нарадах з проблеми ерозійних, руслових і гирлових процесів (Вороніж, 1993, Брянськ, 1994); конференції “Екологія Полісся”: проблеми, сучасність, майбутнє (Харків-Луцьк, 1993); VII з’їзді Українського Географічного Товариства (Київ, 1995); Міжнародній науково-практичній конференції “Стійкий розвиток: забруднення навколишнь-

ого середовища та екологічна небезпека” (Дніпропетровськ, 1995); 1-й Міжнародній науково-практичній конференції “Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології і перспективи розвитку” (Львів, 1997); науково-практичній конференції “Екологія, водне господарство та проблеми водних ресурсів Західного регіону України (Луцьк, 1997).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 15 праць.

**Структура та обсяг дисертації.** Робота складається з вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури з 207 позицій (з них 27 - латиницею), 9 додатків. Загальний обсяг дисертації – 140 сторінок. В дисертації 44 рисунки, 20 таблиць. В додатках 41 ілюстрація.

### **Зміст роботи**

**У вступі** обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, визначено мету й завдання, наукову новизну та практичне значення досліджень.

**В першому розділі** розглянуті науково-методичні засади експериментальних та фотограмметричних досліджень площинної ерозії, враховуючи геолого-геоморфологічні чинники та природно-кліматичні умови об'єкту досліджень – Волинської височини. Водна ерозія - складний і безперервний геоморфологічний процес, можливість виникнення, характер та інтенсивність розвитку якого залежить від спектру передумов та чинників. В цьому контексті більшість дослідників (Заславский, 1983; Толчельников, 1990) виділяють дві основні групи факторів ерозійних процесів - природно-географічні та соціально-економічні.

З аналізу умов і чинників розвитку площинної ерозії можна зробити висновок, що найважливішим з них є рельєф місцевості – розміри та форми нерівностей, крутизна і довжина схилів, їх форма та експозиція. Водночас, ефективний захист ґрунтів від ерозії може бути організований насамперед на основі знання показників, що характеризують протиерозійну стійкість ґрунту. Очевидно також, що визначення параметрів ерозійного потенціалу рельєфу можливе лише на основі кількісного аналізу рельєфу, зокрема, за допомогою картографо-геоморфологічних методів досліджень.

Інтенсивність прояву площинної ерозії буває нормальною та екстремальною. При нормальній ерозії змив ґрунту зі схилів не перевищує темп ґрунтоутворення, при прискореній - перевищує, що веде до зниження родючості ґрунтів. Для певних типів ґрунтів і при різному їх використанні допустима норма ерозії (ДНЕ) істотно відмінна, про що свідчать дослідження Г.Конке, А.Бертран (1962), М.Бельгибаєва і М.Долгилевича (1970), М.Ганжари і Л.Ганжари (1973), М.Заславського (1983) та інших вчених.

Для встановлення закономірностей просторово-часової динаміки процесів площинної ерозії та її наслідків (еродованості ріллі та сільськогосподарських угідь) нами проаналізовані різні методи досліджень площинної ерозії, зокрема С.Соболева (1948), М.Заславського (1983),

Л.Китаєвої (1983), М.Шикולי, О.Рожкова, П.Трегубова (1973), Г.Швебса (1981), С.Чорного (1996,1997).

Еродованість ґрунтового покриву виступає ґрунтово-геоморфологічним наслідком прояву площинної ерозії, тому були розглянуті також і ці поняття.

Центральною проблемою в ерозіознавчих дослідженнях є оцінка протиерозійної стійкості та схильності ґрунту до руйнування. Її вивчали як вітчизняні, так і зарубіжні дослідники (Х.Міддлтон 1930; Л.Беве 1933; Дж.Латц 1934; Г. Боюкос 1935; Р.Брайн 1989 та ін., Д.Виленский 1938; С.Соболев 1948; В.Гуссак 1950, 1959; М.Кузнецов 1988; Г.Швебс 1988; Г.Бастраков 1983; С.Булигін 1995; М.Медведев 1992; Г.Ларионов 1993 та ін.). Встановлено, що ґрунти Волинської височини характеризуються низькою протиерозійною стійкістю, внаслідок чого має місце значна інтенсивність ерозійних процесів та еродованість ґрунтового покриву.

Для поглибленого розуміння механізмів площинної ерозії пропонується досліджувати мікроструктурні властивості ґрунтів за допомогою растрової електронної мікроскопії.

В другому розділі дається аналіз геолого-геоморфологічних умов, впливу морфометричних характеристик рельєфу, режиму опадів, властивостей ґрунтового покриву і господарської діяльності людини на поширення та розвиток площинної ерозії на Волинській височині. Волинська лесова височина характеризується чітко вираженим субширотним простяганням і являє собою хвилясто-горбисте плато, складене супісками і лесовидними суглинками, що залягають головним чином, на припіднятій крейдовій основі. Абсолютні відмітки коливаються від 230 до 292 м.

Глибина розчленування Волинської лесової височини змінюється в межах 60-100 м. Значні перевищення вододілів при відносно невеликій довжині схилів зумовили великі нахили поверхні і спричинили утворення форм лінійної ерозії. Останні особливо характерні для південного схилу лесового плато. Глибина ярів часто досягає 20-30 м. Від нахилу поверхні схилів залежить швидкість стікання дощових вод, швидкість течії води в річках, тобто ерозійна (розмиваюча) здатність водних потоків. Переважання схилів крутизною 3-7° у південній лісостеповій частині області є основною передумовою для розвитку площинної ерозії.

Нерівності крейдової поверхні та інтенсивний розвиток ерозії зумовили як орографічні особливості Волинської височини, так і глибину та густоту ерозійного розчленування сучасної її поверхні. Вказані особливості рельєфу Волинської височини дозволяють розділити її на такі геоморфологічні райони: Луцький приполіський лесовий горбистий район; Горохівський горбисто-грядовий лесовий район; Іваничівський рівнинно-горбистий лесовий район.

Схили крутизною до 0.5° займають 5% території, 0.5-1.5° - 26%. Переважаючими є схили крутизною 1.5-3.0° (37%) і 3.0-6.0° (28%), незначна

частина приходить на схили крутизною більше  $6^\circ$  (4%). Для лісостепу Волині переважна більшість орних земель (65%) знаходиться на схилах крутизною від  $1$  до  $3^\circ$ . Приблизно 30% ріллі розташована на схилах від  $3$  до  $7^\circ$ , а круті схили (більше  $7^\circ$ ) займають 4% території.

Слабозмиті ґрунти приурочені до схилів від  $1-3^\circ$  до  $3-5^\circ$ ; середньозмиті пов'язані зі схилами крутизною від  $3-5^\circ$  до  $5-7^\circ$ , а сильнозмиті - до схилів від  $5-7^\circ$  до  $7-10^\circ$  і більше. Найбільші площі еродованих орних земель знаходяться в Горохівському (35%), Луцькому (34.5%) та Локачинському (33%) районах. Найменш еродований район - Ківерцівський (14%).

Встановлено, що ґрунтоутворюючі відклади - леси, лесовидні суглинки, супіски - займають до 70% площі височини і слабо протистоять змиву.

Основний фон ґрунтів Волинської височини створюють чорноземи типові, чорноземи опідзолені та сірі лісостепові опідзолені ґрунти. За гранулометричним складом вони крупнопилувато-легко і середньосуглинкові. Такий їх склад сприяє розвитку ерозійних процесів.

При вивченні кліматичних факторів площинної ерозії особливу увагу слід надавати дослідженню розподілу зливових опадів та сніготанення. Їм належить основна роль в розвитку ерозії. Проте не завжди середні кліматичні показники відображають потенційну можливість формування процесів змиву. Співставлення літературних даних про динаміку опадів на території Волинської височини з результатами наших спостережень свідчить про те, що на досліджуваній території періодично створюються сприятливі умови для формування водноерозійних процесів. Небезпечність прояву ерозії залежить від шару опадів, що випадають за один дощ. Так, для умов Волинської височини ерозійнонебезпечними є опади з шаром 5 мм за дощ і більше. Аналіз метеоданих показав, що територію можна віднести до зливоерозійнонебезпечної з чітко вираженою періодичністю активізації змиву.

Важливим регулятором ерозійних процесів є характер рослинного покриву. Встановлено, що із показників рослинності найбільший вплив на площинну ерозію має проєктивне покриття. Для Волинської лісостепової зони виділені наступні групи рослин за ґрунтозахисними властивостями: багаторічні ( $P_{\text{ср.зв.}}=95\%$ ) та однорічні ( $P_{\text{ср.зв.}}=82\%$ ) трави, які найкраще захищають ґрунт, дещо слабше - озима пшениця ( $P_{\text{ср.зв.}}=43\%$ ), ярі колосові та зернобобові ( $P_{\text{ср.зв.}}=50-42\%$ ), просапні ( $P_{\text{ср.зв.}}=47-14\%$ ).

По відношенню до середньозваженого проєктивного покриття культур сівозміни та ерозійного індексу опадів, весь вегетаційний період поділений на три періоди: 1) інтенсивних злив та слабкої захищеності ґрунтів (травень, червень, серпень); 2) дощів зниженої інтенсивності і порівняно невисокої захищеності ґрунту рослинами (вересень, жовтень); 3) період окремих злив високої інтенсивності і добре захищеної по-

верхні ґрунту рослинністю (липень).

**В третьому розділі** проаналізована тенденція розвитку ерозійних процесів та еродованості ґрунтового покриву Волинської височини за період з 1970 по 1995 роки. За 25 років площа еродованих земель збільшилась на 50 тис. га, в тому числі слабо- і сильнозмитих ґрунтів (42.7, 8.4 га), а площа середньозмитих ґрунтів зменшилися на 1.1 тис.га з причини часткового їх переходу до категорії сильнозмитих. Середньорічний темп приросту площі змитих ґрунтів, зайнятих сільськогосподарськими угіддями, становить 2%. Інтенсивність зміни еродованості свідчить про те, що основними причинами цього явища є: 1) використання під рілля земель на схилах 5-7; 2) нехтування вимог протиерозійної агротехніки при обробітку ґрунту на схилах крутизною більше 5; 3) надмірна розораність сільськогосподарських угідь; 4) безсистемна вирубка лісу на схилових землях. Детальний аналіз розподілу модуля змиву і середньорічного об'єму втрат ґрунту зі схилів різної крутизни в межах Волинської височини дозволяють побудувати відповідні картосхеми і виявити географічні закономірності розвитку площинної ерозії.

**В четвертому розділі** розглядаються питання кількісного визначення морфометричних і геометричних характеристик мікроструктури ґрунту за допомогою растрової електронної мікроскопії (РЕМ). Як відомо, (Кузнецов, 1986; Швец, 1988), мікроструктура, зокрема пористість ґрунту, є важливим діагностичним показником, який значною мірою визначає його властивості (водний режим, явища тепло- і масопереносу, родючість та ін.). Існує також тісний зв'язок між пористістю ґрунту та його протиерозійною стійкістю. Проте переважна більшість робіт з цієї проблеми велась на якісному рівні, оскільки кількісний аналіз на мікроструктурному рівні обмежувався, головним чином, дослідженнями зображень, отримуваних за допомогою мікроскопів.

Відповідно до цього спільно із вченими МДУ (Москва) була розроблена інтегрована методика стереолого-стереометричного аналізу мікроструктури ґрунтів. Аналіз проводиться з допомогою оригінальних пакетів програм STIMAN і PAMIR (Соколов, 1983; Мельник, 1997).

РЕМ-дослідження мікроструктури ґрунту має певні особливості. Відповідно в роботі розглянуті питання препарування (підготовки) зразків ґрунту, вимоги до РЕМ-зображень для кількісного аналізу, алгоритм стереологічних досліджень комплексом РЕМ-ПЕОМ. Отримані такі кількісні характеристики, як сумарна площа структурних елементів (пор, часток), сумарний периметр, середня площа, середній периметр, середній (еквівалентний) діаметр, відносна площа, коефіцієнти фільтрації та анізотропії. Крім цього, передбачена можливість побудови гістограм розподілу структурних елементів за площею, сумарною площею, периметром, еквівалентними діаметрами, фактором форми, а також графіка залежності фактора форми від площі.

Нами були проведені детальні дослідження порового простору типових ґрунтів Волинської височини. У дослідженнях цього напрямку прийняв участь ст.викл.ВДУ Тарасюк Ф.П. Всього було проаналізовано 11 зразків ґрунту (табл.1). Результати стереологічних досліджень з допомогою РЕМ при різних збільшеннях показують, що відібрані зразки представлені головним чином суглинко-дисперсійними мінеральними утвореннями, що складаються переважно пилувато-кварцевими зернами напів- і слабоокатаної форми (розмірами 5-30 мкм) і мікроагрегатами глинистих частинок, розміри яких варіюють від декількох мкм до 15 мкм. Глинисті частинки в основному покривають поверхню пилуватих зерен зразків подібно до "глинистої сорочки", контакти між структурними елементами (зернами) в основному відбуваються через глинисті частинки, рідше - через "містки" більш тонкодисперсної речовини. За енергетичним типом ці контакти відносяться до категорії коагуляційних чи перехідних, які при зволоженні переходять в коагуляційні. Такі системи відзначаються пластичністю, в'язким характером руйнування, а їх стійкість не перевищує 0.05 МПа.

Таблиця 1

## Морфометричні показники мікроструктурних досліджень ґрунту

Зразок	К-ть пор, N	Характерні діаметри пор, мкм			Площа пор		$\rho_{\text{пор}}$ , л/мкм	Периметр		Пористість, %	Коеф. фільтр-рації, мД	$\alpha$ , °	Ка, %	$K_f$ , %
		$D_{\text{серед}}$	$D_{\text{макс}}$	$D_{\text{мін}}$	$S_{\text{пор}}$ , мкм	$S_{\text{серед}}$ , мкм		$P_{\text{пор}}$ , мкм	$P_{\text{серед}}$ , мкм					
m1	9327	0,911	46,31	0,28	3,078	288	0,603	747	8,018	28,18	0,077	40,2	5,6	0,395
m2	17430	0,737	38,07	0,26	1,629	284	0,908	112	6,458	26,86	0,049	61,5	11	0,418
m19	30388	0,364	49,23	0,13	0,987	300	0,863	107	3,518	38,43	0,081	43,2	4	0,549
m20	18017	1,182	57,80	0,54	5,759	704	0,405	201	1,145	35,80	0,151	20,7	31,4	0,559
m21	27890	0,354	39,74	0,13	0,871	243	0,954	118	4,238	38,19	0,044	25,8	3,8	0,556
m22	43174	0,291	63,14	0,14	0,728	314	1,059	131	3,039	39,68	0,111	11	8,7	0,52
m23	96739	0,287	54,83	0,13	0,331	320	1,770	219	2,267	42,93	0,069	46,9	3,7	0,529
t2	194525	0,167	35,35	0,07	0,127	248	1,597	198	1,017	31,18	0,077	11,9	8,4	0,578
t3	201533	0,155	35,65	0,07	0,135	274	1,724	214	1,060	32,45	0,078	6,1	3,8	0,559
t4	167806	0,143	88,63	0,07	0,159	267	1,399	173	1,033	30,44	0,140	81,6	3,3	0,447
t5	198274	0,166	48,22	0,07	0,136	269	1,599	198	0,999	29,92	0,152	47,6	7,6	0,493

$\alpha$  – кут домінуючої орієнтації; Ка – коефіцієнт анізотропії;  $K_f$  – коефіцієнт форми

Досліджувані зразки мають ізотропну ( $K_f$  5.6%, 4.0%, 3.8%, 3.7%), слабоізотропну ( $K_f$  11.0%, 8.7%) та анізотропну ( $K_f$  31.4%) мікроструктуру. Остання характерна для верхнього шару намівного ґрунту підніжжя схилу. Така мікроструктура свідчить про високу інтенсивність ерозійних процесів. Спостерігається суттєва різниця у розподілі пор за фактором форми. Для змитих ґрунтів значний (39%) відсоток становлять пори з  $F$  0.43-0.45 (34-39%), для намитих - 20-26%. В намитих ґрунтах присутні пори із середнім діаметром 0.91-1.18 мкм, в змитих та на контролі - 0.29-0.35 мкм.

Фільтраційні властивості в значній мірі залежать від площі пор ( $S$ ),

яка для змитих ґрунтів і на контролі становить ( $S$ : 0.33-0.87 мкм<sup>2</sup>). Найбільші за площею пори характерні для намитих ґрунтів - ( $S$ : 3.08-5.76 мкм<sup>2</sup>), а на глибині 10-20 см вже іде процес стабілізації - ( $S$ : 0.99 мкм<sup>2</sup>).

Аналіз РЕМ-мікрофотографій і таких морфологічних параметрів, як загальна площа і периметр, еквівалентні діаметри пор та наявність характерних максимумів на кривих розподілу пор за розмірами і фактором форми дозволив виділити три типи мікробудови ґрунтів Волинської височини, з низьким, середнім та високим рівнем вираженості форм, для яких коефіцієнт анізотропії змінюється в межах 3.3 ... 31.4 та різним типом мікроагрегованості – комірчатим, скелетними та матричним, які різняться значеннями питомої поверхні (0.405... 4.724) і пористості (26.86 ... 42.93). Запропоновані мікроструктурні моделі ґрунту як дисперсних систем, що складаються з пор, мікроагрегатів та неагрегованих елементарних часток [12].

Отримані регресійні рівняння, які відображають зв'язки в системах “пористість – загальна площа пор” та “щільність скелету ґрунту – загальна площа пор”:

$$n \approx 5.1199 \cdot 10^{-3} S - 14.9863; R = 0.94, \quad (1)$$

де  $n$  - пористість, %,  $S$  - загальна площ пор, мкм<sup>2</sup>.

$$\rho_d \approx 1.4600 \cdot 10^{-4} S + 3.2192; R = -0.93, \quad (2)$$

де  $\rho_d$  - щільність скелету ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $S$  - загальна площа пор, мкм<sup>2</sup>.

Вони можуть бути використані при оцінці та прогнозуванні просторово-часової зміни протиерозійної стійкості ґрунтів, наприклад, у визначенні міжагрегатного зчеплення. Для переходу від кількісних морфометричних і геометричних показників, що отримуються при аналізі плоских РЕМ-зображень до об'ємних, пропонується здійснювати об'ємну реконструкцію мікроструктури ґрунту за допомогою стереовимірювань РЕМ-зображень. Розроблено оригінальний метод стереометричної оцінки просторової організації мікроструктури ґрунту. Метод передбачає побудову цифрових моделей мікрорельєфу (ЦММР), профілювання вздовж довільно вибраних напрямків, застосування методів спектрального аналізу. Аналіз структури профілів ЦММР пропонується проводити в частотній області, оскільки частота, однозначно відповідає довжині елемента профілю. Сумуючи спектр за частотами, оцінюється загальна дисперсія відміток мікрорельєфу ЦММР, а також частка тієї дисперсії, яка належить окремим інтервалам частот, тобто розмірам елементів.

Запропонований підхід дозволяє кількісно описати ступінь вираженості мікрорельєфу поверхні шліфів зразків ґрунту (дисперсію його висотних відміток -  $\sigma_z^2$ ) і встановити, за рахунок яких елементів вона формується. Використання кількох збільшень дозволяє отримати параметри рельєфу першого порядку з розмірами елементів в плані 40-400 мкм, середнього (другого порядку) з розмірами елементів 20-200 мкм, дрібного (третього порядку) з розмірами елементів 10-80 мкм.

**П'ятий розділ.** Для експериментальних досліджень площинного змиву родючого шару ґрунту, розроблено оригінальний метод коротко-базисної фотограмметрії (МКФ), який розрахований на застосування неметричних (любительських) фотокамер. Фотограмметрична обробка проводиться із застосуванням проєктивних перетворень:

$$x = \frac{b_{11}X + b_{12}Y + b_{13}Z + b_{14}}{b_{31}X + b_{32}Y + b_{33}Z + 1}; y = \frac{b_{21}X + b_{22}Y + b_{23}Z + b_{24}}{b_{31}X + b_{32}Y + b_{33}Z + 1}, \quad (3)$$

де  $\{x_i, y_i\}$ ,  $\{X_i, Y_i, Z_i\}$  - координати відповідних точок;  $\{b_{ij}\}$  - проєктивні коефіцієнти.

Програма реалізація обчислювального алгоритму МКФ здійснена з допомогою пакету прикладних програм (ППП) "MEZO", в розробці якого приймала участь інженер-програміст Шах О.С.

Розроблена методика стереокомпараторних вимірювань фотознімків без координатних міток (неметричних та РЕМ-знімків). Апробація МКФ полягала у вивченні прояву водної ерозії на стоковому майданчику.

Зйомка виконувалась фотоапаратом "Київ-6С" з допомогою сконструйованої нами спеціальної установки.

Координати точок обчислювалися відносно пунктів опорної основи - вершин тестової горизонтальної сітки, яка встановлювалася над досліджуваним майданчиком. Сторони квадратів сітки можуть змінюватись в межах 5...20 см, висота сітки над поверхнею площадки 20...30 см. Сітка виконана із тонкої металічної нитки (на знімку її товщина складала 0.02 мм).

Як показали дослідження, при зйомці стокових майданчиків розміром 1-4 м<sup>2</sup>, що мають нахили 2-3°, топографічні плани доцільно будувати в масштабах 1:10.... 1:50 з горизонталлями через 1...5 мм. В цьому випадку положення точок поверхні можна нанести на план з похибкою ±0.4 мм, що складає на місцевості 2 мм. В результаті фотограмметричної обробки серії макетних знімків встановлено, що середні квадратичні похибки визначення координат точок об'єкту характеризуються величинами:  $m_x = \pm 0.004$  м;  $m_y = \pm 0.006$  м;  $m_z = \pm 0.008$  м.

Точність фотограмметричного методу визначення об'єму змитого ґрунту визначається точністю вимірювання висотних відміток поверхні і густотою профільних січень. Точність визначення відміток  $m_h$  залежить власне від точності стереовимірювань і ступеня неоднорідності поверхні ґрунту. Точність стереовимірювань повинна бути близько 1.5-1.7 мм, тоді точність визначення об'єму площинного змиву складатиме 2% ( $\Delta V = \pm 0.02V$ ).

Використовуючи цифрову модель рельєфу, на дослідних ділянках площею 1-2 м<sup>2</sup> можна кількісно охарактеризувати морфологію мікротопографії ґрунту. Крім визначення загальновідомих морфологічних характеристик (крутизни, експозиції тощо) на основі ЦМР можна проводити виміри параметрів мікрозападин, чого в польових умовах тради-

ційними методами досягти неможливо. Нами пропонується використовувати для цієї мети короткобазисну фотограмметрію з отриманням цифрової моделі рельєфу у формі регулярної матриці висот.

Суть пропонованого методу полягає в наступному. Нехай рельєф площадки  $1 \text{ м}^2$  характеризується матрицею висот  $100 \times 100 = 10000$  точок. Для визначення параметрів ерозійних і акумулятивних наноформ використовується метод рухомого "вікна" радіусом  $3 \times 3$ . Оцінка мікроформ в кожній точці здійснюється послідовним відніманням висот 8 сусідніх точок, наприклад, за годинниковою стрілкою. Подібну операцію можна виконати також на 24 точках, тобто для "вікна" розміром  $5 \times 5$ .

За результатами таких розрахунків отримуються профілі, на основі яких здійснюється власне ідентифікація мікротопографії ґрунту, в тому числі й акумулятивних та ерозійних форм.

Експериментальна апробація цього методу була виконана в польових умовах, на похилому схилі (менше 2 ‰). Цифрова модель рельєфу отримана з допомогою фотограмметричного методу та обстеження мікрозападин дослідної ділянки.

**Шостий розділ.** Тенденцією сучасного ерозіознавства є перехід до геоінформаційних технологій з високим рівнем автоматизації. Враховуючи це, в роботі пропонується здійснювати моделювання площинної ерозії на основі цифрових моделей рельєфу місцевості.

Під цифровою моделлю рельєфу слід розуміти ту чи іншу форму подання вихідних даних, спосіб їх структурного опису, а також метод "відновлення" рельєфу в заданій області. В геоморфологічному розумінні рельєф являє собою сукупність додатних і від'ємних форм земної поверхні. З методичної точки зору цифрова модель є еквівалентом реальної земної поверхні, при чому існують різні способи апроксимації ЦМР, математичного забезпечення відновлення відміток в заданій області, інтерполяції, згладжування тощо.

Для автоматизованої побудови ізолінійних карт, блок-діаграм, обчислень об'ємів, площ тощо, бажано мати цифрову модель рельєфа на регулярній прямокутній сітці. Проте в більшості випадків цифрові дані (відмітки) локалізуються нерегулярно, а досліджувану функцією є функція  $Z=f(x, y)$ , що приймає значення  $Z_i$  в точках з координатами  $x_i, y_i$ , де  $x, y, z$  - геодезичні або фотограмметричні координати точок цифрової моделі,  $i=1, \dots, n$ .

Існує багато методів такого моделювання (Сербенюк, 1987; Новаковський, 1992). Кожний із них має свої переваги і недоліки. При виборі методу слід враховувати характер розташування вихідних точок, апріорні відомості про модельовану поверхню, ресурси пам'яті і швидкодню наявних технічних засобів, необхідну точність відновлення поверхні та деякі інші аспекти.

Нами розроблено метод побудови ЦМР на нерегулярній сітці із по-

ділом поверхні на трикутники, тобто побудова ЦМР методом "тріангулятора". При цьому зауважимо, що хоча існує багато ефективних способів моделювання ЦМР на трикутних елементах, проте для проблеми площинного змиву вони не прийнятні. Тому досліджувались два способи тріангулювання поверхні: 1) метод "мінімальної" евклідової метрики; 2) хвильовий. Як показали комп'ютерні дослідження, другий метод більш ефективний, тому він був прийнятий за робочий.

За основу математичного алгоритму побудови ЦМР методом "тріангулятора" взята поліноміальна апроксимація, яка в локальній системі координат набуває спрощеного і зручного для програмування вигляду.

Пропонується методика розрахунку середньобаторічних втрат ґрунту з ерозією, в основу якої покладені, з однієї сторони, загально прийнятні підходи до оцінки факторів, що впливають на інтенсивність процесів, а з іншої - використовується новий в ерозіознавстві метод  $R$ -функцій. При цьому під  $R$ -функціями слід розуміти залежність інтенсивності ерозійних процесів від конкретних значень факторів, що впливають на даний процес (Рвачев, 1990; Малкіна-Пых, 1996).

Головними факторами, які визначають в більшості випадків розвиток площинної ерозії, є клімат, рельєф, рослинний покрив, властивості ґрунтів і ґрунтоутворюючих порід та господарська діяльність.

Для математичного моделювання площинної ерозії слід приймати до уваги субмоделі цих п'яти факторів.

1. Ерозійний індекс дощу достатньо точно визначається лінійним рівнянням регресії (Тарабрин, 1981):  $EI_{30} = 0.258PI_{30} - 0.149$ , (4)  
де  $P$  - шар дощу, мм;  $I_{30}$  - максимальна інтенсивність дощу за 30 хвилин, мм/хв.

2. Фактор рельєфу. При аналітичному врахуванні фактора рельєфу з побудовою ЦМР за методом "тріангулятора" зарубіжними вченими [11] пропонується видозмінене "універсальне рівняння", яке має вигляд :

$$LS = \sum_{i=1}^n (L_i^q - L_{i-1}^q) \times \left( \frac{L_n}{22.1} \right)^m \times [65.4 \sin^2 \alpha + 4.56 \sin \alpha + 0.065]. \quad (5)$$

При цьому зроблено припущення, що схил має  $n$  елементів і  $N$ -й елемент - найнижчий (рис.1, а). Позначення:  $L_n = \sum_{i=1}^n l_i$ ;  $F_n = \sum_{i=1}^n f_i$ , де  $l_i$ ,  $f_i$  - довжина і площа окремих елементів;  $q=1+m$ . Проте в рівнянні (5) не достатньо точно враховується просторове положення окремих елементів схилу по відношенню до вододільних ліній. Тому нами для оцінки "ваги" окремих елементів в загальному процесі змиву пропонується вираховувати вагові коефіцієнти, "фізичний" зміст яких зрозумілий з рис. 1, б, в:

$$W_i = \frac{(F_i^q - F_{i-1}^q)}{\sum_{k=1}^n (F_k^q - F_{k-1}^q)}$$

Відповідно формула (5) матиме такий остаточний вигляд:

$$LS_N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \frac{(F_{ij}^q - F_{i(j-1)}^q)}{\sum_{k=1}^n (F_{ik}^q - F_{i(k-1)}^q)} \times \left(\frac{L_j}{22.1}\right)^m \times [65.4 \sin^2 \alpha + 4.56 \sin \alpha + 0.06], \quad (6)$$

де  $N$  – кількість “вертикальних смужок” елементарних схилів, що утворюють весь схил;  $n$  – кількість елементарних поверхонь, що формують “вертикальну смужку”. Під “вертикальною смужкою” тут розуміється набір трикутників, що поступово розміщені від вододілу до тальвегу і утворюють неперервну смугу стоку.

3. Фактор протиерозійної стійкості ґрунту може вираховуватися із досить складної експоненціальної залежності (Bryan *et al.*, 1989):

$$KS = \left[ 0.2 + 0.3 \exp(-0.0256 SAN(1.0 - SIL / 100.0)) \times \left(\frac{SIL}{CLA + SIL}\right)^{0.3} \times \left(1 - \frac{25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}\right) \times \left(1 - \frac{0.71SN_1}{SN_1 + \exp(-5.51 + 22.9SN_1)}\right) \right], \quad (7)$$

де  $SAN$ ,  $SIL$ ,  $CLA$ ,  $C$  – вміст піску, мулу, глини та органічного вуглецю в ґрунті (%) і  $SN = 1 - SAN/100$ . Фактор піддатливості ґрунту до ерозії змінюється в межах від 0.7 до 3.9 т/га.

Очевидно, що узагальненою математичною моделлю для розрахунку кількості щорічно змитого ґрунту в результаті водної ерозії повинна бути суперпозиція субмоделей:

$$ER = ER_{max} f_1^*(EI_{30}) f_2^*(KS) f_3^*(LS) f_4^*(CUL) f_5^*(AGR), \quad (8)$$

Зрозуміло також і те, що окремі субмоделі доцільно розраховувати за формально однаковим математичним алгоритмом, а це можливо із використанням системи  $R$ -функцій (Малкіна-Пых, 1996, Рвачев, 1990), які для моделювання водної ерозії мають вигляд:

$$f_j^*(x_j) = -\alpha_j \left( \frac{1.0}{a_j + \exp(b_j - c_j x_j)} - d_j \right), \quad j = 1..4 \quad (9)$$

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

де  $ER$  – середньобогаторічний змив ґрунту (т/га за рік),  $ER_{max}$  – максимальний можливий змив ґрунту при впливі всіх факторів,  $EI_{30}$  – ерозійний індекс дощу;  $LS$  – фактор рельєфу;  $KS$  – піддатливість ґрунту до ерозії;  $CUL$  – ґрунтозахисні властивості польових культур;  $AGR$  – показник ефективності протиерозійних заходів, що визначається за відносною бальною шкалою;  $f_j^*$  –  $R$ -функції;  $\alpha_j$ ,  $a_j$ ,  $b_j$ ,  $c_j$ ,  $d_j$  – параметри,  $j=1..5$ .

Ідентифікація параметрів  $R$ -функцій здійснюється за методом найменших квадратів мінімізацією  $\sum [S_{mood} - f_j^*(x_j)]^2$ ,  $\min$ , де  $S_{mood}$  – підмоделі (4), (6), (7) відповідно.

Для автоматизованого визначення площинної ерозії з кожного схилу потрібно “відсортувати” трикутники у порядку їх розташування від во-

доділу до тальвегу.

Нами розроблено оригінальний метод сортування, який полягає в побудові орієнтованого графа для конкретного схилу, вершинами якого є елементарні трикутні схили, а ребрами графа виступають лінії стоку із орієнтацією ребер за їх напрямком (рис. 1, в).

Експериментальна апробація запропонованого методу моделювання площинної ерозії здійснена шляхом порівняння якості отриманих тематичних карт (крутизни і експозиції) та співставленням об'ємів змиву, визначених графо-аналітичним та аналітичним методами.

В результаті були отримані на "тестовий" об'єкт карти крутизни та експозиції схилів принципово іншим методом, а саме за допомогою системи цифрової обробки зображень PERICOLOR-2000 з графопобудовувачем BENSON – 1425.

Аналітичний метод моделювання площинної ерозії забезпечений розвинутою програмною підтримкою (ППП "TERRA"), яку розробив м.н.с. В.Волошин. На основі аналітичного методу здійснено детальний морфометричний аналіз рельєфу геостационару (ізометрична блок-діаграма ЦМР показана на рис. 2) і складена карта площинного змиву (рис. 3).

В розрахунках змиву взято за основу субмодель  $f_3(LS)$ , для ідентифікації параметрів якої були використані багаторічні дані польових спостережень, отриманих лабораторією ерозії ґрунтів Поліської філії ІГіА імені О.Н. Соколовського, а також наші результати оцінки змиву методом МКФ на ключових ділянках.

В таблицях 2 - 4 наведені результати "верифікації" аналітичного моделювання площинної ерозії, якими підтверджується достовірність (в середньому 3-7%) роботи алгоритму та ППП "TERRA". В таблицях 2 - 4 наведені середні значення для восьми ділянок геостационару.

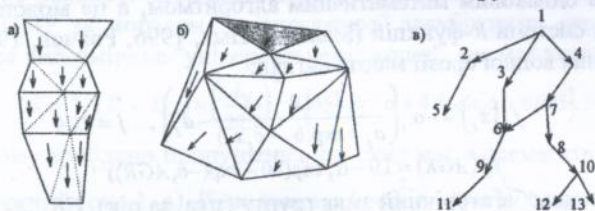


Рис. 1, а, б, в. Схеми "триангулювання" схилів різної складності (а, б) та приклад побудови орієнтованого графа (в).

Таблиця 2.

Розподіл схилів за експозицією.

Метод	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх
"PERICOLOR"	17,03	15,65	28,68	0,69	2,55	3,51	6,22	25,67
"TERRA"	16,51	14,71	28,60	0,53	3,11	2,48	6,79	27,57
Різниця в %	3,1	6,0	0,3	23,2	22,0	29,0	9,1	7,4

Середнє – 12.51

Розподіл схилів за крутизною.

Таблиця 3.

Метод	0° - 0,5°	0,5° - 1,5°	1,5° - 3,0°	3,0° - 6,0°	більше 6°
"PERICOLOR"	3,02	20,68	48,07	27,07	1,16
"TERRA"	3,81	21,13	47,81	26,30	0,95
Різниця в %	26,0	2,2	0,6	2,8	18,1

Середнє - 9,94

Таблиця 4.

Співставлення оцінок прогнозного змиву ґрунту  
(т/га/рік), отриманих різними методами.

Методи	менше 1	1 - 2	2 - 3	більше 3
Графо-аналітичний	61,20	21,83	10,73	6,24
"TERRA"	59,75	22,63	11,79	5,83
Різниця в %	2,4	3,7	9,9	6,6

Середнє - 5,65

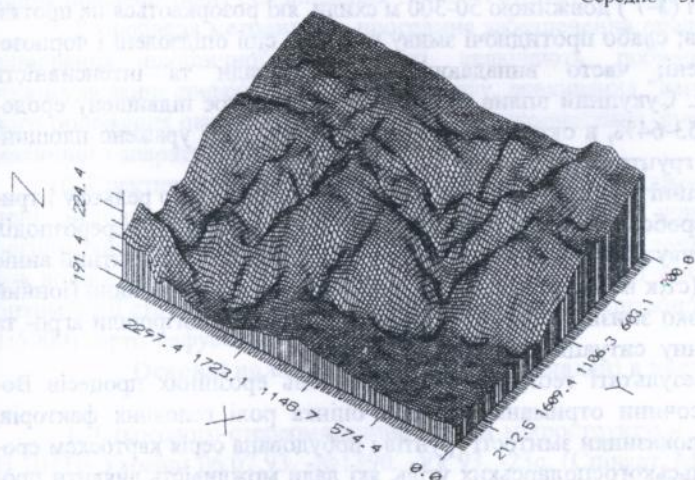


Рис. 2. Ізометрична блок-діаграма ЦМР геостационару ІГІА.



Рис. 3. Картохема прогнозного змиву ґрунту для території геостационару ІГІА.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Методом картографічного моделювання виявлена тенденція зміни еродованості ґрунтового покриву Волинської височини за період з 1970 до 1995 років. За 25 років площа еродованих земель збільшилось на 50 тис.га, а середньорічний темп приросту становить 2%.

Геолого-геоморфологічним і морфометричним аналізом, історико-картографічними дослідженнями, ґрунтово-ерозійними спостереженнями в польових умовах і на стокових майданчиках встановлено, що інтенсивність площинної ерозії змінюється від 0.005-0.01 мм/рік (нормальна або геологічна ерозія) до 0.35-0.75 мм/рік (антропогенна історична) і 1.5-5.0 мм/рік (антропогенна сучасна).

2. Визначені основні чинники ерозії: домінуючі в регіоні випукло-ввігнуті круті (3-7°) довжиною 50-300 м схили, які розорюються на протязі 200-250 років; слабо протидіючі змиву ґрунти – сірі опідзолени і чорноземи опідзолени; часто випадуючі зливові опади та інтенсивність сніготанення. Сукупний вплив цих причин обумовлює підвищену еродованість: від 53-64%, в окремих випадках до 90% ріллі уражено площинною ерозією ґрунтового покриву.

3. Ерозійні процеси в умовах помітно розчленуваного рельєфу і тривалого землеробського використання території зумовили: а) перерозподіл продуктів змиву в межах окремих схилів і водозборів; б) транзитний виніс мінеральної (стік наносів) і головним чином розчиненої речовини (іонний стік), чим різко знизили потенціал родючості земель, погіршили агро- та гідроекологічну ситуацію.

4. В результаті географічних досліджень ерозійних процесів Волинської височини отримана кількісна оцінка ролі головних факторів, встановлені показники змитості ґрунтів і побудована серія картосхем еродованості сільськогосподарських угідь, які дали можливість виявити просторово-часові закономірності прояву ерозії.

5. Для типових ґрунтів Волинської височини вперше отримана кількісна характеристика морфометричних і геометричних параметрів їх мікроструктури. Застосування для цієї мети методів растрової електронної мікроскопії, цифрової обробки зображень і прикладного спектрального аналізу дозволило суттєво підвищити якість та інформативність отримуваних на мікрорівні результатів, сприяло удосконаленню методик ерозіознавчого аналізу.

6. За результатами регресійного аналізу виявлено характер та оцінена тіснота зв'язків між мікроструктурними параметрами і деякими фізико-механічними властивостями ґрунтів, які впливають на їх протиерозійну стійкість.

Загальна пористість ґрунту ( $n$ ) має досить тісну кореляційну залежність від загальної площі пор ( $S$ ):  $n = 5.1199 \cdot 10^{-3} S - 14.9863$  ( $R = 0.94$ ), та від дисперсності ( $D$ ):  $n = -27.4840 D + 77.869$  ( $R = -0.71$ ). Тісний кореля-

ційний зв'язок також спостерігається між щільністю скелету ґрунту ( $\rho_d$ ) і загальною площею пор ( $S$ ):  $\rho_d = 1.4600 \cdot 10^{-4} S + 3.2192$  ( $R = -0.93$ ), і дисперсністю ( $D$ ):  $\rho_d = 0.6079D + 0.7382$  ( $R = 0.70$ ).

7. На основі РЕМ-стереозйомки та ентропійного підходу розроблено оригінальний метод стереометричної оцінки просторової організації мікроструктури ґрунту, яка виступає в якості суттєвого чинника площинної ерозії.

8. Розроблено метод короткобазисної фотограмметричної зйомки, застосування якого в ерозіознавстві дозволить: 1) суттєво збільшити обсяг вихідної інформації; 2) отримувати ряд важливих характеристик (кількість і розміри мікропромоїн, площа акумулятивних та ерозійних мікроформ, шорсткість поверхні ґрунту тощо); 3) значно зменшити тривалість проведення польових робіт без зниження точності отримуваних результатів.

9. Розроблена методика та програмне забезпечення аналітичного моделювання площинної ерозії, які включають побудову шляхом триангулювання цифрових моделей рельєфу, врахування "ваги" просторового положення окремих його елементів та використання сучасного математичного апарату R-функцій.

10. Практичне значення: результати виконаних досліджень та розроблені методики успішно можуть бути використані при організації регіонального моніторингу оцінки та стану земель, банку даних про розвиток водної (для лісостепової зони) та вітрової (Поліської зони) ерозії; для оптимізації структури агроландшафтів; при великомасштабному (1:1000... 1:5000) картографуванні земель.

#### Основні положення дисертації викладені в наступних публікаціях

1. Стереолого-стереометрична оцінка мікроструктури ґрунту // Деп. В ДНТБ України 06.07.93. -№1390. -Ук 93. -23с. (Співавт. Мельник В.М., Тарасюк Ф.П.)

2. Дослідження ерозії ґрунту методом короткобазисної фотограмметрії // Матеріали XXXIX наукової конференції професорсько-викладацького складу і студентів інституту. -Луцьк, 1993. -Ч.ІІІ.-С.535-536.

3. Автоматизація розрахунку змиву ґрунту на основі цифрової моделі рельєфу // Екологія Полісся: проблеми, сучасність, майбутнє. -Харків -Луцьк, 1993. -Ч.ІІ. -С.115-118. (Співавт. Кичук С.В., Мельник В.М., Тарасюк Ф.П.)

4. Изучение эрозии почв методом РЭМ-стереометрии // Восьмое межвуз. коорд. совещание по проблеме эрозионных русловых и устьевых процессов. -Воронеж, 1993. -С.69-70. (Соавт. Мельник В.Н., Тарасюк Ф.П.)

5. Исследование порового пространства и микрорельефа почв с помощью анализа РЭМ-изображений // 9-е межвуз. коорд. совещание по проблеме эрозионных русловых и устьевых процессов. -Брянск, 1994. -

C.85-87. (Соавт. Мельник В.Н., Тарасюк Ф.П.)

6. Міграція важких металів в ерозійних ландшафтах Волинської височини //Матеріали ХІІ наукової конференції професорсько-викладацького складу і студентів Волинського державного університету ім.Лесі Українки. -Луцьк, 1995. -Ч.ІІІ. -С.43. (Співавт. Мельник В.М., Тарасюк Ф.П., Бліндер Ю.С.).

7. Морфологічна оцінка мікротопографії ґрунту // Матеріали ХІІ наукової конференції професорсько-викладацького складу і студентів Волинського державного університету ім.Лесі Українки. -Луцьк, 1995.-Ч.ІІІ. -С.51.

8. Стереологічний аналіз порового простору ґрунтів // Матеріали ХІІ наукової конференції професорсько-викладацького складу і студентів Волинського державного університету ім.Лесі Українки (географічний факультет). -Луцьк, 1995. -С.22-23. (Співавт. Мельник В.М., Тарасюк Ф.П.).

9. Вивчення ерозії ґрунтів на основі інтеграції растрової електронної мікроскопії //Тези доп. VII з'їзду УГТ. -Київ, 1995. -С.376-377. (Співавт. Мельник В.М., Тарасюк Ф.П.).

10. Стереология порового пространства при изучении эрозии почв //Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. "Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность".-Днепропетровск, 1995. (Соавт. Мельник В.Н., Тарасюк Ф.П.).

11. Визначення диференціальних параметрів цифрової моделі рельєфу //Деп. в ДНТБ України 25.05.96.-№1251.-Ук 96.-11с. (Співавт. Мельник В.М.).

12. Кількісний аналіз морфометричних і геометричних властивостей ґрунту за допомогою растрової електронної мікроскопії //Екологія, водне господарство та проблеми водних ресурсів Західного регіону України. -Луцьк: Надстир'я, 1997. -С.95-114. (Співавт. Мельник В.М.)

13. Метод короткобазисної фотограмметрії в системі агроекологічного моніторингу //Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва в Україні. -Львів, 1997. -С.154-159. (Співавт. Мельник В.М.).

14. Стереометрична оцінка просторової організації мікроструктури ґрунту як чинника площинної ерозії //1-а Міжнародна наук.-практ. конф. "Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології і перспективи розвитку".-Львів, 1997.-С.212-214. (Співавт. Мельник В.М., Волошин В.У.)

15. Поширення, тенденції розвитку та наслідки прояву процесів площинної ерозії в межах Волинського лісостепу //Використання нетрадиційних сировинних ресурсів у сільському господарстві. -Луцьк : Надстир'я, 1997. -С.178-183.

### Аннотация

Нетробчук И.М. Картографо-фотограмметрическое моделирование плоскостной эрозии (на примере Волынской возвышенности).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.04 - геоморфология и палеогеография. - Львовский государственный университет им. Ивана Франко, Львов, 1997.

В диссертационной работе проанализированы факторы, распространение динамики, тенденция развития плоскостного смыва на Волынской возвышенности. Методами растровой электронной микроскопии исследованы эрозионно значимые параметры основных типов почв, рассмотрены теоретические и практические вопросы применения в эрозиоведении фотограмметрической съемки с близких расстояний, разработаны алгоритмы и программное обеспечение аналитического моделирования смыва на основе цифровых моделей рельефа и R-функций.

### Annotation

Netrobchuk I.M. Cartographic-photogrammetrical modelling of plane erosion (on the base of Volyn hills).

The theses for academic degree of candidate of geographical sciences under the speciality 11.00.04 - geomorphology and palaeography. - Ivan Franko Lviv State University, Lviv, 1997.

In this work the factors, dynamics, extension, tendencies of the development of plane erosion on the Volyn hills are analyzed. The erosionally meaning parameters of main types soil are investigated by methods of electronic microscopy, the theoretical and practical questions are investigated about application photogrammetry survey in the short distances in the question of erosion, the algorithmes and programming se-curing of analytical modelling of erosion on the basis of digital models of relief and R-functions are worked out.

Ключові слова: площинна ерозія, еродованість ґрунтового покриву, протиерозійна стійкість, фотограмметрія, мікроструктура, моделювання, растрова електронна мікроскопія.

Львівський державний університет імені Івана Франка  
 11, вулиця Антонівська  
 80-00-7 (11 ліній)  
 Львів 801 Львів

*И. Нетробчук*



433648

AB 38.314