

## ESTIMAREA FACTORULUI EROZIVITĂȚII PRECIPITAȚILOR ÎN REPUBLICA MOLDOVA

*Tudor Castraveț<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> *Institutul de Ecologie și Geografie, Chișinău, Republica Moldova*

### INFORMAȚII ARTICOL

Cuvinte-cheie:  
Erozivitatea  
precipitațiilor,  
RUSLE,  
Republica Moldova.

### ABSTRACT

Eroziunea precipitațiilor reprezintă o măsură a forței erozive a precipitațiilor. De obicei, este exprimată ca o variabilă, cum ar fi factorul R din Ecuația Universală a Pierderilor de Sol (USLE) (Wischmeier și Smith, 1965, 1978) sau derivatele sale. Indicele de erozivitate a precipitațiilor pentru un eveniment pluviometric (EI30) este calculat din energia cinetică totală și intensitatea maximă de 30 minute a unor evenimente individuale. Aceste date sunt deseori indisponibile pentru unele regiuni și țări. De obicei, există trei aspecte problematice privind datele privind precipitațiile: rezoluția temporală scăzută, densitatea spațială scăzută și accesul limitat la date. Acestea sunt valabile mai ales pentru unele țări, cum ar fi și Republica Moldova, unde eroziunea solului este o problemă reală și persistentă (Summer, 2003) și unde solurile reprezintă principala resursă naturală a țării. În consecință, cercetarea și gestionarea eroziunii solului este deosebit de importantă. Scopul acestui studiu este de a contribui la elaborarea unui model bazat pe datele disponibile privind precipitațiile, cum ar fi valorile unor evenimente individuale, sumele zilnice sau lunare, și de a calcula erozivitatea precipitațiilor pe teritoriul Republicii Moldova. Datele privind precipitațiile colectate în perioada 1994-2015 la 15 stații meteorologice din Republica Moldova, cu o rezoluție temporală de 10 minute, au fost folosite pentru a genera harta erozivității.

### Introducere

Caracteristicile precipitațiilor ca: frecvență, durată, cantitate, intensitate și energie cinetică joacă roluri importante în eroziunea solului prin apă. Scopul acestui studiu este de a dezvolta un model bazat pe datele disponibile despre precipitații, cum ar fi cele asupra unor evenimente, sume zilnice sau lunare, pentru a calcula

erozivitatea precipitațiilor pe teritoriul Republicii Moldova.

Republica Moldova este situată între 45°28' și 48°29'N și între 26°37' și 30°09'E, acoperă 33,8 mii km<sup>2</sup> în Europa de Est și constă din dealuri, platouri și câmpii. Cele mai înalte zone sunt în nord și centru (300-400 m); în sud altitudinea este mai mică (100-200 m). Cota medie este de 147 m, cu o altitudine maximă de 429,5 m în Dealul Bălănești (Figura 1).

Precipitațiile anuale variază de la 400 la 620 mm, iar temperatura medie variază de la + 9,1°C și +10,1°C. Verile calde și iernile reci, variabilitatea ridicată în

distribuția precipitațiilor și lungimea fluctuantă a sezonului de vegetație, caracterizează clima ca temperat-continentală (Figura 4).

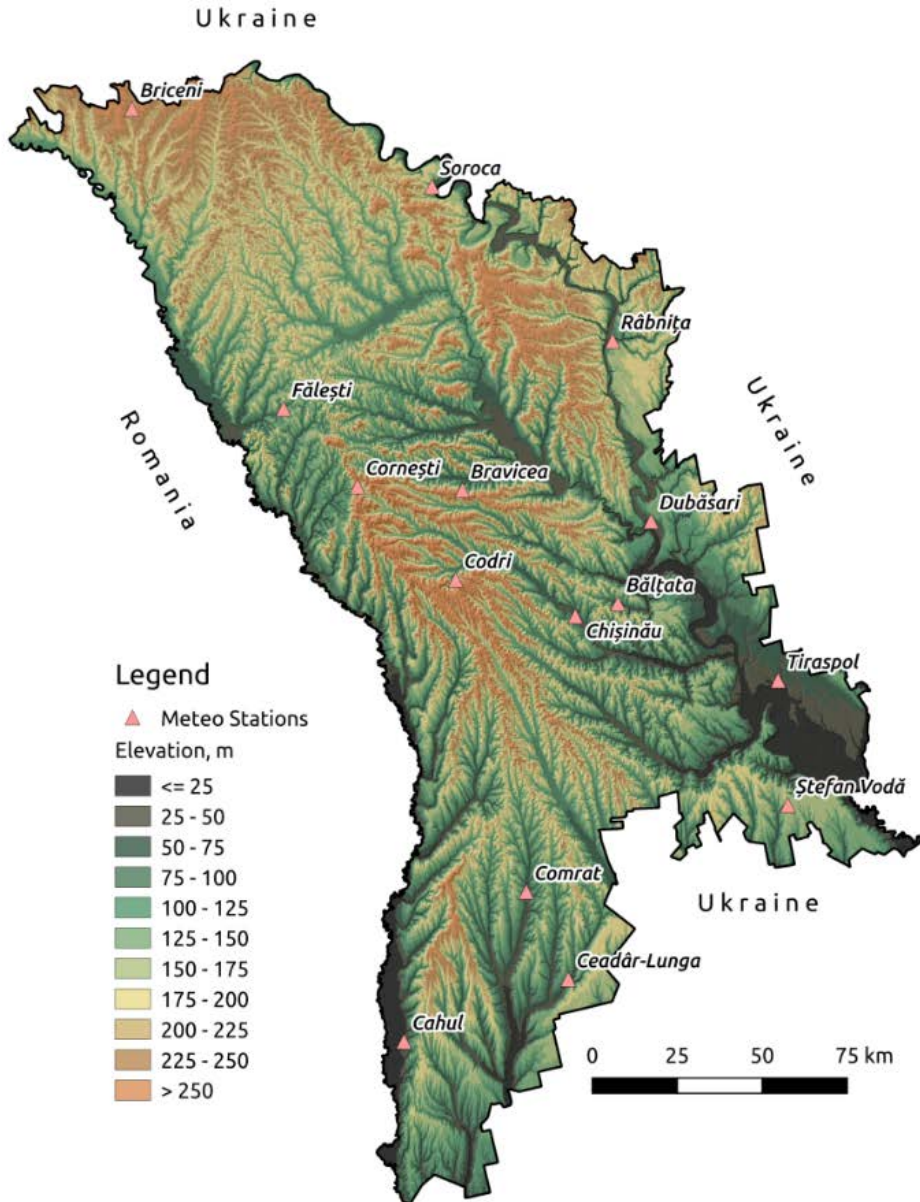


Figura 1. Distribuția stațiilor meteorologice

## Materiale și metode

Datele privind precipitațiile colectate în perioada 1984-2016 la 15 stații meteorologice din Republica Moldova, cu o rezoluție temporală de 10 minute, au fost utilizate pentru a genera harta erozivității precipitațiilor în Republica Moldova.

Precipitațiile sunt factorul principal al eroziunii, iar efectul lor eroziv este legat de cantitatea, intensitatea și alte caracteristici ale acestora. În studiu au fost utilizate date privind precipitațiile în perioada caldă (aprilie-octombrie), colectate de Serviciul Hidrometeoro-logic de Stat al Republicii Moldova pentru perioada 1984-2016, după

care a fost generată harta erozivității precipitațiilor. Pentru cele 15 stații meteorologice studiate, numărul de ani pentru care sunt disponibile date variază între 14 (Briceni) și 33 (Chișinău), cu o medie de 21,9 ani (Tabelul 1).

Pentru toate stațiile, cu excepția stației Chișinău, fluxul de date este cuprins între anii 1993-94 și 2016. În perioada 1984-2016, numărul mediu de evenimente erozive este de 26,7, variind de la 24 (Ceadâr-Lunga) la 32 (Fălești) evenimente. Stațiile din sudul și estul Moldovei au cel mai mic număr de evenimente (24-25 pe sezon) comparativ cu partea nordică și cea vestică (31-32) (Tabelul 2).

**Tabel 1. Caracteristici ale stațiilor meteorologice**

ID	Nume stație	Înc.	Sfârșit	Ani	Lat.	Long.	Elevația (m)	Număr mediu anual de evenimente (aprilie-octombrie)
1	Bălțata	1993	2008	16	47,058	29,013	81,9	24
2	Bricinea	1993	2014	22	47,360	28,411	241,8	30
3	Briceni	1999	2012	14	48,362	27,099	214,5	31
4	Cahul	1993	2015	23	45,900	28,189	29,8	25
5	Ceadâr-Lunga	1993	2014	22	46,064	28,813	81,4	24
6	Chișinău	1984	2016	33	47,025	28,848	59,6	27
7	Codri	1996	2016	21	47,123	28,385	236,5	27
8	Comrat	1993	2016	24	46,296	28,655	65,1	24
9	Cornești	1993	2016	24	47,369	28,002	243,9	29
10	Dubăsari	1994	2016	23	47,275	29,145	45,4	26
11	Fălești	1993	2007	15	47,573	27,712	112,3	32
12	Râbnita	1994	2016	23	47,753	29,000	35,2	26
13	Soroca	1993	2015	23	48,163	28,291	143,3	26
14	Ștefan Vodă	1993	2014	22	46,519	29,659	166,1	26
15	Tiraspol	1994	2016	23	46,850	29,629	32,8	24

Pentru toate stațiile, cu excepția stației Chișinău, fluxul de date este cuprins între anii 1993-94 și 2016. În perioada 1984-2016, numărul mediu de evenimente erozive este de 26,7, variind de la 24 (Ceadâr-Lunga) la 32 (Fălești) evenimen-

te. Stațiile din sudul și estul Moldovei au cel mai mic număr de evenimente (24-25 pe sezon) comparativ cu partea nordică și cea vestică (31-32) (Tabelul 2).

Tabel 2. Caracteristicile precipitațiilor

ID	Nume stații	Durata precipitațiilor or (vara), h	Cantitatea precipitațiilor (vara), mm	Cantitatea anuală de precipitații, mm	Intensitatea medie a precipitațiilor, mm/h
1	Bălțata	98	251	500	3,8
2	Bravicea	123	300	568	4,4
3	Briceni	125	316	616	4,2
4	Cahul	93	267	514	4,7
5	Ceadâr-Lunga	80	237	466	6,3
6	Chișinău	122	281	547	4,1
7	Codri	109	286	631	6,7
8	Comrat	83	233	494	5,7
9	Cornești	120	299	619	4,5
10	Dubăsari	87	242	537	5,4
11	Fălești	125	336	567	4,3
12	Râbnița	82	259	524	5,4
13	Soroca	108	267	539	4,7
14	Ștefan Vodă	109	261	542	4,0
15	Tiraspol	70	232	505	7,6

Durata medie a evenimentelor erozive din sezonul cald se situează între 70 de ore (Tiraspol) și 125 ore (Briceni, Fălești). Durata precipitațiilor scade de la nord la sud și de la est la vest. Precipitațiile sunt legate, pe tot parcursul anului, în special,

de activitatea ciclonică, doar că vara precipitațiile convective joacă un rol mai important. În timpul sezonului cald, predomină precipitațiile sub formă de averse (Tabelul 3).

Tabel 3. Numărul lunar al evenimentelor erozive pentru perioada în studiu

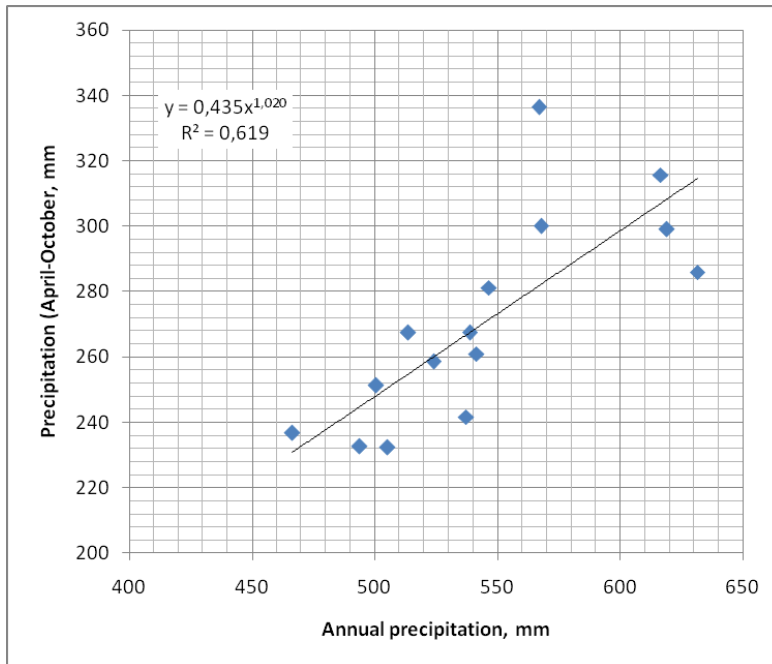
ID	Stația	Aprilie	Mai	Iunie	Iulie	August	Septembrie	Octombrie	Noiembrie
1	Bălțata	8	56	79	82	75	59	27	-
2	Bravicea	46	104	135	141	87	93	51	-
3	Briceni	16	76	105	95	62	50	35	-
4	Cahul	32	93	125	101	98	82	49	-
5	Ceadâr-Lunga	18	86	120	91	88	69	50	-
6	Chișinău	72	164	168	176	134	109	84	-
7	Codri	23	111	109	126	90	70	45	2
8	Comrat	23	93	120	107	92	84	46	-
9	Cornești	31	124	146	150	110	88	52	-
10	Dubăsari	62	115	132	116	94	75	3	-
11	Fălești	25	56	88	113	91	65	35	2
12	Râbnița	48	108	141	123	95	81	-	-
13	Soroca	24	85	115	149	100	82	42	-
14	Ștefan Vodă	33	92	132	115	72	78	42	-
15	Tiraspol	53	94	113	124	80	88	2	-
<b>Media</b>		<b>34,3</b>	<b>97,1</b>	<b>121,9</b>	<b>120,6</b>	<b>91,2</b>	<b>78,2</b>	<b>40,2</b>	<b>2,0</b>

În ceea ce privește distribuția spațială, se observă o creștere a precipitațiilor spre

nord-vest și, odată cu creșterea altitudinii (Jlacce, 1978). Cantitățile maxime de

precipitații au fost înregistrate în Podișul Moldovei de Nord, în Podișul Nistrului și Podișul Codrilor, care au mai mult de 550 mm anual. În aceeași regiune, în timpul sezonului cald, cantitatea de precipitații este mai mare de 300 mm. Precipitațiile în timpul verii reprezintă 45-59% din precipitațiile anuale, în același timp se

poate observa o scădere a ponderei lor de la vest la est. Corelația dintre cantitatea anuală de precipitații și cantitatea de precipitații din timpul verii este reprezentată de o funcție de putere care prezice destul de bine ( $R^2 = 0,619$ ) cantitatea de precipitații din sezonul cald din valorile anuale (Figura 2).



**Figura 2. Corelația spațială între cantitatea anuală de precipitații și cantitatea de precipitații din intervalul aprilie - octombrie**

Intensitatea medie a precipitațiilor pentru un eveniment pluviometric variază între 3,8 și 7,6 mm/oră, în timpul perioadei de observație. Din cele 15 stații, cele mai mari valori ale intensității sunt înregistrate la stațiile Tiraspol, Codri și Ceadâr-Lunga (6,3-7,6 mm/h), iar cele mai scăzute valori la stațiile Bălțata, Chișinău și Ștefan Vodă (3,8-4,1 mm/h). După colectarea datelor privind precipitațiile, estimarea factorului erozivității ( $R$ ) pentru Republica Moldova a inclus două etape suplimentare: a)

calculul factorului  $R$  pentru fiecare stație meteorologică, b) interpolarea spațială a valorilor punctiforme ale factorului  $R$ . În acest studiu, a fost utilizată ecuația inițială RUSLE pentru a crea o baza de date privind valorile factorului  $R$  la 15 stații meteo în Republica Moldova. Ecuația universală a pierderilor de sol modificată (RUSLE) este:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Modelul RUSLE este compus din șase factori utilizați pentru a prezice pierderea

anuală medie a solului pe termen lung (A). Ecuația include: erozivitatea precipitațiilor (R), erodibilitatea solului (K), lungimea pantei (L), înclinarea pantei (S), managementul acoperirii terenurilor (C) și practicile de suport (P) (Ecuația 1). Modelul RUSLE utilizează abordarea lui Brown și Foster (1987) pentru calcularea erozivității medii anuale a precipitațiilor, R ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ) (Renard et al., 1997).

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^{m_j} (EI_{30})_k \right] \quad (2)$$

Unde,  $n$  este numărul de ani de înregistrări,  $m_j$  este numărul de evenimente erozive dintr-un an dat  $j$ , iar  $EI_{30}$  este indicele de erozivitate pentru un eveniment singular  $k$  (Ecuația 2). Astfel, factorul R este valoarea medie anuală a  $EI_{30}$  cumulată pentru o perioadă dată. Erozivitatea unor evenimente  $EI_{30}$  a precipitațiilor ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) se obține din formula următoare (Ecuația 3):

$$EI_{30} = \left( \sum_{r=1}^o e_r v_r \right) I_{30} \quad (3)$$

$$R_{ave} = 9150,75 - 0,33 \times Elev - 40,42 \times Lat - 221,82 \times Long, R^2=0,6 \quad (6)$$

## Rezultate și discuții

În ceea ce privește distribuția spațială, se observă o creștere a erozivității precipitațiilor de la est la vest, odată cu creșterea altitudinii și descreșterea longitudinii. Variabilitatea relativ ridicată a condițiilor climatice pe teritoriul

Unde,  $e_r$  și  $v_r$  sunt energia unităților de precipitații ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) și volumul precipitațiilor (mm) pentru o perioadă de timp  $r$ , iar  $I_{30}$  este intensitatea maximă a precipitațiilor pe o perioadă de 30 min în cadrul unui eveniment ( $\text{mm h}^{-1}$ )

Energia unității de precipitații,  $e_r$  (Ecuația 4), este calculată pentru fiecare interval de timp ca (Brown și Foster, 1987):

$$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)] \quad (4)$$

Unde,  $e_r$  este energia cinetică, în  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , și  $i_r$  este intensitatea, în  $\text{mm h}^{-1}$ .

Intensitatea ploilor ( $i_r$ ) ( $\text{mm h}^{-1}$ ) pentru fiecare interval de 10 minute ( $\Delta t_r = 1/6 \text{ h}$ ) este (Ecuația 5):

$$i_r = \frac{\Delta v_r}{\Delta t_r} = \frac{\Delta v_r}{1/6} = \Delta v_r \times 6 \quad (5)$$

Având în vedere densitatea relativ scăzută a observațiilor, interpolarea valorilor erozivității cel mai degrabă nu ar produce rezultate realiste. În schimb, a fost utilizată o abordare de tip regresie pentru a estima distribuția erozivității precipitațiilor din datele de altitudine, latitudine și longitudine. Ecuația de regresie multiplă obținută ia forma (Ecuația 6):

Republicii Moldova determină o rată de precipitații destul de ridicată, de la 572,4 (în SE) la 1259,1  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ an}^{-1}$  (în NV), cu o medie de 880,4  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ an}^{-1}$ . Pentru Câmpia Prutului mijlociu, valorile erozivității precipitațiilor se situează între 893,4 și 1161,5 la o medie de 1058,2  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ an}^{-1}$ .

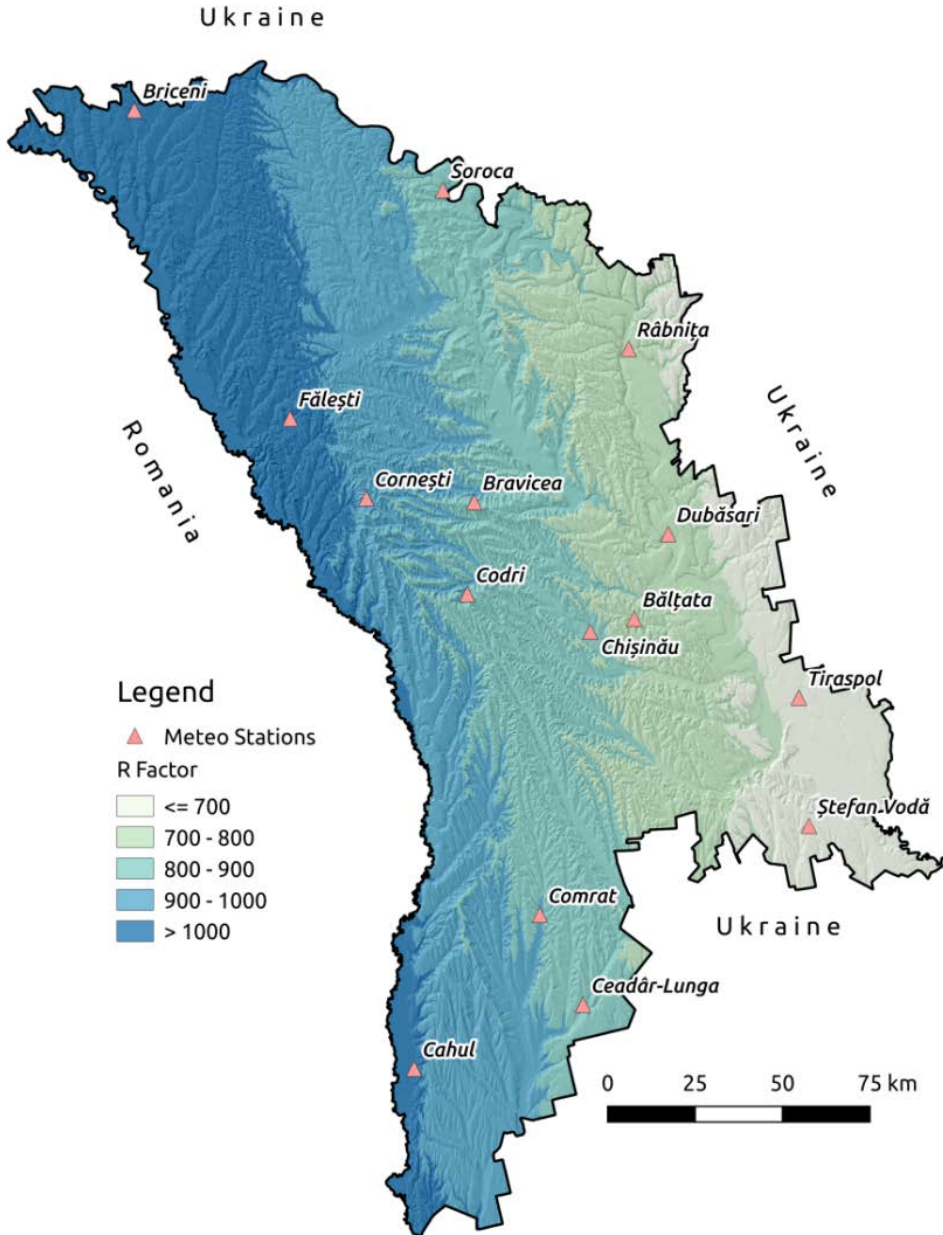


Figura 3. Erozivitatea precipitațiilor în Republica Moldova ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ )

Lunar, precipitațiile atmosferice sunt caracterizate de valori medii erozive ale unui eveniment de  $24,7 \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Valorile minime și maxime sunt egale cu

$4,7$  și respectiv  $47 \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Valorile absolute variază de la  $0,5$  (noiembrie) până la  $107,2 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (august).

**Tabel 4. Valori medii ale erozivității unor elemente pluviometrice**

Stații	Aprilie	Mai	Iunie	Iulie	August	Septembrie	Octombrie	Noiembrie
Bălțata	1,7	10,6	48,2	36,3	57,4	25,1	11,0	-
Bravicea	4,8	23,0	26,5	51,0	34,9	19,3	7,4	-
Briceni	4,3	24,9	26,0	77,1	29,9	19,4	2,4	-
Cahul	7,4	17,0	42,6	56,6	47,0	87,2	11,6	-
Ceadâr-Lunga	3,9	14,7	64,9	56,3	41,7	20,7	14,7	-
Chișinău	9,0	22,0	28,9	39,3	38,2	30,6	11,9	-
Codri	7,1	15,0	28,2	35,5	41,1	29,0	31,1	0,5
Comrat	8,7	14,7	60,9	52,2	42,6	25,4	6,6	-
Cornești	8,1	16,9	50,0	41,9	28,4	21,0	17,4	-
Dubăsari	5,4	16,5	21,5	37,3	33,4	19,3	3,3	-
Fălești	4,8	22,3	30,2	47,0	47,7	46,9	5,1	9,0
Râbnita	8,3	15,5	36,8	45,7	47,7	32,2	-	-
Soroca	3,8	15,1	24,4	42,3	107,2	26,1	5,8	-
Ștefan Vodă	11,5	10,3	33,8	51,0	54,3	24,2	11,4	-
Tiraspol	3,9	12,3	32,5	21,5	53,6	18,3	1,1	-
	<b>6,2</b>	<b>16,7</b>	<b>37,0</b>	<b>46,1</b>	<b>47,0</b>	<b>29,6</b>	<b>10,1</b>	<b>4,7</b>

Se cunoaște despre existența unei bune corelații între cantitatea anuală de sol erodat și coeficientul anual de distribuție a precipitațiilor, cunoscut sub denumirea de indice Fournier. Erozivitatea precipitațiilor poate fi dedusă pe baza acestui indice sau prin utilizarea indicelui Fournier modificat. Indicele Fournier (Ecuția 7) este calculat din relația de mai jos (Arnoldus, 1980):

$$FI = \frac{P_{\max}^2}{P} \dots\dots\dots(7)$$

Unde,  $p_{\max}$  - cantitatea medie lunară de precipitații pentru luna cea mai ploioasă din an (mm),  $P$  - cantitatea anuală de precipitații (mm).

Indicele Fournier modificat (Equation 8) este dat de expresia (Arnoldus, 1980):

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \dots\dots\dots(8)$$

Unde,  $p_i$  – cantitatea medie lunară a precipitațiilor pentru luna  $i$  (mm),  $P$  - cantitatea anuală de precipitații (mm).

Regresiile dintre erozivitatea precipitațiilor și FI (Ecuția 9) și, respectiv, MFI (Ecuția 10) pentru Republica Moldova sunt următoarele:

$$R = 234,25 \times FI^{0,531}, R^2=50,86\% \dots(9)$$

$$R = 56,81 \times MFI^{0,69}, R^2=27,04\% \dots(10)$$

Regresiile între erozivitatea precipitațiilor și cantitatea anuală de precipitații este (Ecuția 11):

$$R = 5,82 \times P^{0,793}, R^2=16,4\% \dots(11)$$

Un studiu recent privind erozivitatea precipitațiilor găsește valori similare cu ale noastre la nivelul Uniunii Europene (Panagos et al., 2015). Astfel, pentru teritoriul României, s-au găsit valori medii de 785,0, variind de la 462,2 la 1150,1 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, prezentând valori similare cu ale noastre pentru dealurile și platourile din estul țării.



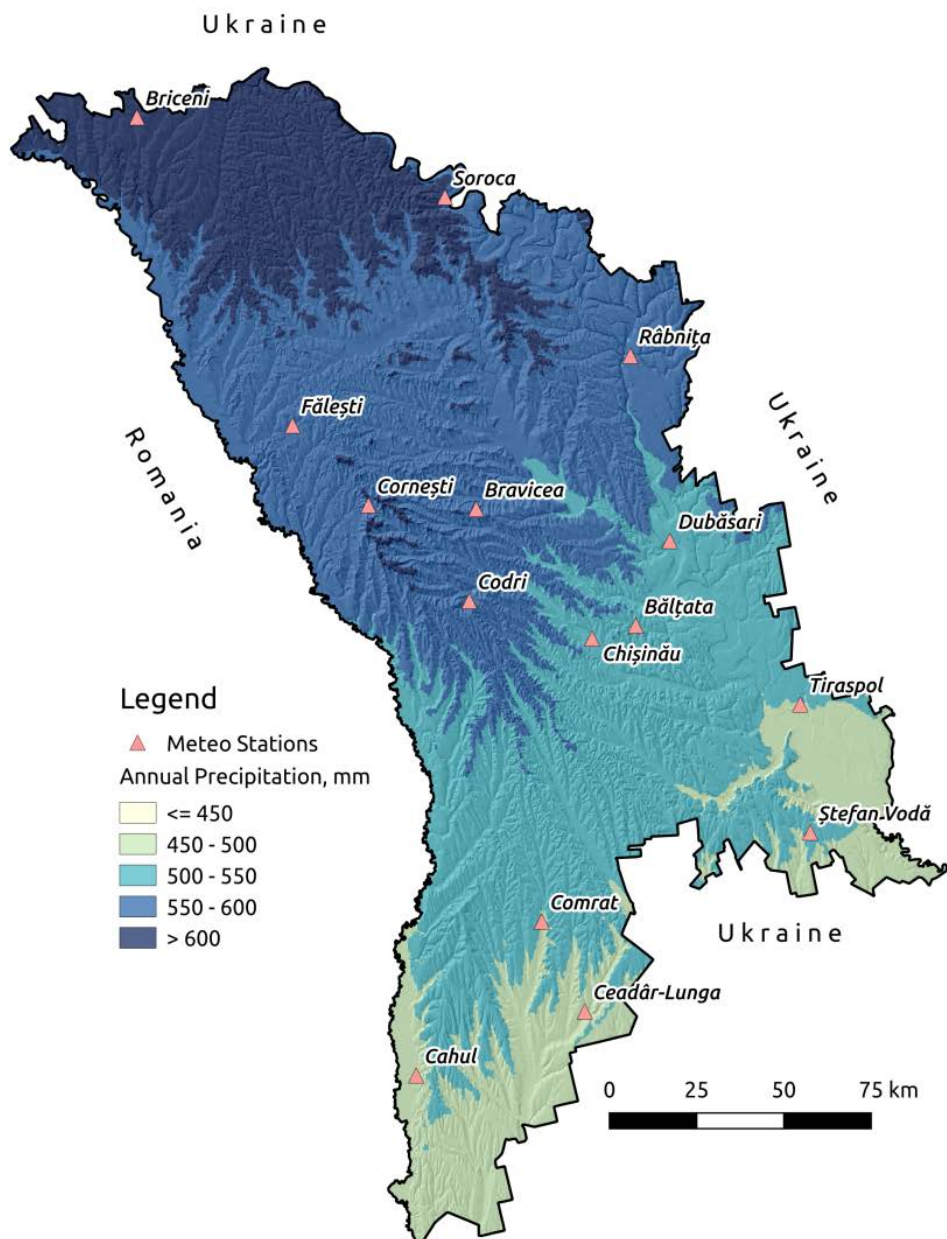


Figura 1: Precipitații anuale, mm

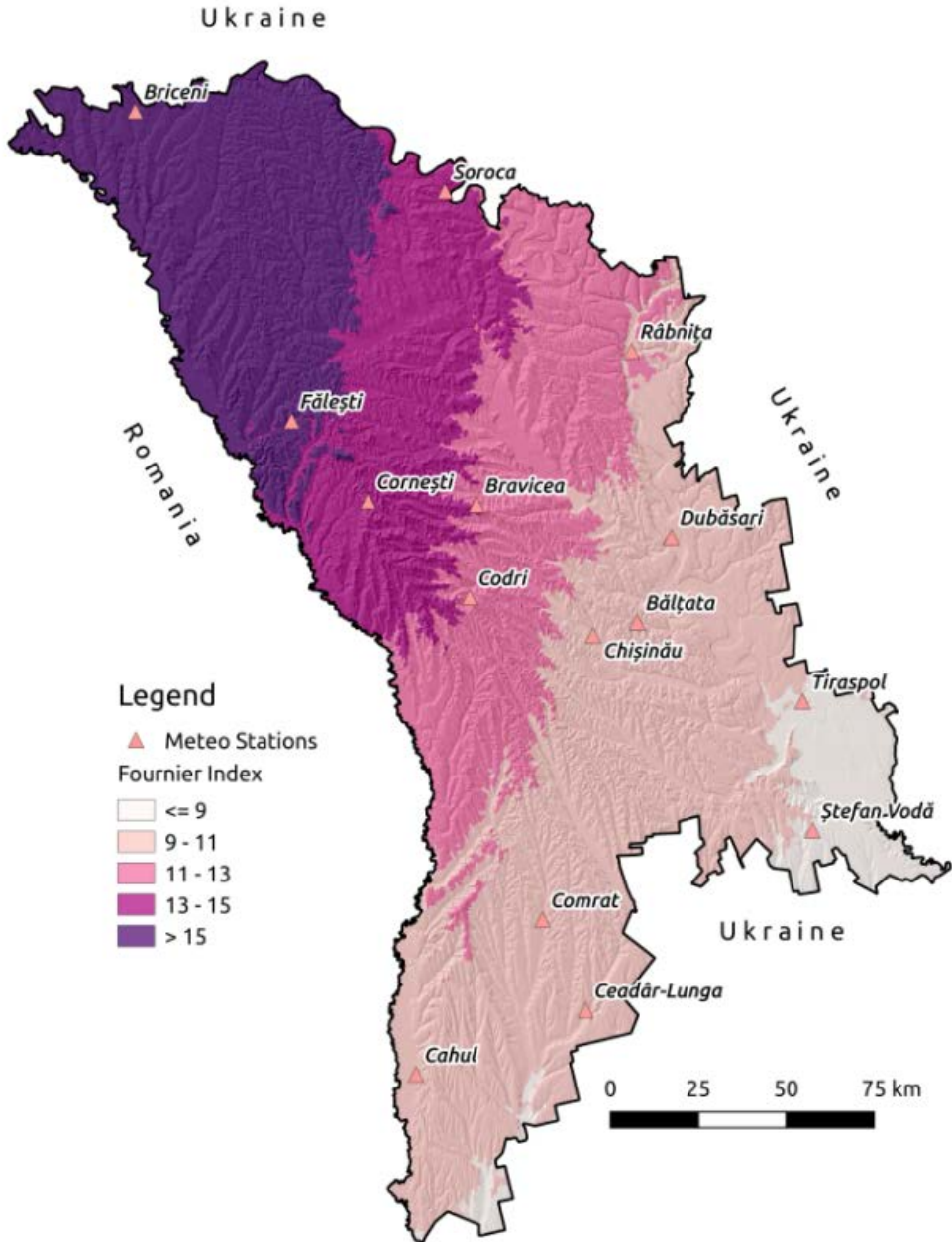


Figura 2: Indicele Fournier

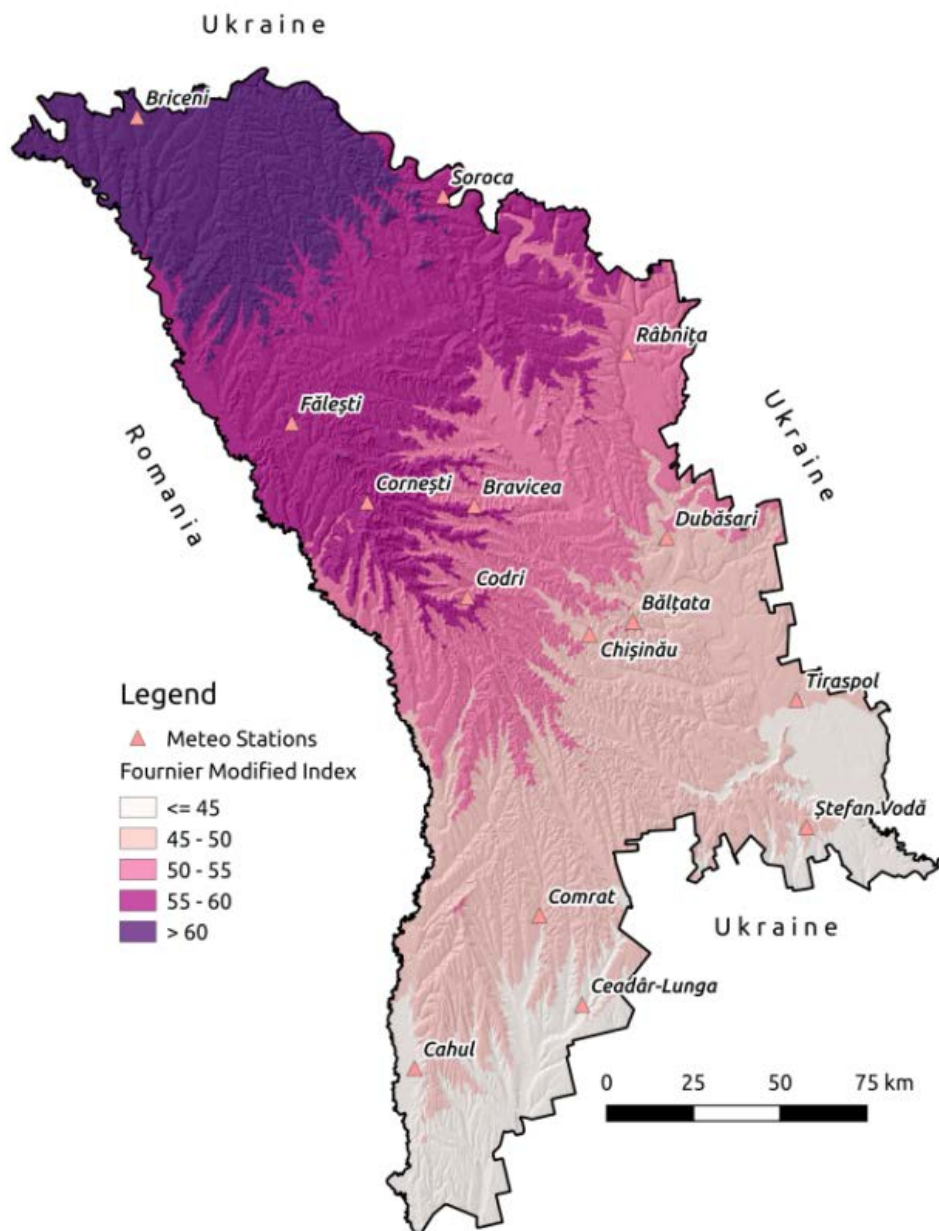


Figura 3: Indicele Fournier modificat

## CONCLUZII

Variabilitatea relativ ridicată a condițiilor climatice a dus la o gamă destul de mare de valori de erozivitate a precipitațiilor, cuprinse între 572,4 (în SE) și 1259,1 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> (în NV), cu o valoare medie de 880,4 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>.

Se constată că factorul R pe unitate de precipitații este foarte variabil, prin urmare, alegerea ecuațiilor de regresie ar trebui făcută cu prudență. Cea mai bună estimare este dată de relația dintre valorile factorului R și indicele Fournier ( $R^2=50,86\%$ ), comparativ cu indicele Fournier modificat și precipitațiile anuale (P) (respectiv  $R^2=27,04\%$  și  $R^2=16,4\%$ ).

Hărțile rezultate din erozivitatea precipitațiilor, pe lângă utilizarea directă în estimarea pierderii erozive a solului, pot fi, de asemenea, utilizate în studiile privind evaluarea expunerii terenului la alunecări de teren, inundații și alte fenomene naturale periculoasă.

## BIBLIOGRAFIE

- Arnoldus, H.M.L. (1980), An approximation of rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. Assessment of erosion (M. de Boodt & D. Gabriels, eds.), Wiley, Chichester, U.K., p. 127-132.
- Castraveț, T., (2016). Aplicarea metodelor climatologice în studiul pericolului eroziunii solului, Mat. Conf. Șt. Naț. cu part. Internaț. „Mediul și dezvoltarea durabilă”, 06-08 Oct. 2016, UST, Chișinău, ISBN 978-9975-76-170-3, p. 146-151
- Panagos, P., et al., (2015) Rainfall erosivity in Europe, Science of The Total Environment, Volume 511, 1 April 2015, Pages 801-814, ISSN 0048-9697, <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
- Renard, K.G., Freimund, J.R., (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, Journal of Hydrology, 157 (1994) 287-306.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yolder, D.C., (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Agricultural Handbook 703). US Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Summer, W., (2003). Soil erosion in the Republic of Moldova - the importance of institutional arrangements. Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques (Proceedings of symposium HS01 held during IUGG2003 at Sapporo. July 2003). IAHS Publ. no. 279.
- Voloschuk, M. D., Ionita, I., (2006) Moldavia, in Soil Erosion in Europe, Edited by J. Boardman and J. Poesen, John Wiley & Sons, 183-197.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. (1965). Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agr. Handbook No. 282, U.S. Dept. Agr., Washington, DC.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. Agr. handbook No. 537, U.S. Dept. of Agr., Science and Education Administration.
- Ласе, Г. Ф. (1978) Климат Молдавской ССР, Ленинград, Гидрометеоиздат, 374 с.