

ГЕОПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЛОКАЛЬНОМУ РІВНІ

Ключові слова: ерозійні процеси, моделювання ерозійних процесів, геоінформаційна просторова модель ерозійних процесів, RUSLE

Актуальність теми. Запобігання ерозії ґрунту, що означає зниження темпів втрат ґрунту приблизно до того рівня, який відбувається у природних умовах, залежить від вибору відповідних стратегій землекористування для збереження ґрунту, а це, у свою чергу, вимагає глибокого розуміння процесів ерозії [7].

Важливим є визначення параметрів ерозії у просторово розподіленій формі. У багатьох ситуаціях землекористувачі більше зацікавлені в отриманні інформації про просторовий розподіл ризику ерозії ґрунту, ніж про абсолютні значення втрат ґрунту внаслідок ерозії. Ідентифікація просторово розподілених осередків ерозії дає змогу здійснювати спеціальні заходи з консервації ґрунтів біля цих осередків. За допомогою ефективного прогнозування ерозії ґрунту можна здійснювати розробку раціональних методів землекористування, оцінку ефективності способів управління та вибір найкращих з них, визначення цільових областей для досліджень.

Найбільш точним і достовірним способом визначення інтенсивності прояву ерозійних процесів в конкретному місці є проведення польових спостережень і вимірювань та експериментальних і стаціонарних досліджень [2]. Проте цей спосіб є дуже дорогим і трудомістким, тому його неможливо застосовувати при оцінці чи картографуванні просторового поширення ерозії для великих площ. З цією метою доцільно використовувати моделі поширення ерозії [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують різні підходи і рівняння для здійснення просторового моделювання, розрахунку та прогнозу водної ерозії. Незважаючи на просторово розподілений характер цього завдання, тривалий час практика протиерозійного проектування в Україні, як і в інших країнах, ґрунтувалася на моделях із зосередженими параметрами (0-вимірних) [5]. До цієї групи моделей належать відомі в Україні: Універсальне рівняння ерозійних втрат ґрунтів (USLE) [15], логіко-математична модель ерозійних

втрат ґрунтів Г. І. Швєбса [10], формула змиву І. К. Срібного [7], математико-статистична модель колишнього УкрНДІЗГЕ [3]. Наближене рішення профільної (1-вимірної) моделі ерозії ґрунтів запропоновано у формулі (логіко-математичній моделі) змиву ґрунту Г. П. Сурмача [8] і в модифікаціях Універсального рівняння, запропонованих Г. Р. Фостером і У. Х. Уїшмейером [11] і Г. О. Ларіоновим [4].

Останнім часом у різних країнах світу широко застосовується універсальне рівняння втрати ґрунту (USLE) та його модифікація (RUSLE). Уїшмеєр і Сміт [16], збираючи дані по ерозії ґрунту у 21 штаті США, проаналізували та оцінили різні домінуючі фактори ерозії ґрунтів і представили універсальне рівняння втрати ґрунту (USLE) для оцінки ерозії. У принципі, за допомогою USLE можна прогнозувати довгостроковий середньорічний темп ерозії ґрунтів на схилах. Це рівняння засноване на даних про режим опадів, тип ґрунту, топографію, систему рослинництва і практику управління (фактори ерозії ґрунту). За останні роки було проведено комплексне дослідження ерозії ґрунтів. Отримані результати останніх досліджень дали змогу поліпшити методологію USLE. Був створений варіант цієї моделі (RUSLE), в якому підвищилась точність прогнозування водної ерозії за рахунок інтеграції нової інформації, що була отримана за допомогою досліджень в останні 40 років [13, 14]. Крім того, було доведено, що спільне використання ГІС та моделей ерозії, таких як USLE/RUSLE, є ефективним засобом оцінювання величини і просторового розподілу ерозії.

Для моделювання ерозійних процесів оптимально застосовувати Універсальне рівняння втрат ґрунту та його модифікацію. Існує ряд переваг застосування даної моделі: вона потребує меншої кількості інформаційних параметрів, не вимагає дорогого обладнання, дозволяє здійснити моделювання за відносно невеликий час.

Універсальне рівняння втрат ґрунту виглядає наступним чином [15]:

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

де A – середньорічний модуль втрат ґрунту (т/га рік); R – фактор ерозійної здатності дощу; K – фактор піддатливості ґрунтів ерозії (т/га рік); LS – фактор рельєфу (L – фактор довжини схилу, S – фактор ухилу); C – фактор сівозміни (агротехніки); P – фактор ґрунтозахисних заходів.

Об'єкт дослідження. Моделювання ерозійних процесів проводять на різних рівнях: від елементу схилу, індивідуального схилу, землекористування до території районів, областей. Досвід показує [2], що при оцінюванні інтенсивності розвитку ерозійних процесів варто розпочинати такі дослідження з локального рівня. У зв'язку з цим, об'єктом нашого дослідження виступає територія Шкроботівської сільської ради, яка розташована в південно-східній частині Шумського району Тернопільської області. Територія сільської ради займає 1063,2 га, з яких рілля становить 789,7 га, пасовища – 115,0 га, багаторічні насадження – 17,0 га, сіножаті – 10,8 га [9].

Рельєф представлений підвищеною хвилястою, на північному заході – горбистою лесовою рівниною, глибоко розчленованою балками та ярами. Клімат м'який, помірно-континентальний. Річна кількість опадів становить у середньому 557-590 мм опадів [9]. Рослинність представлена як широколистяними лісами, так і різнотрав'ям. У ґрунтовому покриві переважають родючі ґрунти, серед яких найбільші площі займають чорноземи глибокі малогумусні та чорноземи опідзолені [9]. Розчленований рельєф, достатня кількість опадів, значна кількість схилівих земель сприяють утворенню і поширенню ерозії, а недотримання вимог протиерозійної організації території землекористування та обробітку ґрунтів лише погіршує ситуацію.

Вихідні дані. Для того, щоб забезпечити раціональне управління землями, організувати ґрунтозахисні та охоронні заходи, необхідно проаналізувати потенціал ерозії ґрунту на даній території. Для вирішення цього завдання було застосоване модифіковане універсальне рівняння RUSLE. Для обчислення ерозійних втрат ґрунту досліджуваної території і графічного відображення результатів використовувались такі вихідні матеріали:

дані великомасштабного дослідження ґрунтів, топографічна карта, супутниковий знімок високої роздільної здатності на територію Шкроботівської сільської ради, картограма ерозійного індексу дощів [1].

Для побудови інтегральної карти, яка відображає просторовий розподіл величини ерозійних втрат ґрунту внаслідок змиву, потрібно створити проміжні карти:

- цифрову модель рельєфу (для визначення ухилу поверхні, довжини схилу та обчислення фактору рельєфу);

- карту ґрунтового покриву (для розрахунку фактору піддатливості ґрунтів до ерозії);

- карту землекористування (для обчислення фактору сівозміни).

Результати дослідження. На основі вищезазначених даних було обчислено значення всіх факторів модифікованого універсального рівняння втрат ґрунту і створено картограми їх просторового розподілу.

Значення фактору R визначене за допомогою картограми ерозійного індексу [1]. Оскільки територія с. Шкроботівка Шумського району Тернопільської області є невеликою, то значення фактору ерозійної здатності дощу R не змінюється у межах всієї території дослідження і становить 13.

Оскільки на території Шкроботівської сільської ради протиерозійні заходи не здійснюються, то значення P -фактору для всієї території становить 1.

Для розрахунку LS -фактору було спочатку створено цифрову модель рельєфу (ЦМР). На основі ЦМР було побудовано картограми крутизни схилів (фактор ухилу, S) та акумуляції стоку (фактор акумуляції стоку, L). Відмінність RUSLE від USLE полягає тому, що в модифікованому рівнянні було замінено фактор довжини схилу на фактор акумуляції стоку. Для одержання кінцевого результату розрахунку LS -фактору було об'єднано фактори L і S . LS -фактор розподіляється у межах території дослідження нерівномірно, змінюючи значення від 0 на ділянках з крутизною схилів 0-3°, переважно на північному сході і заході та на півдні, до 126,941 у північній, південно-західній і південно-східній частинах території сільської ради, де є підвищені елементи рельєфу і крутизна схилу становить 15° і більше.

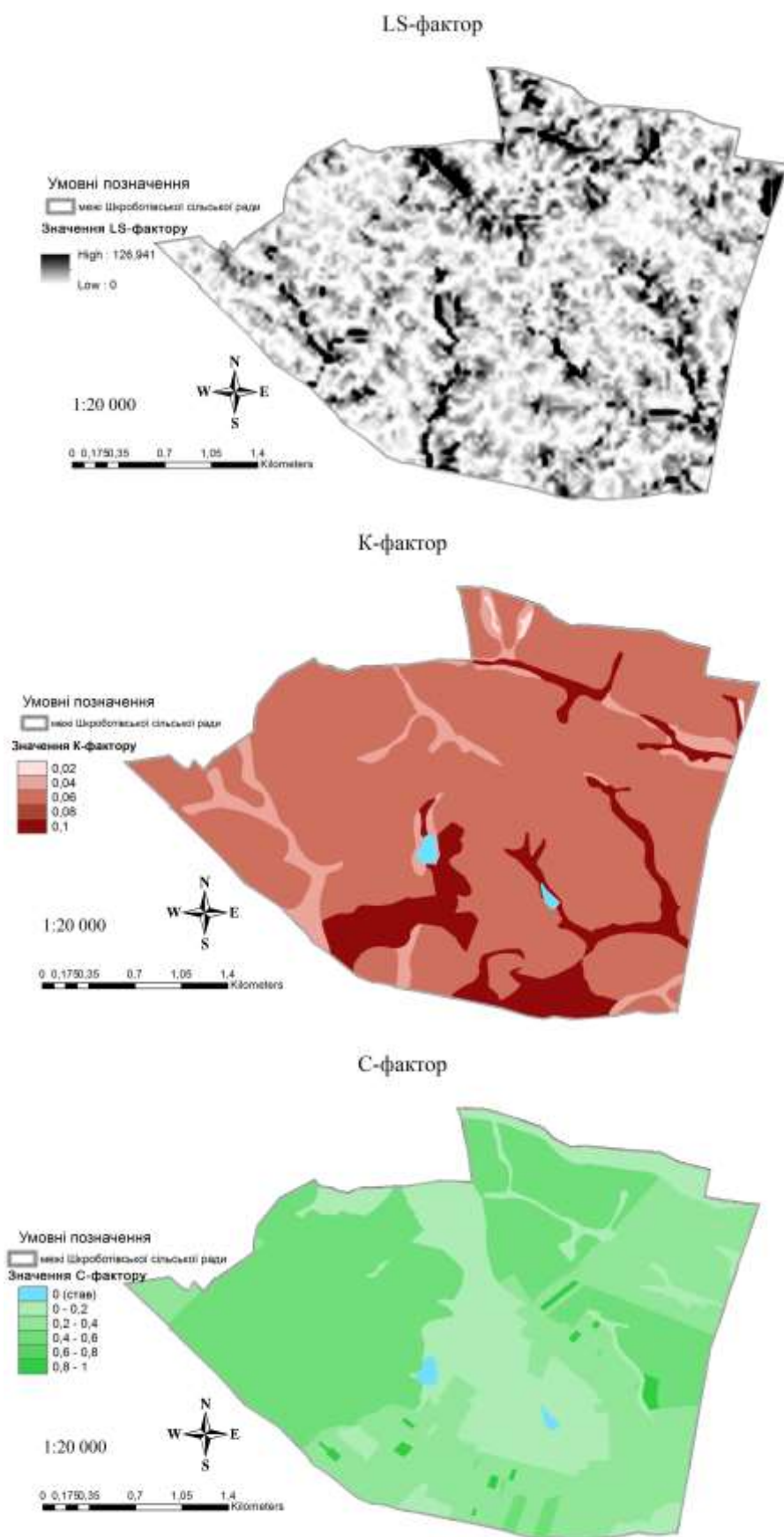


Рис.1 – Картограми розподілу LS-фактору, K-фактору і C-фактору у межах Шкrobotівської сільської ради

Для розрахунку *K*-фактору було використано модернізовану номограму [1] для визначення ерозійності ґрунтів. Значення *K*-фактору в межах Шкроботівської сільської ради змінюється від 0,017 до 0,093. Середнє значення становить 0,056. Найбільшу площу займають ґрунти зі значенням *K*-фактору від 0,060 до 0,080. Більшість ґрунтів на території представлено темно-сірими опідзоленими, чорноземами опідзоленими, чорноземами глибокими малогумусними.

C-фактор розрахований на основі даних про використання земель і таблиць узагальнених значень *C*-фактору для певних видів рослинності та землекористування [12, 13, 16]. Найнижчі значення *C*-фактору відповідають забудованим землям (центральна частина Шкроботівської сільської ради), а також лісу, чагарникам,

сіножатям і пасовищам, які розміщені кількома масивами на півночі і півдні досліджуваної території. Максимальні значення *C*-фактору характерні для чистого ґрунту, який не захищений рослинністю. Також високим значенням *C*-фактору відповідають території, на яких вирощують сою та кукурудзу.

Кінцевим результатом проведених розрахунків є картограма прогнозованої ерозії ґрунту (потенційних втрат ґрунту) (Рис. 2). Вона була створена шляхом перемножування всіх факторів рівняння RUSLE у вигляді растрів за допомогою модуля Raster Calculator [6]. Потенційний змив ґрунту внаслідок ерозійних процесів за рік на території Шкроботівської сільської ради змінюється від 0 до 57,25 т/га, середнє значення 1,8 т/га. Критичні значення приурочені до незначних площ.

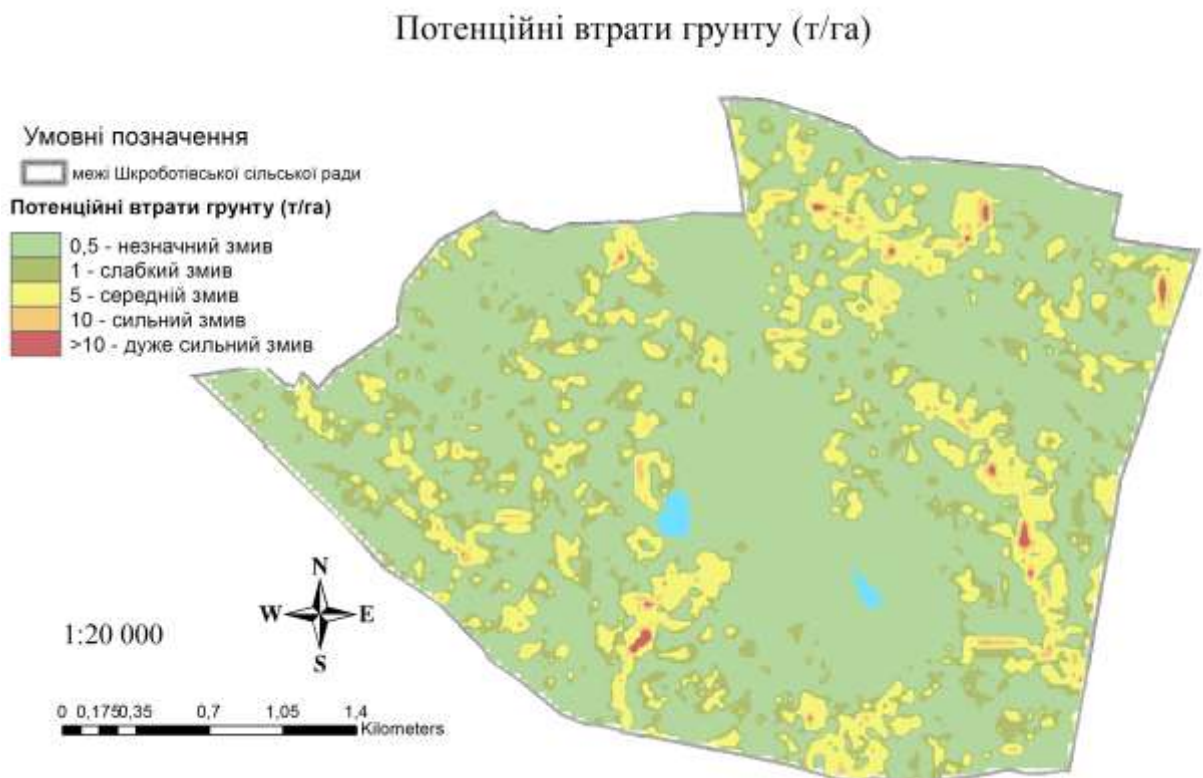


Рис. 2 – Картограма потенційних втрат ґрунту Шкроботівської сільської ради внаслідок ерозії

Найменші значення потенційних втрат ґрунту спостерігаються під житловою та громадською забудовою, а також під лісом. Максимальні значення втрат ґрунту найбільше корелюються з фактором рельєфу, тобто відповідають схилам з найменшою довжиною та найбільшою крутизною. Також максимальний змив

відбувається на чистому незахищеному ґрунті, трохи менший – на ріллі з просапними культурами. Цілковито логічно співвідносяться високі показники потенційного змиву і середньо- та сильнозмитими відмінами ґрунтів.

Ділянки, з яких відбувається незначний змив ґрунту (до 0,5 т/га), займають велику

площу. В основному, це центральна частина, а також територія на півночі, північному сході і північному заході Шкроботівської сільської ради. Ділянки з незначним змивом ґрунту відповідають підвищеному вирівняному рельєфу і територіям з найнижчими значеннями С-фактору.

Ділянки зі слабким змивом ґрунту (0,5-1 т/га) розміщуються невеликими масивами у межах всієї території Шкроботівської сільської ради. Вони в основному поширені поряд з ділянками із середнім змивом.

Ділянки, змив з яких відповідає середнім значенням (1-5 т/га), розміщуються певними скупченнями у межах всієї території дослідження, за винятком центру, частини півночі, північного сходу і північного заходу Шкроботівської сільської ради. Основні масиви з середніми значеннями змиву ґрунту простягаються з півночі на південний схід, а також з заходу на південь. Вони відповідають лінійно видовженим формам з найнижчими відмітками, а також схилам з великою крутизною. Також на ділянках з середнім змивом відмічаються високі значення К-фактору та вищі, ніж середні, значення С-фактору.

Ділянки з сильним змивом (5-10 т/га) займають незначну площу. Вони пов'язані з ділянками з середнім змивом і зустрічаються серед них невеликими масивами на півдні, південному сході та південному заході, півночі та на заході досліджуваної території.

Ділянки з дуже сильним змивом (більше 10 т/га) також займають невелику площу. Вони розміщені на півночі, північному заході, заході та південному заході. В їх межах спостерігаються високі значення LS-фактору та К-фактору, вищі від середніх значення С-фактору. Ці ділянки відповідають зниженням у рельєфі. Пояснюється це тим, що на даних територіях відбувається яроутворення. Хоч абсолютна висота місцевості є незначною, але перепади висоти великі і, як наслідок, велика крутизна схилів. А крутизна схилу значною мірою впливає на швидкість стікання води, таким чином сильніше впливає на ерозію ґрунтів. Тому змив

ґрунту у межах таких ділянок відбувається інтенсивно.

Отже, хоча більша частина території дослідження має невисокі потенційні втрати ґрунту, які відповідають нормальній ерозії, на певних ділянках відбувається сильний і дуже сильний змив ґрунту. Ділянки, які піддаються ерозії у значній мірі, потребують подальшого моніторингу та впровадження ґрунтозахисних протиерозійних заходів.

Висновки. Проведені дослідження ерозійних процесів ґрунтів Шкроботівської сільської ради Шумського району Тернопільської області дають підставу зробити такі висновки:

1. Модель USLE/RUSLE дозволяє проводити дослідження на різних територіальних рівнях, мінімізує обсяги польових робіт і потребує мінімальної кількості вхідних даних. На жаль, модель потребує польової верифікації отриманих даних.

2. Розрахувавши складові модифікованого універсального рівняння оцінки ерозійних втрат ґрунту RUSLE (фактори R, K, LS, C, P), було виявлено, що на просторову диференціацію ерозійних процесів ґрунтів Шкроботівської сільської ради найбільше впливають фактор рельєфу та сівозміни. Фактор ґрунту відрізняється в основному за рахунок вмісту гумусу, оскільки гранулометричний склад у межах всієї території незмінний, а водопроникність і структурність ґрунтів змінювались мало. Фактор ґрунтозахисних заходів і фактор ерозійної здатності дощу мають сталі значення і впливають тільки на величину змиву, а не на його просторову диференціацію.

3. Максимальні значення потенційного змиву спостерігаються в південно-західній частині, а також простягаються смугою з північного заходу на південний схід Шкроботівської сільської ради. Вони відповідають схилом землям з високими значеннями крутизни схилів, які використовуються під рілля. Мінімальні значення потенційного змиву ґрунту відповідають ґрунтам під лісом, а також під забудованими землями

Список літератури

1. *Заславский М. Н.* Эрозиоведение / М. Н. Заславский. – М. : Высш. шк., 1983. – 320 с.
2. *Ковальчук І. П.* Ерозійні процеси Західного Поділля : польові, стаціонарні, експериментальні та морфометричні дослідження / І. П. Ковальчук. – К.-Львів : Ліга-Прес, 2013. – 296 с.
3. К вопросу построения модели стока и смыва почвы при ливневой эрозии / И. Г. Лавровский, А. Ф. Игуменцев,

С. В. Анисимов, Л. Г. Щеголева // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. – М. : Изд-во МГУ, 1987. – С. 89–90.; **4.** Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв / Г. А. Ларионов. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 200 с. **5.** Светличный А. А. Пространственное геоинформационное моделирование и прогноз водной эрозии почв / А. А. Светличный // Проблемы непрерывной географической освіти і картографії. – 2013. – Вип. 17. – С. 44-47; **6.** Справка ArcGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://resources.arcgis.com/ru/help/>; **7.** Срибный И. К. Среднегодовой сток воды и смыв почвы со склонов / И. К. Срибный // Водохозяйственное строительство на малых реках. – К. : Будівельник, 1977. – С. 145–147. **8.** Сурмач Г. П. Опыт расчета смыва почв для построения комплекса противоэрозионных мероприятий / Г. П. Сурмач // Почвоведение. – 1979. – №4. – С. 92-103.; **9.** Технічний звіт крупномасштабного обстеження ґрунтового покриву Шкроботівської сільської ради Шумського району Тернопільської області (фондові матеріали); **10.** Швец Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка / Г. И. Швец – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.; **11.** Foster G. R. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction / Foster G. R., Wischmeier W. H. // Trans. Am. Soc. Agric. Engrs. – 1974. – 17. – P. 305-309.; **12.** Morgan R.P.C. Soil Erosion and Conservation. 3rd edition. Blackwell Publishing, Oxford, 2005. – 304 p.; **13.** Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) / Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A. et al. // USDA Agricultural Handbook. – 1997. – N.703. **14.** Renard, K. G. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE / K. G. Renard, J. R. Freimund // J. Hydrol. – 1994. – 157. – P. 287-306.; **15.** Wischmeier W. H. Evaluation of factors in the soil-loss equation / W. H. Wischmeier, D. D. Smith, R. E. Uhland // Agricultural Engineering. – 1958. – V. 39. – P. 458–462. **16.** Wischmeier W. H. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains / Wischmeier W. H., Smith D. D. // Agricultural Handbook. – 1965. – N.282.

Мисько К. А. Геопросторове моделювання ерозійних процесів на локальному рівні. Розглянуто можливість геоінформаційного моделювання ерозійних процесів на локальному рівні (на прикладі с. Шкроботівка Шумського району Тернопільської області). Оцінено вплив різних факторів на поширення та інтенсивність ерозійних процесів. Завдяки інтеграції факторних карт в ГІС отримано просторовий розподіл втрат ґрунту під впливом площинної ерозії.

Ключові слова: ерозійні процеси, моделювання ерозійних процесів, геоінформаційна просторова модель ерозійних процесів, RUSLE.

Mysko K. A. Geospatial modelling of erosion processes at a local scale. The paper considers the possibility of GIS-based modelling of erosion processes at a local scale based on the case study from Shkrobotivka village in Shumsk district, Ternopil region. The influence of various factors on the distribution and the intensity of erosion processes has been estimated. The integration of the factor maps using GIS has revealed the spatial distribution of soil losses due to sheet erosion.

Keywords: erosion processes, erosion processes modelling, GIS-based spatial model of erosion processes, RUSLE.

Мисько К. А. Геопространственное моделирование эрозионных процессов на локальном уровне. Рассмотрена возможность геоинформационного моделирования эрозионных процессов на локальном уровне (на примере с. Шкроботівка Шумского района Тернопольской области). Оценено влияние различных факторов на распространение и интенсивность развития эрозионных процессов. Благодаря интеграции факторных карт в ГИС получено пространственное распределение потерь почвы в результате плоскостной эрозии.

Ключевые слова: эрозионные процессы, моделирование эрозионных процессов, геоинформационная пространственная модель эрозионных процессов, RUSLE.

Надійшла до редколегії 04.11.2015

УДК 528; 91(075.8); 577.4

Бондаренко Е. Л., Шорохова Р. С.

*Київський національний університет
імені Тараса Шевченка*

СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНИХ КАРТ ЗАСОБАМИ ІНТЕРАКТИВНОГО КАРТОГРАФІЧНОГО ІНТЕРНЕТ-СЕРВІСУ

Ключові слова: геоінформаційне картографування, інтерактивний картографічний Інтернет-сервіс, програмний продукт, структурно-географічна модель

Вступ. Розвиток мережі Інтернет в останні роки привів до подальшого інтенсивного удосконалення різних класів програмного забезпечення, що використовується для картографування і завантажується безпосередньо із