



УДК 574.474:004.657

Застосування геоінформаційних систем в оцінюванні розвитку яружно-балкової ерозії степової зони України

Н.М. Цветкова¹, І.І. Сараненко², А.О. Дубина¹

¹Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ, Україна

²Херсонський державний університет, Херсон, Україна

На території степової зони України з допомогою GPS навігатора та нівеліра встановлено координати вершин, конфігурацію меж, висоту, довжину, ширину 400 ярів, балок і байраків. Визначено вміст заліза у шарі 0–50 см. Отримані дані імпортовано у QuantumGis і нанесено на карту розораності земель України. Осередки скупчення досліджуваних об'єктів виявлено у центральній та східній частинах Степу. Аналіз причин показав комплексну дію чинників. За рік спостережень виявлено, що площа кожного яру зросла у середньому на 5 м², висота – на 7 см, довжина – на 24 см, ширина – на 21 см, концентрація Fe знизилась на 20 мг/кг. Основні причини – значні опади та нестійкий трав'яний покрив. Площа балок зросла на 1 м², висота – на 4 см, довжина – на 14 см, ширина – на 9 см, концентрація Fe залишилась без змін. Унаслідок того, що деревні рослини стримують розвиток ерозійних процесів і збагачують ґрунти мікроелементами, у байраків спостерігається зменшення висоти на 1 см та зростання концентрації Fe на 24 мг/кг, значення інших показників не змінились. У середовищі QuantumGis створено електронні карти щільності та поширеності ярів, балок і байраків у степовій зоні України. За їх допомогою визначено залежність між досліджуваними процесами та природними умовами, межові кути повороту, площу яружно-балкової ерозії. Створено проєкт бази даних щодо вмісту мікроелементів та особливостей їх міграції за байрачним профілем із метою подальшого застосування у процесі розроблення необхідних заходів боротьби з ерозією.

Ключові слова: яружно-балкова мережа; степова зона України; QuantumGis; GPS; координати вершин

Application of geographic information systems in evaluating the development of gully erosion in the steppe zone of Ukraine

N.M. Tsvetkova¹, I.I. Saranenko², A.O. Dubina¹

¹Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine

²Kherson State University, Kherson, Ukraine

On the territory of the steppe zone of Ukraine using GPS and leveling set the coordinates of the vertices, the configuration of borders, height, length, width 400 of cutbanks, gullies and ravines are established. Content of iron in the layer of 0–50 cm is determined. Obtained data is imported into QuantumGis and plotted on the map of the tilled soil of Ukraine. The centers of the clusters of studied objects are detected in the Central and Eastern parts of the steppe. Analysis of the causes revealed a complex of factors. For the year of observations it was revealed that the area of each ravine grew on average by 5 m², height by 8 cm, length by 24 cm, width by 21 cm, and concentration of Fe decreased by 20 mg/kg. The main reasons are significant precipitation and sustainable grass cover. Size of the gullies increased by 1 m², height – by 4 cm, length by 14 cm, width by 9 cm, concentration of Fe remained unchanged. Due to the fact that woody plants hinder the development of erosion and enrich the soil minerals, ravines feature the decrease in height by 1 cm and the concentration of Fe increase at 24 mg/kg, with the values of other indicators unchanged. In the environment of QuantumGis the maps of electronic density and the prevalence of cutbanks, gullies and ravines in the steppe zone of Ukraine were developed. With their help, we determined the dependence

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ, 49010, Україна

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Ave., 72, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Tel.: +38-067-727-58-20, +38-067-727-57-11.

Херсонський державний університет, вул. 40 років Жовтня, 27, Херсон, 73000, Україна

Kherson State University, 40 rokiv Zhovtnya Str., 27, Kherson, 73000, Ukraine

Tel.: +38-050-786-05-93. E-mail: i.i.saranenko@ukr.net

between the processes and natural conditions under study, the limiting angles of rotation, the area of gully erosion. Database of the project has been created with regard to the content of trace elements and features of their migration across the ravine profile for the purpose of conducting research and further use in the process of developing appropriate measures to combat erosion.

Keywords: gully network; steppe zone of Ukraine; QuantumGis; GPS; coordinates of vertices

Вступ

Яружно-балкова ерозія являє собою складний, активний процес формування рельєфу. Як найвища ланка ерозійної мережі розвивається протягом століть та виникає у разі порушення природних умов формування стоку на схилах річкових долин. Будь-який вид господарської діяльності підвищує інтенсивність розвитку ярів і балок, що руйнують земельні угіддя, інженерні об'єкти, комунікації (Zorina, 2003).

Перші письмові згадки про форми рельєфу, що можуть бути віднесені до ярів і балок, знайдені у стародавніх літописах і датовані ще XIV століттям. М.В. Ломоносов (1753) вивчав водну ерозію та виділив молоді форми рельєфу, що утворюються у результаті роботи тривалих дощів та злив. А.Т. Болотов (1781) відзначав зростання водоріїв, що виникають при повенях і паводках. В.А. Кіпріанов (1857) виділив стадії розвитку ярів і перетворення їх на балки. І.Ф. Леваковський (1890) описав еволюційний ряд ерозійних форм. Запропоновані схеми лягли в основу минулих і сучасних класифікацій. У кінці XIX – на початку XX століття опубліковано найважливіші праці В.В. Докучаєва та його учнів. Саме в них уперше висловлено думку про єдність процесу утворення всіх ерозійних форм і їх взаємні переходи. Докучаєв вважав, що яри – початок розвитку лінійної форми, яка через балки перетворюється на кінцеву стадію розвитку – долину річки, та виділив два основні чинники, що впливають на утворення ярів: пухкість підстилаючих порід та глибина річкових долин (Dokuchaev, 1949; Kogorov, 2005; Kamzist, 2009). О.Л. Бельгард дослідив байраки Південного Сходу України та виділив декілька варіантів, у тому числі північний та південний (Bel'gard, 1971). Значний внесок у розвиток уявлень про яри та балки зробили В.І. Масальський (1887), Е.Е. Керн (1894), В.П. Жаданівський (1908), Н.І. Маккавеїв (1955), Т. Чудек (1962), Г.І. Швєбс (1974), В.П. Лідов (1981), Р. Мейзе (1986) (Kem, 1884; Masalsky, 1887; Zhdanovsky, 1908; Maccaveev, 1955; Chudek, 1962; Lidov, 1981; Maize, 1986). Перші карти яружності були складені В.В. Докучаєвим і А.С. Козменком. У середині XX століття С.С. Соболев опублікував карту густоти яружно-балкової мережі. В 1970–1980-ті роки під керівництвом Б.Ф. Косова за єдиною методикою складено карти яружності всієї території СРСР. Карта поширення ярів на території СРСР розроблена Є.А. Мироною у 1971 році (Mironova, 1971). Із великих робіт кінця XX – початку XXI століття виділяються праці М.М. Назарова, І.І. Рісіна, Ю.Г. Симонова, Е.Ф. Зоріної, що мають принципове значення для формування поглядів на походження та розвиток верхніх ланок ерозійної мережі (Strahler, 1958; Kamzist, 2009).

У третьому тисячолітті розвиток інформаційних технологій забезпечує швидкість і ефективність генерації вхідних даних, відкриває нові можливості моделювання яружно-балкової ерозії та легку оцінку відносної небезпечності землекористування (Woodhouse, 2000;

Ranieri, 2002; Rosa, 2002; Smemoe, 2004; An, 2014; Aiello, 2015; Ferreira, 2015; Chandramohan, 2015). Саме тому виникла необхідність дослідження чинників, що сприяють утворенню ярів, створення зручних систем моніторингу та обґрунтування методів боротьби з яружно-балковою ерозією.

Об'єкт дослідження – ланки яружно-балкової мережі (яри, балки, байраки) степової зони України. Мета статті – створити карти поширеності ярів, балок і байраків степової зони України у середовищі Quantum GIs (Cox, 1998; Fedorov, 2005; Sarzhanov, 2012), показати можливості ГІС в оцінюванні розвитку яружно-балкової ерозії.

Матеріал і методи досліджень

Вимірювання координат вершин і точок для побудови конфігурації меж ярів, балок і байраків проводили GPS навігатором ($\Delta = \pm 1,0''$), висоту – нівеліром ($\Delta = \pm 0,1$ см), довжину та ширину – рулеткою ($\Delta = \pm 0,2$ см). Вміст заліза визначали методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу. Отримані дані імпортували у Quantum GIs. Для проведення аналізу причин формування та поширення яружно-балкової ерозії використано картографічні матеріали 2004 та 2007 років (Rudenko, 2007): природні зони України, площа земель під ярами, густина річкової мережі, розчленованість рельєфу, лісистість території, середня кількість опадів, розораність земель. Обчислення проводили за формулами (Zorina, 2003):

$$N = L/S, \quad (1)$$

де N – щільність яружно-балкової мережі, км/км², L – сумарна довжина усіх ярів і балок у водозбірному басейні (км), S – площа водозбірного басейну (км²);

$$P = A/S, \quad (2)$$

де P – щільність ярів (од./км²), A – кількість яружних вершин у водозбірному басейні (од.).

Вимірювання межових кутів повороту, обчислення площі та різниці у висоті, довжині, ширині, концентрації Fe виконували у середовищі Quantum GIS.

Результати та їх обговорення

Аналіз картографічних матеріалів і природних умов (табл. 1) степової зони України (Bilova, 1999; Verlyant, 2002; Nazarenko, 2006; Gutsulyak, 2008; Klimenko, 2010; Kovalev, 2011) показав, що поширення ярів, балок, байраків викликане сприятливими природними умовами та діяльністю людини: переважанням лесових та піщаних порід, найбільш схильних до розмивання поверхневими стоками; наявністю чергування висот; нахилу поверхні; низьким показником лісистості (3%); зливовим характером опадів у теплий період року; 75% розораності земель прискорюють розвиток лінійної ерозії та збільшують площу поверхневого стоку внаслідок зрошування.

Значення екологічних чинників у розвитку яружно-балкової ерозії

№	Екологічні чинники	Основні елементи	Характерний показник	Діюча складова
1	Геологічні умови	Придобруджинський прогин, Причорноморська западина, Український щит, Пд Дніпровсько-Донецької западини, Пд.-Зх. схил Воронезького масиву, Донецька складчаста споруда, Причорноморська група прогинів, Скіфська плита	Середня швидкість розмиву лесових порід та пісків – 0,7–3,7 м/с	Лесові породи різко втрачають міцність структурних зв'язків через зволоження
2	Гідрологічні умови	Дунай, Дніпро, Південний Буг, Сіверський Донець, Дністер. Формують свій стік Оріль, Самара, Інгулець, Інгул, Кальміус, Молочна, Берда	Середня густина річкової мережі – 0,21 км/км ² . Типові річки з розчленованими долинами	Широкі долини з пологими схилами. Повздовжні схили складають 1–10 м/км, зменшуються з витoku до гирла
3	Рельєф	Причорноморська низовина, Пд. Придніпровської височини та низовини, Пд. Подільської височини, Приазовська низовина, Приазовська височина, Донецька височина	Середній інтегральний коефіцієнт розчленованості рельєфу – 1,25	Чергування височин та низовин: 0–50–100 м над рівнем моря
4	Рослинність	Трав'яниста степова рослинність – дернинні злаки. Деревні породи зустрічаються у заплавах, уздовж берегів річок, заповідниках і лісових насадженнях	Показник лісистості складає 3% площі степової зони	Дерева формують незначні байрачні та заплавні ліси
5	Кліматичні умови	Клімат помірно континентальний. Середня температура січня – від –2 до –9 °С; липня – від +20 до +24 °С. Середня кількість опадів – 400 мм.	Коефіцієнт зволоження низький – 0,8	Зливовий характер опадів у теплий період року
6	Антропогенний вплив	Сільськогосподарське освоєння території (рілля, сіножаті, пасовища)	Розораність земель – 75%	Розвиток лінійної ерозії; збільшення поверхневого стоку

У процесі роботи (з травня 2013 року) знайдено понад 400 ланок яружно-балкової мережі. Встановлено координати вершин і ключових точок для побудови конфігурації ярів, балок, байраків, виміряно їх висоту, довжину, ширину, обчислено площу, визначено вміст заліза у шарі ґрунту 0–50 см, оцінено розвиток яружно-балкової ерозії (табл. 2). За рік спостережень виявлено, що площа кожного яру зросла у середньому на 5,1 м², висота – на 7,5 см, довжина – на 24,0 см, ширина – на 21,3 см, концентрація Fe знизилась на 20 мг/кг. Основні причини цього – значні опади та нестійкий трав'яний покрив. Площа балок зросла на 1,2 м², їх висота – на 3,5 см, довжина – на 13,8 см, ширина – на 8,5 см, концентрація Fe залишилась без змін. Унаслідок того, що деревні рослини стримують розвиток ерозійних процесів і збагачують ґрунти мікроелементами,

у байраків спостерігається зменшення висоти на 1,0 см та зростання концентрації Fe на 24 мг/кг, значення інших показників не змінилися. Дані імпортовано у QuantumGis, створено карту поширення ярів, балок і байраків у степовій зоні України (рис. 1). На карті простежуються певні осередки скупчення великих кількостей ярів. Перший із них розташований між Дніпропетровськом та Запоріжжям. Таке його розташування можна пояснити розчленованістю рельєфу річками, що впадають у Каховське водосховище та межею між Придніпровською височиною та Причорноморською низовиною, розораністю земель близько 70%. Інший осередок знаходиться на північному сході степової зони з горизонтальною розчленованістю рельєфу та наявністю нахилу поверхні, густою річковою мережею, розораністю земель 65–70%.

Таблиця 2

Елементи бази даних деяких ланок яружно-балкової мережі

Назва ланки яружно-балкової мережі	Координати вершин, $\Delta = \pm 1,0''$		Динаміка показників за період дослідження, $x \pm \Delta$				
	широта	довгота	висота, см	довжина, см	ширина, см	S, м ²	Fe, мг/кг
Яр Попаснянський	49,5104977	38,3972168	+8,0 ± 0,2	+20,0 ± 0,5	+20,0 ± 0,5	+4,0	-21,1 ± 1,1
Яр Глибокий	49,3450331	37,4819183	+9,0 ± 0,2	+30,0 ± 0,5	+20,0 ± 0,5	+6,0	-23,1 ± 1,2
Яр Лебедів	49,5075996	37,0149994	+6,0 ± 0,1	+21,0 ± 0,5	+22,0 ± 0,5	+4,6	-20,1 ± 1,0
Яр Дончиків	49,5187451	37,0404053	+7,0 ± 0,2	+25,0 ± 0,5	+23,0 ± 0,5	+5,8	-22,1 ± 1,1
Балка Широка	46,9179103	33,5893250	+3,0 ± 0,1	+15,0 ± 0,3	+7,0 ± 0,2	+1,1	-12,1 ± 0,5
Балка Калинова	47,7794821	38,7899780	+5,0 ± 0,1	+18,0 ± 0,3	+10,0 ± 0,2	+1,8	без змін
Балка Михайлівська	49,4000266	35,7014465	+2,0 ± 0,1	+10,0 ± 0,1	+9,0 ± 0,2	+0,9	без змін
Балка Сухомлинова	49,6845125	36,0653687	+4,0 ± 0,1	+12,0 ± 0,1	+8,0 ± 0,2	+0,9	без змін
Байрак Безіменний	49,4866392	36,3805389	без змін	без змін	без змін	без змін	+15,5 ± 3,1
Балка Байрак	49,6951735	35,8676147	без змін	без змін	без змін	без змін	+17,8 ± 3,7
Байрак Горіховий	49,5312251	36,3894653	-1,0 ± 0,1	без змін	без змін	без змін	+25,7 ± 4,1
Байрак Вільховий	48,0041656	38,3601379	-1,0 ± 0,1	без змін	без змін	без змін	+28,5 ± 4,9

За допомогою аналітичних засобів QuantumGis формул 1 та 2 створено карту щільності яружно-балкової мережі (рис. 2). Осередками високої щільності є Запорізька та Донецька області, де зафіксовано зростання площі ярів

на 6,0 м². Вся інформація про координати, назву, площу, довжину, висоту об'єктів занесена до бази даних шляхом безпосереднього введення з GPS навігатора й у разі необхідності може бути звідти отримана. Під час

періодичності проведення замірів параметрів ярів, балок і байраків отримаємо ряди даних, що описують їх розвиток у часі. Наближене зображення Калинової балки (рис. 3) є результатом нашої роботи: зафіксовано конфігурацію меж, лінію та координати вершини балки, лінія розвитку небезпечних ерозійних процесів; визначено площу фігури

та межові кути повороту. Створено базу даних щодо вмісту мікроелементів, у тому числі заліза у шарі ґрунту 0–50 см й особливостей їх міграції за байрачним профілем (Tsvetkova, 2013) з метою проведення досліджень і подальшого використання у процесі розроблення необхідних заходів боротьби з ерозією.

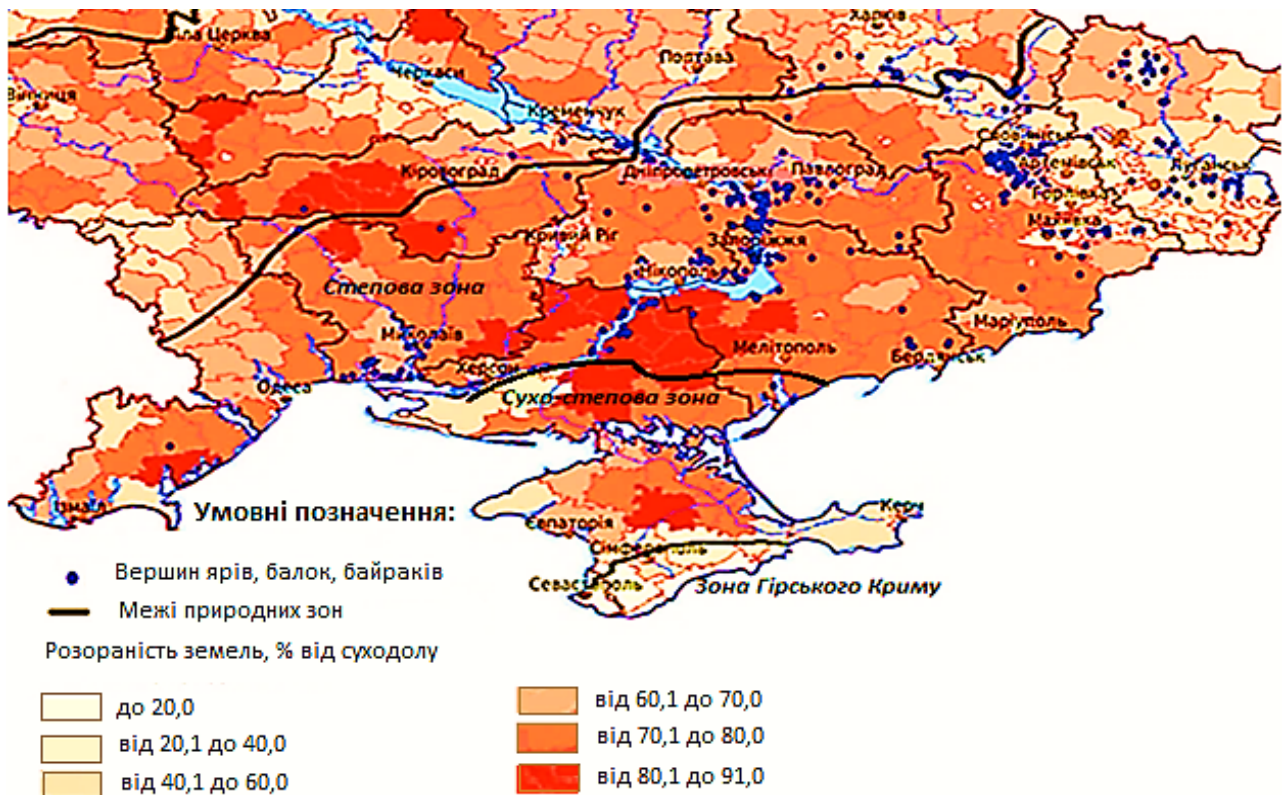


Рис. 1. Поширення ярів, балок і байраків у степовій зоні України

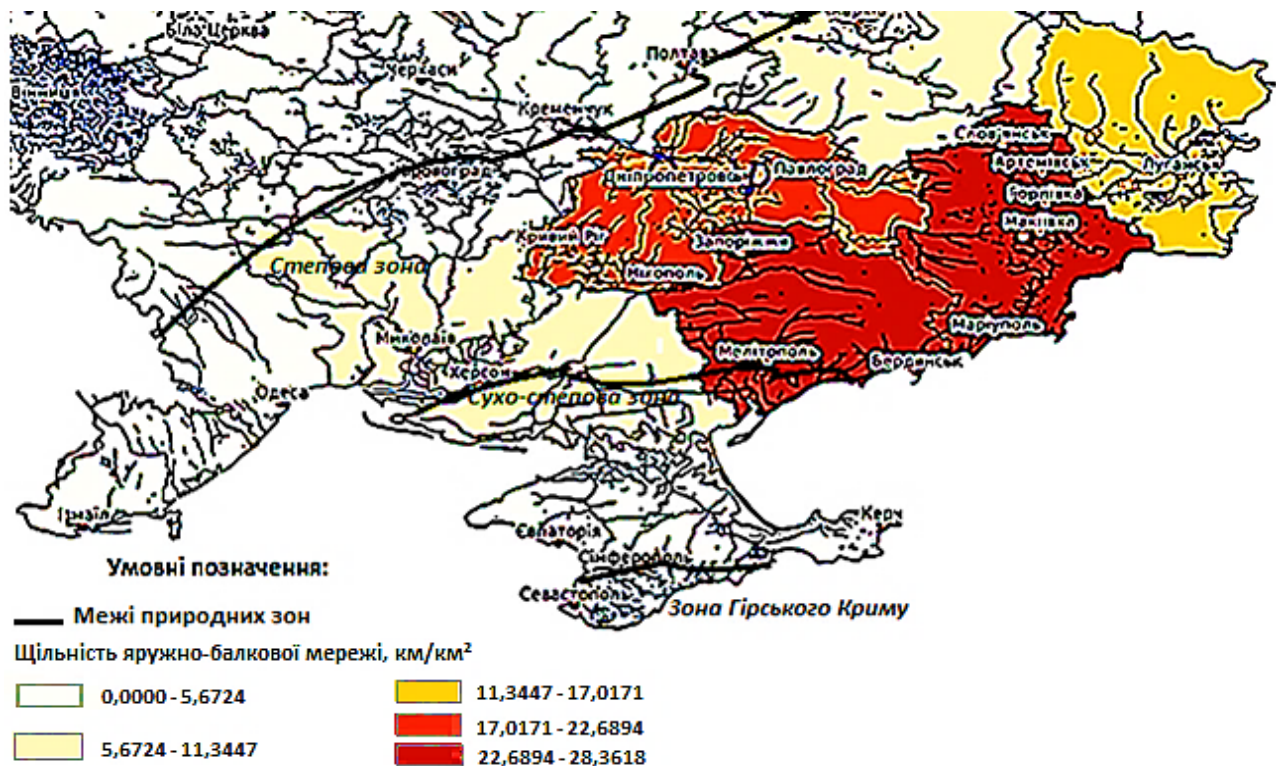


Рис. 2. Карта щільності яружно-балкової мережі



Умовні позначення:

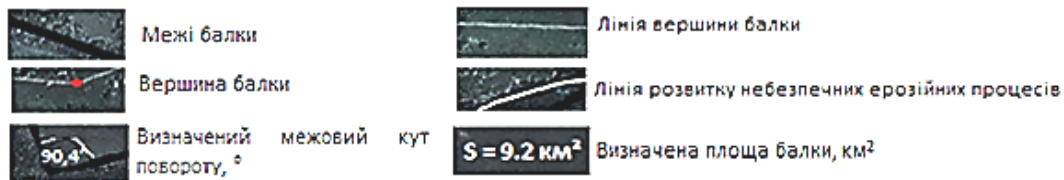


Рис. 3. Наближене зображення Калинової балки у QuantumGis

До основних чинників, що впливають на розвиток ярів, балок і байраків, належать характер підстиляючих гірських порід, особливості кліматичних умов, рельєф, густота річкової мережі, рослинний покрив, наявність лісів, будь-яка господарська діяльність (Hu, 2007; Conforti, 2013; Routschek, 2014). Визначальний із них назвати складно, саме їх комплексна дія створює сприятливі або несприятливі умови для утворення ярів у тій чи іншій природній зоні (Kopovalova et al., 2010; Faly and Vrugadygenko, 2014). Поширення яружно-балкової ерозії у степовій зоні України пов'язане з переважаанням лесових порід, найбільш схильних до процесів розмивання, із посушливим літом та інтенсивними зливами, під час яких випадає більша частина опадів за рік, з відсутністю лісових насаджень, які б захищали схили від ерозії, розчленованістю поверхні. Антропогенна діяльність є вирішальною, тому що близько 80% ярів утворюються в межах орних земель (Pakhomov et al., 2009; Kulbachko et al., 2011). Ерозійні процеси впливають на фізико-хімічні властивості ґрунтів, вміст та міграцію хімічних елементів (Wyshnytzky, 2015). Зниження вмісту заліза в ярах у шарі ґрунту 0–50 см становить близько 20 мг/кг (1,0%) щорічно, а їх площа зросла на 5,1 м²/рік.

Висновки

Створені за допомогою геоінформаційних систем карти поширеності ярів, балок, байраків та щільності яружно-балкової мережі у степовій зоні України точно підтверджують комплексну дію чинників на процеси їх

утворення, дають змогу визначити залежність між досліджуваними процесами та природними умовами, оцінювати процеси розвитку яружно-балкової ерозії. Створена база даних, що містить усі імпортовані значення, має функції математичної та статистичної обробки результатів та може бути доповнена. Застосування геоінформаційних систем підвищує точність оцінювання та прогнозування розвитку ярів, балок і байраків.

Бібліографічні посилання

Aiello, A., Adamo, M., Canora, F., 2015. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with Rusle 3d and Usped at river basin scale in southern. *Catena* 131, 174–185.

An, J., Zheng, F., Wang, B., 2014. Using ¹³⁷Cs technique to investigate the spatial distribution of erosion and deposition regimes for a small catchment in the black soil region, Northeast. *Catena* 123, 243–251.

Bel'gard, O.L., 1971. *Stepnoe lesovedenie* [Steppe forest science]. *Lesnaya promyshlennost'*, Moscow (in Russian).

Berlyant, A.M., 2002. *Kartografiya* [Cartography]. *Aspekt Press*, Moscow (in Russian).

Bilova, N.A., Travlyeyev, A.P., 1999. *Prirodni lisi ta stepovi grunti* [Natural forests and steppe soils]. *Dnipropetrovs'k Univ. Press*, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).

Chandramohan, T., Venkatesh, B., Balchand, A.N., 2015. Evaluation of three soil erosion models for small watersheds. *Aquatic Procedia* 4, 1227–1234.

Chudek, T., 1962. *Soucasn strukturna eroze na svfzich vokoli Bilovce*. *Prirodoved. Casop, Slezsky* 23(3), 355–361.

Conforti, M., Buttafuoco, G., Leone, A.P., Aucelli, P., Robustelli, G., Scarciglia, F., 2013. Studying the relationship be-

- tween water-induced soil erosion and soil organic matter using Vis-Nir spectroscopy and geomorphological analysis: A case study in southern. *Catena* 110, 44–58.
- Cox, C., Madramootoo, C., 1998. Application of geographic information systems in watershed management planning in St.-Lucia. *Comput. Electron. Agr.* 20(3), 229–250.
- Dokuchaev, V.V., 1949. *Izbrannye trudy* [Selected works], Akademiya Nauk SSSR, Moscow (in Russian).
- Faly, L.I., Brygadyrenko, V.V., 2014. Patterns in the horizontal structure of litter invertebrate communities in windbreak plantations in the steppe zone of the Ukraine. *J. Plant Prot. Res.* 54(4), 414–420.
- Fedorov, A.I., Panshin, E.I., Goldyrev, L.T., 2005. GIS osnovy prirodopol'zovaniya [Geographic information bases of wild-life]. SGGa, Novosibirsk (in Russian).
- Ferreira, V., Panagopoulos, T., Cakula, A., Andrade, R., Arvela, A., 2015. Predicting soil erosion after land use changes for irrigating agriculture in a large reservoir of southern. *Agric. Sci. Procedia* 4, 40–49.
- Gutsulyak, V.M., 2008. *Landshaftoznavstvo: Teoriya i praktika* [Landscape science: Theory and practice], Knigi – XXI, Chernivtsi (in Ukrainian).
- Hu, G., Wu, Y., Liu, B., Yu, Z., You, Z., Zhang, Y., 2007. Short-term gully retreat rates over rolling hill areas in black soil of Northeast. *Catena* 71(2), 321–329.
- Kamzist, Z.S., Shevchenko, O.L., 2009. *Gidrogeologiya Ukrainy* [Hydrogeology of Ukraine]. Inkos, Kyiv (in Ukrainian).
- Kern, E.E., 1884. *Ovragi, ih zakreplenie, oblesenie i zapruzhivanie* [Ravines, secure them, reforestation and damming]. SPb (in Russian).
- Klimenko, V.G., 2010. *Gidrologiya Ukrainy* [Hydrology of Ukraine]. KhNU imeni V.N. Karazina, Kharkiv (in Ukrainian).
- Konvalova, T.M., Zhukov, O.V., Pakhomov, O.Y., 2010. GIS-podkhod dlya otsenki izmenchivosti elektroprovodnosti pochvy pod vliyaniem pedoturbatsionnoy aktivnosti slepysha (*Spalax microphthalmus*) [Gis-approach for variability assessment of soil electric conductivity under pedoturbation activity of mole rat (*Spalax microphthalmus*)]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 18(1), 58–66.
- Korosov, A.V., 2005. *The techniques of GIS. Applications in ecology: A tutorial*. Petrozavodsk State University, Petrozavodsk (in Russian).
- Kosov, B.F., 1970. *Rost ovragov na territorii SSSR* [The growth of ravines on the territory of the USSR]. Eroziya pochv i ruslovy protsessy. MGU, Moscow (in Russian).
- Kovalev, S.N., 2011. *Ovrazhno-balochnye sistemy v gorodah* [Gullies and ravines systems in the cities]. PrintKoV, Moscow (in Russian).
- Kulbachko, Y., Loza, I., Pakhomov, O., Didur, O., 2011. The zoological remediation of technogen faulted soil in the industrial region of the Ukraine Steppe zone. Behnassi, M. et al. (eds.), *Sustainable agricultural development*. Springer Science + Business Media, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 115–123.
- Lidov, V.P., 1981. *Protsessy vodnoy erozii v zone dernovo-podzolistykh pochv* [Processes of water erosion in the area soddy-podzolic soils]. MGU, Moscow (in Russian).
- Maize, R., Laurent, R., 1986. *Un pseudo-karst dans les argiles (Las Bardenas Navarre-Espagne)*. *Kastologia* 7, 50–52.
- Makkaveev, N.I., 1995. *Ruslo reki i eroziya v ee bassejne* [And the river channel and erosion in its basin]. AN SSSR, Moscow (in Russian).
- Masal'sky, V.I., 1887. *Ovragi chernozemnoj polosy Rossii, ih rasprostranenie, razvitie i deyatelnost* [Ravines in chernozem zone of Russia, their dissemination, diffusion, development and operation]. SPb (in Russian).
- Mironova, E.A., 1971. *Ovrazhnost' territorii SSSR* [Branest the territory of the USSR]. *Geomorfologiya* 3, 289 (in Russian).
- Nazarenko, I.I., Smaga, I.S., Pol'china, S.M., Cherlinka, V.R., 2006. *Zemlerobstvo ta melioratsiya* [Agriculture and land reclamation]. Knigi – XXI, Chernivtsi (in Ukrainian).
- Pakhomov, O., Kul'bachko, Y., Didur, O., Loza, I., 2009. Mining dump rehabilitation: The potential role of bigeminate-legged millipeds (Diplopoda) and artificial mixed-soil habitats. Optimization of disaster forecasting and prevention measures in the context of human and social dynamics. I. Apostol et al. (Eds.) *NATO science for peace and security series*. IOS Press, Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington. pp. 163–171.
- Ranieri, S.B., Lier, Q., Sparovek, G., Flanagan, D.C., 2002. *Erosion database interface (EDI): A computer program for georeferenced application of erosion prediction models*. *Computers and Geosciences* 28(5), 661–668.
- Rosa, D., Mayol, F., Moreno, F., Cabrera, F., Díaz-Pereira, E., Antoine, J., 2002. *A multilingual soil profile database (SDBm Plus) as an essential part of land resources information systems*. *Environ. Modell.* 17, 721–730.
- Routschek, A., Schmidt, J., Kreienkamp, F., 2014. Impact of climate change on soil erosion – A high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony. *Catena* 121, 99–109.
- Rudenko, L.G., 2007. *Natsional'niy atlas Ukrainy* [National Atlas of Ukraine]. Kartografiya, Kyiv (in Ukrainian).
- Sarzhanov, O.A., 2012. *Geoinformatsijni sistemy* [Geoinformation systems]. SNAU, Sumy (in Ukrainian).
- Smemoe, C.M., Nelson, E.J., Zhao, B., 2004. *Spatial averaging of land use and soil properties to develop the physically-based green and ampt parameters for HEC-1*. *Environ. Modell.* 19, 525–535.
- Strahler, A., 1953. *Gypsometrie analysis of erosional topography*. *Bull. Geol. Soc. Am.* 63, 923–938.
- Tejnecký, V., Šamonil, P., Matys Grygar, T., Vašát, R., Ash, C., Drahota, P., Šebek, O., Němeček, K., Drábek, O., 2000. *Transformation of iron forms during pedogenesis after tree uprooting in a natural beech-dominated forest*. *Catena* 132, 12–20.
- Tsvetkova, N.N., 2013. *Osobennosti migratsii organo-mineral'nykh veshchestv i mikroelementov v lesnykh biogeotsenozah stepnoy Ukrainy* [Features of migration of organic and mineral substances and trace elements in forest-steppe ecosystems of Ukraine]. Dnipropetrovsk Univ. Press, Dnipropetrovsk (in Russian).
- Woodhouse, S., Lovett, A., Dolman, P., Fuller, R., 2000. *Using a GIS to select priority areas for conservation*. *Comput. Environ. Urban* 24(2), 79–93.
- Wyshnytzky, C.E., Ouimet, W.B., McCarthy, J., Dethier, D.P., Shroba, R.R., Bierman, P.R., Rood, D.H., 2015. *Meteoric ¹⁰Be, clay, and extractable iron depth profiles in the Colorado Front Range: Implications for understanding soil mixing and erosion*. *Catena* 127, 32–45.
- Zhdanovsky, V.P., 1908. *Opyt issledovaniya ovragov* [Research experience ravines]. Voronezh (in Russian).
- Zorina, E.F., 2003. *Ovrazhnaya eroziya: Zakonomernosti i potentsial razvitiya* [Gully erosion: Patterns and potential for development]. Geos, Moscow (in Russian).

Надійшла до редакції 21.06.2015