
doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.03.087>

УДК 528.88: 332.33

**В.І. Лялько¹, Л.О. Єлістратова¹, О.А. Апостолов¹,
А.Я. Ходоровський¹, В.М. Чехній²**

¹ Державна Установа “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”, Київ

² Інститут географії НАН України, Київ

E-mail: alex@casre.kiev.ua

Експрес-оцінка ерозійно небезпечних ділянок ґрунтового покриву на території України з використанням даних дистанційного зондування Землі з врахуванням кліматичних факторів та рослинності

Представлено академіком НАН України В.І. Ляльком

Розроблено підхід для експрес-оцінки території за ступенем ерозійної небезпеки з використанням даних цифрової моделі рельєфу, кліматичних факторів та рослинності. Проведено експрес-оцінку ерозійно небезпечних ділянок ґрунтового покриву на території України за розробленою методикою. Здійснено ранжування потенційно небезпечних ділянок за ступенем небезпеки.

Ключові слова: *ерозія ґрунтів, дистанційні методи, цифрова модель рельєфу, опади, NDVI.*

Актуальність дослідження. Сучасний етап розвитку людства характеризується значними темпами і масштабами перетворення природного середовища внаслідок зміни клімату. Зміна клімату зумовлює активізацію природних процесів, що призводить до значних економічних збитків. Тому надзвичайно важливим є розробка та здійснення заходів щодо протидії цим процесам. Одним із найбільш загрозливих і швидкоплинних глобальних наслідків сучасної зміни клімату є розширення територій, що зазнають опустелювання, однією з виражених складових якого є деградація ґрунтів. Вивчення розвитку цих процесів є актуальною і важливою дослідницькою проблемою, вирішення якої пов'язане не лише з детальними пошуками причин погіршення якості земель, але й передбачає визначення ризиків їх деградації. Для України, де процеси деградації ґрунтів набули значного розмаху, такі дослідження є вкрай необхідними. Через недостатнє фінансування досліджень стану ґрунтового та рослинного покривів заходи з охорони земель в Україні, що здійснювалися протягом 2007–2016 рр., виявилися незіставними з масштабами деградаційних процесів. На сьогодні в Україні понад 1 млн га деградованих малопродуктивних та техногенно забруднених земель підлягають консервації, 135 тис. га порушених земель — рекультивациі, 269 тис. га малопродуктивних — поліпшенню [1].

© В.І. Лялько, Л.О. Єлістратова, О.А. Апостолов, А.Я. Ходоровський, В.М. Чехній, 2018

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2018. № 3

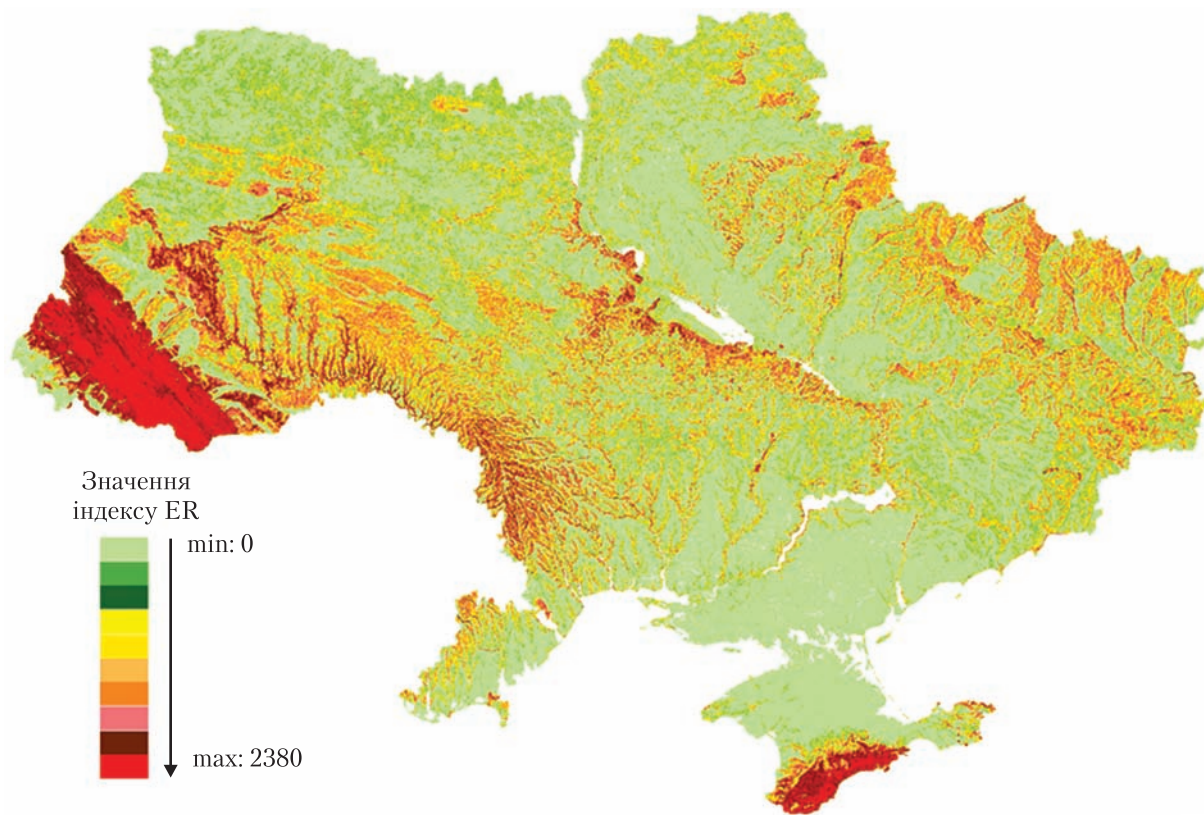


Рис. 1. Розподіл значень індексу інтенсивності ерозійного розчленування рельєфу (*ER*) для території України за даними *DEM* з супутника Shuttle

Слід зазначити, що наявних відповідних архівних матеріалів часто недостатньо для відображення актуальних властивостей ґрунтового покриття значних за площею територій. Це обумовлює необхідність використання багатоспектральних космічних зображень як інформаційної основи, зокрема, для виявлення ризиків погіршення якості земель. При цьому основним завданням обробки багатоспектральних космічних знімків є виділення індикаторів деградації земель. У представленому дослідженні за такий індикатор було взято динаміку ерозії ґрунтів. Оцінка ерозійної небезпеки ґрунтів є важливою у прогнозуванні енергії ерозійних процесів і плануванні протиерозійних заходів.

Ми ставили за мету оцінити ерозійну небезпеку ґрунтів і земель в Україні з врахуванням кліматичних факторів, застосовуючи методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Роботи з моніторингу деградаційних процесів у ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України" проводяться не вперше. З-поміж інших слід відмітити дослідження, в якому представлена модель оцінки ризику деградації земель, яка враховує зміни рослинного покриття і динаміки ерозії ґрунтів на прикладі визначення ризику деградації земель піщаних арен Херсонської області за два періоди: 1983–1991 рр. та 1991–2010 рр., з використанням космічних знімків Landsat 5/TM [2].

Обґрунтовано різні аспекти використання даних дистанційного зондування як складової моніторингу стану земель із застосуванням цільових геоінформаційних систем (ГІС)

[3–6], розглянуто основні підходи до оцінювання розвитку ерозійних процесів на значних за площею територіях на основі даних ДЗЗ [7], висвітлено засади визначення потенційної небезпеки прояву ерозійних процесів за допомогою ГС-технологій [8], на підставі даних просторового геоінформаційного моделювання ерозійних втрат ґрунтів у світі та Україні обґрунтовано підходи до розробки моделей водної ерозії ґрунтів [9], визначено критерії, діагностичні параметри, кількісні та якісні оцінки деградації ґрунтів [10], проведено інтегральну оцінку інтенсивності ерозійних процесів у найбільших річкових басейнах України в балах із урахуванням показників енергії рельєфу, інтегрального коефіцієнта розчленованості і густоти розчленованості рельєфу постійними водотоками, інтенсивності площинного змиву ґрунтів, протиерозійної стійкості покривних рельєфоутворюючих порід тощо [11].

Матеріали та методика дослідження. Методика досліджень базується на аналізі матеріалів аерокосмічної зйомки. Перший етап – збір первинного матеріалу: цифрова модель рельєфу (*DEM*), карта деградації ґрунтів Національного атласу України, космознімки, розміщені у відкритому доступі в мережі “Інтернет” для характеристики рослинності за індексом *NDVI*, усереднена кількість опадів (*R*) за 117 років за гідрометеорологічними станціями. Другий етап – розрахунок первинних карт на всю територію України: індексу інтенсивності ерозійного розчленування рельєфу (*ER*), кількості опадів (*R*) та розподілу значень сумарного індексу (*NDVI*). Усі розрахунки виконувались із застосуванням програми по обробці космічних знімків Erdas Imagine. Третій етап – розрахунок модифікованого індексу *ER* з урахуванням кількості опадів (*R*) і рослинності за індексом *NDVI* та його аналіз.

Виклад основного матеріалу. Розвиток ерозійних процесів на великих за площею територіях доцільно оцінювати за допомогою космічних знімків.

На рис. 1 наведено розподіл значень індексу інтенсивності ерозійного розчленування рельєфу (*ER*). Детально методику розрахунку цього індексу розкрито в роботі [12]. Визначення індексу *ER* для території України дало можливість відстежити просторовий розподіл інтенсивності ерозійних процесів ґрунтів, зокрема виділити території з найбільшою потенційною ерозійною небезпекою.

Для подальших досліджень було розраховано показники усередненої кількості опадів (*R*) та індексу рослинності *NDVI* (рис. 2).

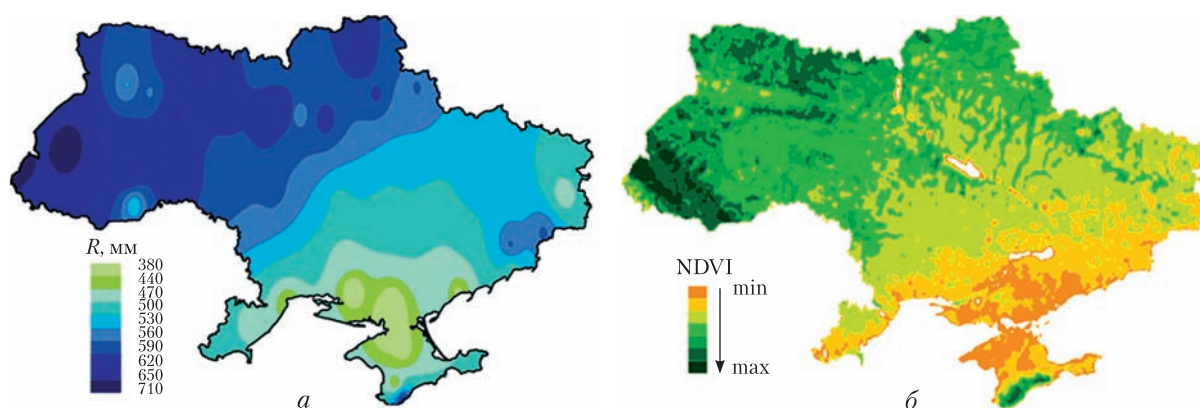


Рис. 2. Карта розподілу середньорічних значень кількості опадів *R* за період з 1900–2016 рр. на території України (*а*) та карта розподілу сумарного індексу *NDVI* за квітень–жовтень 2013 р. (*б*) за продуктом MOD13 за даними супутника TERRA/MODIS

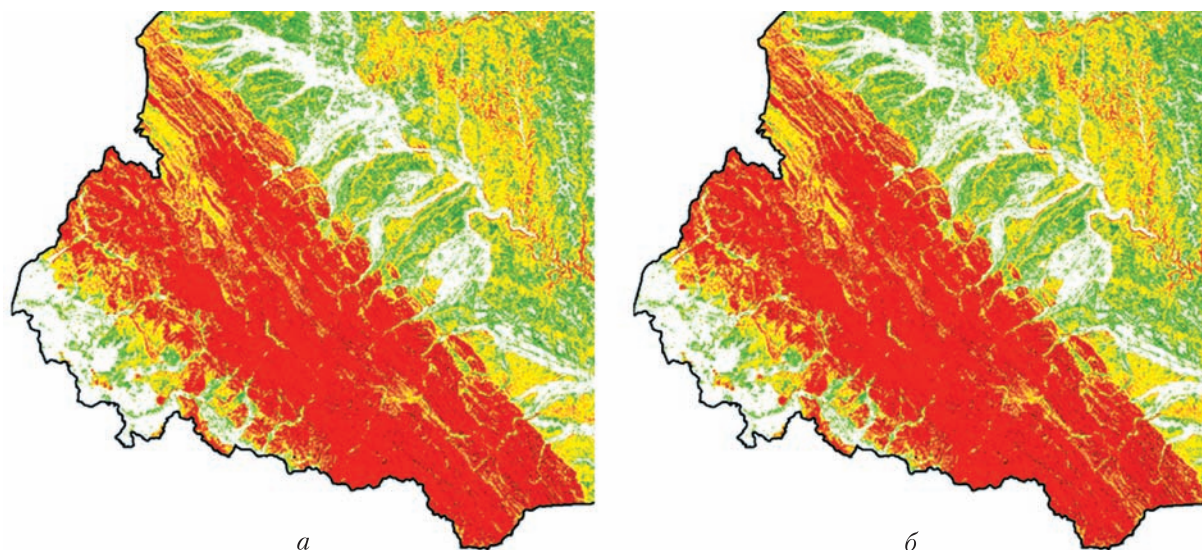


Рис. 3. Розподіл індексу *ER* (нормування) (*a*) та індексу *ER* з урахуванням кількості опадів *R* (нормування) (*б*) для Карпатського регіону

Таблиця 1. Оцінка впливу кліматичних факторів (опадів) на індекс *ER* для ерозійно небезпечних ділянок території Карпат

Номер класу	Вплив кількості опадів (<i>R</i>) на індекс <i>ER</i>	Відсоток території дослідження, зайнятий класом
1	Відсутній	1,75
2	Слабкий (3–10 %)*	30,74
3	Помірний (10–17 %)	26,05
4	Істотний (17–23 %)	20,86
5	Сильний (23–30 %)	10,90
6	Дуже сильний (30–37 %)	6,12
7	Катастрофічний (>37 %)	3,57

* Тут і в табл. 2 у дужках вказано, на скільки значення даного класу більше за клас 1, де немає змін.

Одним з провідних факторів ерозії є кліматичні умови, а одним із провідних чинників – опади. Для уточнення індексу ерозійної небезпеки до аналізу додатково було залучено показник усередненої кількості опадів (*R*) за 117 років за гідрометеорологічними станціями (див. рис. 2, *a*). Найбільше середньорічне значення кількості опадів закономірно припадає на північ, захід та північний захід території України, що у фізико-географічному відношенні відповідає природним зонам хвойно-широколистяних та широколистяних лісів і гірському регіону Українських Карпат.

Українські Карпати є особливим регіоном у природному та геоекологічному відношенні [13], що пов'язано значною мірою з гірською природою цього регіону. Інтенсивність прояву багатьох природних процесів набуває значно більших масштабів порівняно із рівнинними територіями. Зокрема, це стосується розвитку процесів водної ерозії. Саме тут найбільш яскраво проявляється роль природної рослинності, у першу чергу лісової, як чинника ста-

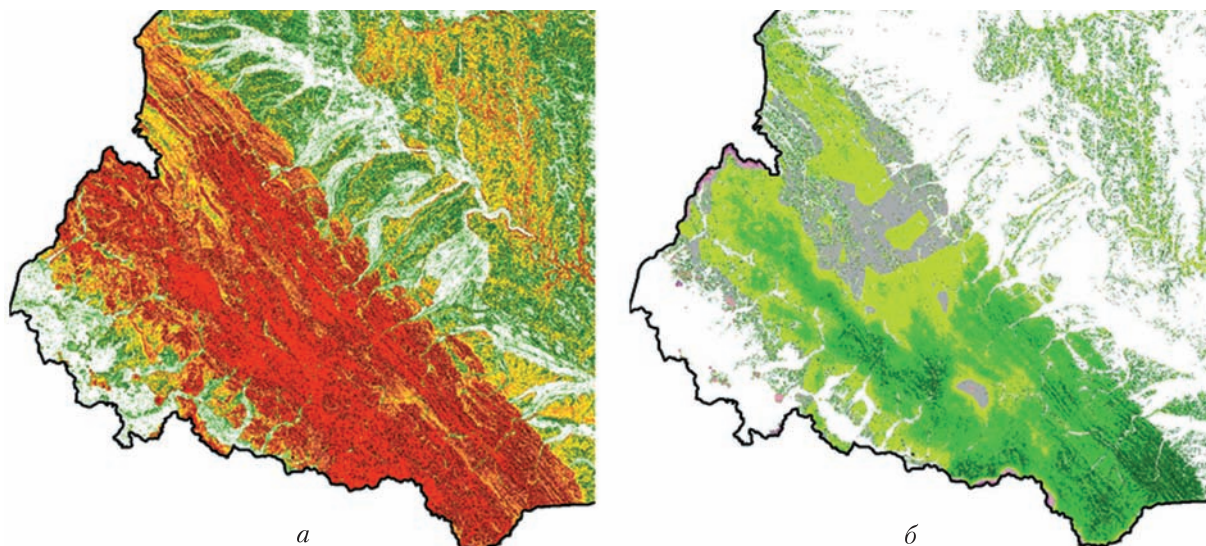


Рис. 4. Оцінка ступеня ерозійної небезпеки території Карпатського регіону: *а* – за індексом *ER* з урахуванням кількості опадів (*R*) та рослинності за індексом *NDVI* (нормування); *б* – різниця між індексом *ER* з урахуванням кількості опадів (*R*) і рослинності за індексами *NDVI* та *ER*

Таблиця 2. Оцінка впливу кількості опадів (*R*) та рослинності за індексом *NDVI* на індекс *ER* для ерозійно небезпечних ділянок території Карпат

Номер класу	Вплив кількості опадів (<i>R</i>) та рослинності (<i>NDVI</i>) на індекс <i>ER</i>	Відсоток території дослідження, зайнятий класом
1	Відсутній	21,90
2	Слабкий позитивний (4–7 %)	41,31
3	Помірний позитивний (7–11 %)	20,52
4	Істотний позитивний (11–14 %)	11,08
5	Сильний позитивний (14–18 %)	2,85
6	Дуже сильний позитивний (>18 %)	0,87

білізації їх розвитку. Тому вирубки лісів на значних територіях [14] значно активізують поверхневий стік та мають непередбачувані наслідки, зокрема у вигляді катастрофічних повней та паводків [15].

На рис. 3 наведено результати визначення індексу *ER* для території Карпатського регіону, як приклад однієї з найбільш ерозійно небезпечної ділянки за даними висот. Порівняння впливу кліматичних факторів (опадів) на індекс *ER* здійснювали таким чином: від значення індексу *ER* з урахуванням опадів *R*, розрахованого для Карпат, віднімали значення самого індексу *ER* (табл. 1).

Отже, з урахуванням опадів ерозійна небезпечність території Карпат підвищується майже на 100 %.

Враховуючи глобальні і регіональні кліматичні зміни, можливе збільшення кількості опадів, зокрема зростаючий ерозійний потенціал зливових опадів, потрібно пом'якшувати втрати ґрунту на різні проміжки часу як на сьогодні, так і в майбутньому.

Для пом'якшення слід враховувати ґрунтозахисну роль рослинності. Рослинний покрив значно зменшує або повністю припиняє розвиток ерозії ґрунтів. Густа рослинність перешкоджає прямому падінню дощових крапель та руйнуванню ґрунтових агрегатів. Частина води затримується кроною самих рослин, а густий травостій різко уповільнює швидкість стоку води. Таким чином, рослинність сприяє вбиранню води ґрунтом, захищає поверхню ґрунту від руйнування і уповільнює пересування води по поверхні. Рослинні залишки (стерня), залишені на поверхні ґрунту, сприяють утриманню і накопиченню снігу на полі, зменшенню глибини промерзання ґрунту. Вони перешкоджають розвитку водної та вітрової ерозії ґрунтів. Найбільш сприятливий вплив на зниження ерозії ґрунтів мають багаторічні трави. Їх травостій захищає ґрунти від впливу вітру і крапель дощу, поліпшує фізичні властивості ґрунту і підвищує його водонепроникність. Використання рослин для захисту ґрунтів від ерозії отримало назву фітомеліорація.

На рис. 2, б наведено карту розподілу індексу *NDVI*, що характеризує особливості рослинного покриву на території України за 2013 р. На карті коричнево-жовті кольори відповідають місцям, де рослинність відсутня або сильно розріджена, зелені кольори — місцям з рослинністю, темно-зелені кольори вказують на деревну рослинність.

На рис. 4 наведено остаточний результат використання індексу *ER* з урахуванням посиленої дії опадів на ерозійні процеси та рослинності, що пом'якшує ерозійну небезпеку. Для аналізу отриманого модифікованого індексу *ER* з урахуванням кількості опадів (*R*) та рослинності за індексом *NDVI* проведено його порівняння з індексом *ER*. Зіставлення проводилося не тільки у візуальній (див. рис. 4, б), а й у цифровій формі.

Аналіз даних табл. 2 показує, що із сукупним врахуванням розчленування рельєфу (*ER*), кліматичних факторів, опадів (*R*) та рослинності, індексу *NDVI* на прикладі регіону Карпат можливе ранжування ерозійно небезпечних територій та виявлення ділянок з істотним впливом рослинності (майже на 76,6 %). Дана методика експрес-оцінки ерозійно небезпечних ділянок ґрунтів на території України з використанням даних ДЗЗ із врахуванням кліматичних факторів та рослинності є ефективною не тільки для гірських територій, де є значний перепад висот, але й для рівнинної частини України.

У результаті проведеного дослідження виконано ранжування території України за ступенем небезпеки розвитку ерозійних процесів (градації). Супутникові спостереження дають можливість оперативно зафіксувати негативні процеси та явища, які відбуваються з ґрунтовим покривом, особливо на неконтрольованих у звичайний спосіб територіях, що має важливе значення для вжиття невідкладних агротехнічних заходів з призупинення та усунення ерозійних процесів, як і розрахунки індексу *ER* з урахуванням кількості опадів, наявності рослинності (індекс *NDVI*), на підставі яких визначаються потенційні території з найбільшою ерозійною небезпекою. Отримані результати можуть бути використані для експрес-оцінки ерозійної небезпеки будь-якої території, для якої побудована цифрова модель рельєфу.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Деякі питання удосконалення управління в сфері використання та охорони земель сільськогосподарського призначення державної власності та розпорядження ними. Постанова Кабінету міністрів України від 7 червня 2017 р. № 413. *Урядовий кур'єр*. № 112, 17 червня 2017 р.

2. Попов М.А., Станкевич С.А., Козлова А.А. Дистанционная оценка риска деградации земель с использованием космических снимков и геопространственного моделирования. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2012. № 6. С. 100–104.
3. Горбатюк В.М., Клименко К.В. Організаційно-технологічні особливості здійснення моніторингу земель на регіональному рівні. *Геодезія, картографія і аерофотознімання.* 2007. Вип. 69. С. 150–156.
4. Трускавецький С.Р., Вяткін К.В. Земельна інформаційна система як геоінформаційно-технологічний інструмент моніторингу ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство.* 2015. Вип. 82. С. 14–19.
5. Зацерковний В.І. Застосування геоінформаційних систем у задачах ефективного землекористування. *Наук. пр. Техногенна безпека. Радиобіологія.* 2015. **261**, вип. 249. С.14–21.
6. Казаченко Л.М., Казаченко Д.А. ГІС-технології при виявленні деградаційних процесів ґрунтового покриву лісостепової частини Харківської області. *Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка.* 2015. Вип. 156. С. 231–236.
7. Трускавецький С.Р., Вяткін К.В., Шерстюк О.І. Моніторинг ерозійних процесів за даними космічного знімання. *Агроекол. журн.* 2015. № 3. С. 60–65.
8. Швець О. Визначення потенційної небезпеки прояву ерозійних процесів за допомогою ГІС-технологій. *Сучасні досягнення геодез. науки та виробництва.* 2014. Вип. I. С. 137–140.
9. Светличный А.А. Пространственное геоинформационное моделирование и прогноз водной эрозии почв. *Пробл. непрерывной географ. освіти і картографії.* 2013. Вип. 17. С. 44–47.
10. Медведев В.В., Лактіонова Т.М., Греков Л.Д. Типологія і оцінки небезпечних явищ у ґрунтовому покриві України. *Ґрунтознавство.* 2004. **5**, № 3–4. С. 13–23.
11. Палиенко В.П., Спица Р.А., Чеботарева Л.Е. Интегральная оценка интенсивности эрозийных процессов в речных бассейнах Украины. *Теоретические и прикладные проблемы современной географии: Материалы междунар. науч. конф. памяти академика Г.И. Швевса, 3–5 июня 2009 г.* Одесса: ВМВ, 2009. С.164–166.
12. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Чехній В.М. Аналіз ґрунтово-ерозійних процесів в Україні на основі застосування даних дистанційного зондування Землі. *Вісн. НАН України.* 2017. № 10. С. 34–41.
13. Приходько М.М. Стан земель в регіоні Українських Карпат та їх екологічна безпека. *Укр. географ. журн.* 2012. № 2. С. 43–48.
14. Криницький Г., Третяк П. Стан лісів Українських Карпат, екологічні проблеми та перспективи. *Пр. Наук. тов-ва ім. Шевченка. Екол. зб.* 2003. **12**. С. 54–65.
15. Самойленко Л. І., Колос Л. М., Підгородецька Л. В., Ільєнко Т. В., Власова О. В. Інформаційна технологія моніторингу повеней з використанням даних ДЗЗ. *Космічна наука і технологія.* 2009. **15**, № 3. С. 50–55.

Надійшло до редакції 28.09.2017

REFERENCES

1. Some issues of improvement of management in the field of use and protection of agricultural land of state ownership and disposal. (2017). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 7. 2017 No. 413. *Uriadovyi kurier*, No. 112, June 17 (in Ukrainian).
2. Popov, M. A., Stankievich, S. A. & Kozlova, A. A. (2012). Remote risk assessment of land degradation using satellite images and geospatial modeling. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 6, pp. 100-104 (in Russian).
3. Gorbatyuk, V. M. & Klimenko, K. V. (2007). Organizational-technological peculiarities of monitoring of land at the regional level. *Heodesziia, kartohrafiia i aeroznimannia*, 69, pp. 150-156 (in Ukrainian).
4. Truskavetsky, S. R. & Vyatkin, K. V. (2015). Land information system as a geoinformation and technology tool for soil monitoring. *Agrochemistry and soil science*. Iss. 82, pp. 14-19 (in Ukrainian).
5. Zatserkovniy V.I. (2015). The use of geographic information systems in tasks effective land use. *Naukovi pratsi. Tekhnogenna bezpeka. Radiobioloiiia*, 261, Iss. 249, pp. 14-21 (in Ukrainian).
6. Kazachenko, L. & Kazachenko, D. (2015). GIS-technologies in detecting degradation processes of the soil cover of the forest-steppe part of the Kharkiv region. *Visnyk Kharkivskoho nationalnoho tehnicnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, 156, pp. 231-236 (in Ukrainian).
7. Truskavetskiy, S., Vyatkin, K. & Sherstiuk, A. (2015). Monitoring of erosion processes according to the data of satellite observations. *Agroecol. j.*, No. 3, pp. 60-65 (in Ukrainian).
8. Shvets, O. (2014). Determination of the potential danger of manifestation erosion using GIS technology. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva*, Iss. 1, pp. 137-140 (in Ukrainian).

9. Svetlichnyi, A. A. (2013). Spatial geoinformational modeling and forecast of soil water erosion. Problemy bezperevnoyi heohrafichnoyi osvity ta kartohrafiyi, Iss. 17, pp. 44-47 (in Russian).
10. Medvedev, V. V., Laktionova, T. M. & Grekov, L. D. (2004). The typology and estimation of dangerous phenomena in a soil cover of Ukraine. Gruntoznavstvo, 5, No. 3-4, pp. 13-23 (in Ukrainian).
11. Palienko, V. P., Spitsa, R. A. & Chebotareva, L. E. (2009, June). Integral estimation of intensity of erosion processes in river basins of Ukraine. Proceeding of the International Scientific Conference memory of academician G. I. Schwabs Theoretical and applied problems of modern geography (pp.164-166). Odessa: VMV (in Russian).
12. Lyalko, V. I., Elistratova, L. A., Apostolov, A. A. & Chekhniy, V. M. (2017). Analysis of soil erosion processes in Ukraine on the basis of remote sensing of the Earth. Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr., No. 10, pp. 34-41 (in Ukrainian).
13. Prykhdoko, M. (2012). The state of the lands in Ukrainian Carpathians and their ecological safety. Ukr. Geograph. J., No. 2, pp. 43-48 (in Ukrainian).
14. Krynickiy, G. & Tretyak, P. (2003). The state of the Ukrainian Carpathians forests, ecological problems and prospects. Proc. Shevchenko Sci. Soc., 12, pp. 54-65 (in Ukrainian).
15. Samoilenko, L. I., Kolos, L. M., Pidgorodetska, L. V., Iliencko, T. V. & Vlasova, O. V. (2009). Information technology of flood monitoring with the use of remote sensing data. Space Sci. Technol., 15, No. 3, pp. 50-55 (in Ukrainian).

Received 28.09.2017

В.І. Лялько¹, Л.А. Єлистратова¹, А.А. Апостолов¹, А.Я. Ходоровський¹, В.М. Чехній²

¹ ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли
Института геологических наук НАН Украины”, Киев

² Институт географии НАН Украины, Киев
E-mail: alex@casre.kiev.ua

ЕКСПРЕСС-ОЦЕНКА ЭРОЗИОННО ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Разработан подход для экспресс-оценки территории по степени эрозионной опасности с использованием данных цифровой модели рельефа, климатических факторов и растительности. Проведена экспресс-оценка эрозионно опасных участков почвенного покрова на территории Украины по разработанной методике. Сделано ранжирование потенциально опасных участков по степени опасности.

Ключевые слова: эрозия почв, дистанционные методы, цифровая модель рельефа, осадки, NDVI.

V.I. Lyalko¹, L.O. Elistratova¹, O.A. Apostolov¹, A.Ya. Khodorovsky¹, V.M. Czechniy²

¹ Scientific Center for Aerospace Research of the Earth,
Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kiev

² Institute of Geography of the NAS of Ukraine, Kiev
E-mail: alex@casre.kiev.ua

EXPRESS-EVALUATION OF POTENTIALLY EROSIIVE SOILS ON THE TERRITORY OF UKRAINE, BY USING THE REMOTE SENSING DATA WITH CONSIDERATION OF CLIMATIC FACTORS AND VEGETATION

An approach to the express-evaluation of the degree of potential erosion of a territory is developed. The approach includes using the data from a digital model of relief, climatic factors, and vegetation. The express-evaluation of potentially erosive areas of the soil cover on the territory of Ukraine is carried out according to the developed methodology. The ranking of potentially hazardous areas according to the degree of danger has been carried out.

Keywords: soil erosion, remote sensing methods, digital model of relief, precipitation, NDVI.