

ANALIZA INDICILOR STRUCTURALI CU PRIVIRE LA REȚEAUA DE DRUMURI ÎN REPUBLICA MOLDOVA

DOI: 10.5281/zenodo.3989172

CZU: 338.47:625.7/.8(478)

Doctorand **Vitalie MAMOT**

E-mail: mamot.vitalie@ust.md

Doctor în geografie, conferențiar universitar **Elena SOCHIRĂ**

E-mail: geo.sochirca.elena@gmail.com

Facultatea de Geografie, Universitatea de Stat din Tiraspol

ANALYSIS OF SOME STRUCTURAL INDICES REGARDING THE ROAD NETWORK IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

Summary. In the article are calculated and analyzed several structural indices of the road transport network in the Republic of Moldova (Alpha, Beta, Gamma indices and Total transport score) at district level. These indices are of major importance in establishing connectivity and accessibility at the territorial-administrative level. The establishment of the values of these indices at district level gives us conclusions with reference to the efficiency of the road network and the disparities that appear regarding the connectivity and accessibility in the road network. Based on the analysis of these indices we can highlight the causes that determine a low degree of connectivity and network accessibility, this fact having a direct impact on economic development and living standards of the population.

Keywords: road network, structural indices, graphs, districts.

Rezumat. În articol sunt calculați și analizați un șir de indici structurali ai rețelei de transport rutier în Republica Moldova (indicii Alpha, Beta, Gamma și Scorul total al transportului) la nivel de raioane. Acești indici au o importanță majoră în stabilirea conectivității și accesibilității la nivel teritorial-administrativ. Determinarea valorilor indicilor structurali la nivel de raioane au scos în evidență anumite tendințe privind eficiența rețelei rutiere, precum și disparitățile sub aspectul conectivității și accesibilității ce apar în rețeaua de drumuri. Pe baza analizei indicilor analizați pot fi evidențiate cauzele care determină un grad redus de conectivitate și accesibilitate în rețea, acest fapt având un impact direct asupra dezvoltării economice și a nivelului de trai al populației.

Cuvinte-cheie: rețea de drumuri, indici structurali, grafuri, raioane.

INTRODUCERE

Rețelele de drumuri sunt constituite dintr-un șir de noduri și legături ce reprezintă locațiile spațiale și conexiunile dintre ele. Acestea se caracterizează printr-un șir de proprietăți de ordin topologic și geometric. Disponerea și conectivitatea nodurilor și a legăturilor unei rețele formează topologia acesteia.

Structura spațială a rețelelor de drumuri are o importanță deosebită în determinarea performanțelor sistemelor de transport, precum și a efectelor sale ulterioare asupra utilizării terenurilor și a formelor urbane [1, p. 49]. Indicatorii cuantificabili pot rezuma proprietățile rețelei de transport dintr-o regiune.

Pentru a evalua sistemul rețelei de transport rutier se utilizează un set de indici care caracterizează **conectivitatea** și **accesibilitatea** zonei de studiu ca sursă de mobilitate. În acest scop s-a apelat la teoria grafurilor – o ramură a matematicii moderne ce oferă metode eficiente pentru soluționarea diverselor probleme teoretico-aplicative din domeniul trans-

porturilor, economiei [2, p. 112], serviciilor urbane etc. Conceptul de graf este perfect adaptat modelizării spațiale.

Indicii respectivi au o valoare practică însemnată, întrucât scot în evidență gradul de accesibilitate și conectivitate într-o rețea de drumuri, eficiența structurii acesteia, precizează disparitățile la nivel teritorial, fapt ce permite compararea diferitelor rețele de drumuri, atât la nivel de unități administrativ-teritoriale, cât și de regiuni sau state.

MATERIALE ȘI METODE

Teoria grafului ca ramură a topologiei oferă instrumente adecvate pentru măsurarea și analiza aspectelor structurale ale rețelei de transport. Se pornește de la premisa că orice rețea poate fi redusă la o structură formată din puncte care pot fi conectate printr-un set de linii sau segmente. Aceste grafuri permit să privim rețeaua de transport, precum și părțile sale, ca pe un tot întreg. Rețelele, care pot fi

încorporate ca un set de noduri reprezentând locația spațială și un set de legături reprezentând conexiuni, posedă proprietăți structurale diferite, afișând atât variabile topologice, cât și geometrice. La un nivel mai ridicat de complexitate se introduc atribute geometrice, cum ar fi distanțarea, forma, orientarea, densitatea și modelele geometrice. Interesul constant pentru măsurarea structurii spațiale a rețelelor rutiere a fost determinat de impactul inerent al structurii rețelei asupra performanței sistemelor de transport.

Teoria grafurilor a fost intens explorată în studierea diferitor fenomene legate de rețeaua de drumuri sau de căi ferate. Garrison [3, p. 124] a aplicat tehnici ale teoriei grafurilor pentru a analiza conectivitatea sistemului de autostrăzi inter-stat din SUA în anul 1957. Garrison a scos în evidență importanța teoriei grafurilor, precum și unele lacune care limitează aplicarea teoriei respective în analiza rețelei de transport.

În structura spațială a rețelei de drumuri, un graf este o reprezentare simbolică a conectivității acestei rețele. Graful reprezintă o abstractizare a realității, astfel încât în aspect spațial rețeaua de drumuri poate fi simplificată până la câteva noduri legate între ele.

În analiza structurală a rețelei de drumuri pentru Republica Moldova au fost utilizate patru tipuri de clase în geodatabase: tabele, clase de entități, relații și rețea de transport. ESRI ArcGIS pune la dispoziție o arhitectură prielnică și prietenoasă pentru lucrul cu aceste clase. ArcGis a oferit tot instrumentariul în privința analizei lor la orice etapă de executare. Extensia ArcGis Network Analyst construiește matricea OD (origine-destinație) care face posibilă construcția geometriei grafului.

Pentru analiza eficienței rețelei de transport rutier pot fi utilizați mai mulți indici. În anul 1963, Kansky [4] întreprinde un studiu amplu al structurii rețelei de transport și sugerează o serie de indicatori pentru analizarea structurilor complexe ale grafurilor din cadrul rețelei de transport. Aceste studii confirmă caracterul aplicativ al abordării analitice și a tehnicilor teoretice ale grafurilor în analiza rețelei de transport. Indicii sunt utilizați pentru exprimarea relației dintre valori și structurile de rețea pe care le reprezintă, compararea diferitelor rețele de transport la un moment specific, compararea evoluției unei rețele de transport în diferite momente în timp.

Indicatorii care descriu rețeaua de drumuri raportează sistemul integral la elementele sale individuale. Dintre toți indicatorii care se determină pe baza teoriei grafului, doar doi au un caracter abstract: numărul ciclomatic și diametrul rețelei, aceștia fiind indici ce nu utilizează raporturi între elemen-

tele componente ale rețelei. Valorile indicatorilor respectivi scot în evidență aspecte cantitative ale rețelei de drumuri.

În cercetarea noastră asupra indicilor structurali ai rețelei de transport rutier în Republica Moldova pornim de la ipoteza că un grad înalt de conectivitate și accesibilitate a rețelei de drumuri determină dezvoltarea umană mai avansată a unei regiuni, iar valorile înalte ale unor indici structurali ca Alfa, Beta, Gamma arată și un grad înalt de conectivitate în rețea.

Printre indicii, a căror valoare înaltă semnalează o rețea bine dezvoltată, menționăm: densitatea rețelei de transport (indicii Alfa, Beta, Gamma) și gradul de conectivitate (indicii PI, Eta, Theta și Yota). La polul opus se află indicatorii, care printr-o valoare scăzută anunță o rețea bine dezvoltată – gradul de circuit și indicele Detour. În contextul diferențelor între acești indicatori e de menționat că valorile nu sunt absolute.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Conectivitatea unei rețele de transport poate fi definită drept grad de completare a legăturilor dintre noduri [5, p. 74]. Un grad mai mare de conectivitate în cadrul unei rețele de transport arată că sistemul este eficient [4, p. 95]. Acest parametru exprimă în ce măsură un loc anume (un nod) este conectat la o anumită rețea. Orice rețea, chiar și una insuficient consolidată, dispune de un anumit grad de conectivitate. O rețea cu o conectivitate redusă este de obicei de tip dendritic (arborescent), lipsind circuitele. Pe măsura complexificării acesteia, prin apariția de noi legături (segment de drum) între capetele rețelei se ajunge la un graf articulat. Fiecare capăt adăugat produce practic un nou posibil circuit, prin conectarea sa la capetele vecine etc.

Numeroși indici sunt folosiți pentru a testa conectivitatea unei regiuni. Valorile conectivității reflectă gradul de complexitate al unei rețele de drumuri: cu cât este mai ridicată conectivitatea, cu atât sunt mai eficiente legăturile între așezările umane, privite ca noduri de transport.

În continuare vom prezenta câțiva indici utilizați pentru măsurarea conectivității rețelei de drumuri din Republica Moldova.

Indicele Alpha este unul dintre cei mai utili și relevanți în măsurarea conectivității rețelei. Îl putem interpreta ca pe un raport între numărul de circuite observat și numărul maxim de circuite, deoarece numărătorul este egal cu numărul real de circuite și numitorul este egal cu numărul maxim de circuite. Indi-

Tabelul 1
Valorile indicelui Alpha pentru unitățile teritorial-administrative din Republica Moldova

Categoria	Valoarea	Numărul de raioane	Raioanele
Scăzută	< 0,13	3	Dubăsari, Taraclia, Basarabeasca
Medie	0,13 – 0,18	19	Râșcani, Drochia, Soroca, Florești, Fălești, Glodeni, Sângerei, Rezina, Călărași, Strășeni, Criuleni, Căușeni, Hâncești, Ialoveni, Leova, Cantemir, Basarabeasca, UTAG, Cahul, Taraclia, Cimișlia
Ridicată/ înaltă	>0,18	12	Chișinău, Briceni, Ocnița, Edineț, Dondușeni, Orhei, Șoldănești, Telenești, Ungheni, Nisporeni, Anenii-Noi, Ștefan-Vodă

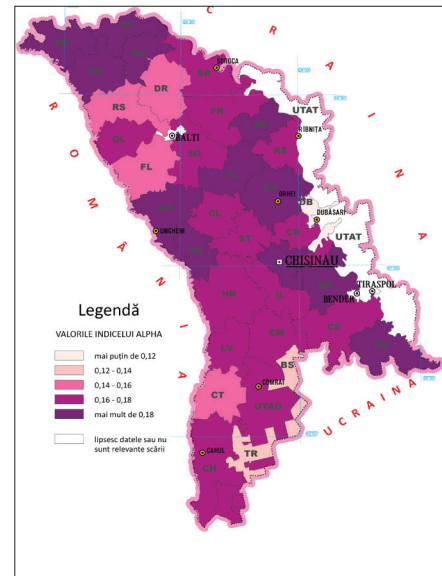


Figura 1. Repartiția spațială a indicelui Alfa cu referință la rețeaua de grafuri construită în baza matricei de accesibilitate a raioanelor administrative.

cele Alpha variază de la 0 la 1 și poate fi transformat în procente dacă este înmulțit cu o sută. Cu cât mai mare este valoarea obținută a indicelui Alpha, cu atât este mai mare gradul de conectivitate într-o anumită rețea și invers. Indicele Alpha este calculat folosind următoarea formulă:

$$\alpha = \frac{\mu}{\frac{v(v-1)}{2} - (v-1)}$$

unde: μ – indicele ciclomatic, v – nr de vertexe (noduri) [4, p. 100].

Pentru rețelele cu un număr de margini în scădere, indicele se va apropia de zero (limita inferioară). Valorile zero sunt atribuite tuturor rețelelor care au un număr ciclomatic zero (de exemplu, toate grafurile și arborii deconectați). Prin urmare, indicele este independent de numărul de vârfuri din rețea. Calculând acest indice, putem compara o rețea anume cu o rețea complet conectată având același număr de noduri [6, p. 65].

Cele mai înalte valori ale indicelui Alpha sunt înregistrate în raioanele Dondușeni, Ștefan-Vodă, Briceni, Ocnița, Edineț, Ungheni, Nisporeni ș.a.

Cele mai scăzute valori ale indicelui Alpha sunt înregistrate în raioanele Taraclia, Basarabeasca și Dubăsari (tabelul 1, figura 1). Aceasta se explică prin caracterul fragmentat al raioanelor, prezența rupturilor, forma alungită, iar la Dubăsari se adaugă și influența factorului geopolitic: localitatea e situată pe teritoriul

autoproclamatei republici nistrene și, prin urmare, sfidează organizarea teritorial-administrativă a Republicii Moldova. În cazul raionului Basarabeasca este vorba de o rețea primitivă, cu un singur drum, fără circuite.

Indicele Beta reprezintă cea mai simplă reflecție a celor trei valori care înregistrează relația dintre două elemente individuale ale unei rețele – muchiile și vârfurile. Este un indicator simplu care se utilizează pentru a analiza structura rețelei prin afișarea raportului dintre muchii și vârfurile unei rețele de grafuri. În general, acesta variază de la 0 la 1 sau mai mare decât 1. Rețelele de transport cu structură complicată vor avea valoarea 3, una ridicată, în timp ce rețelele cu o structură simplă vor avea valori scăzute. Prin urmare, valoarea scăzută a indicelui Beta atestă o conectivitate mai mică și invers. Poate fi exprimat prin:

$$B = \frac{e}{v}$$

unde: e – numărul de muchii, v – numărul de vertexe (noduri) [4, p. 102].

Indicele respectiv are următoarele proprietăți valoroase:

- arborii și grafurile deconectate au valori < 1;
- o valoare a unuia este atribuită oricărei rețele care are un singur circuit;
- valorile mai mari ale indicelui Beta sunt produse de o structură de rețea complicată, cu un număr mare de vârfuri.

Tabelul 2

Valorile indicelui Beta pentru unitățile teritorial-administrative din Republica Moldova

Categoria	Valoarea	Numărul de raioane	Raioanele
Scăzută	< 1,28	4	Drochia, Dubăsari, Taraclia, Basarabeasca
Medie	1,29 – 1,37	29	Râșcani, Soroca, Florești, Fălești, Glodeni, Sângerei, Rezina, Călărași, Strășeni, Criuleni, Căușeni, Hâncești, Ialoveni, Leova, Cantemir, UTAG, Cahul, Cimișlia, Chișinău, Briceni, Ocnîța, Dondușeni, Orhei, Șoldănești, Telenești, Ungheni, Nisporeni, Anenii-Noi, Ștefan-Vodă
Ridicată/ înaltă	> 1,38	1	Edineț

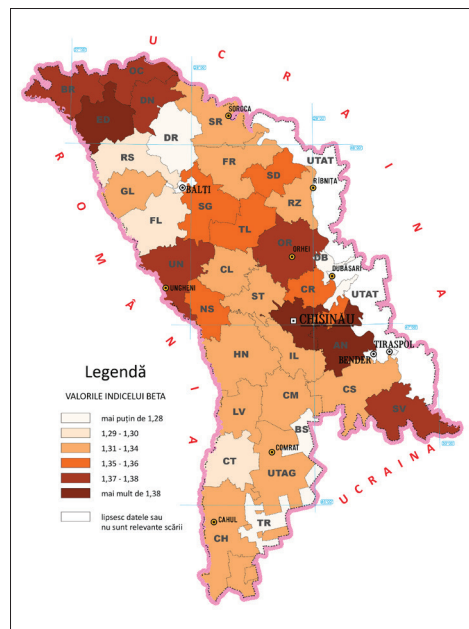


Figura 2. Repartiția spațială a indicelui Beta cu referință la rețeaua de grafuri construită în baza matricei de accesibilitate a raioanelor administrative.

Porțiunea inferioară a scării indicelui (0-1) face diferență între diverse tipuri de rețele și arbori deconectați; zero poate fi obținut pentru rețele cu 0 muchii. Întreaga scară a indicelui 3 este pentru grafurile non-planare de la 0 la infinit; cu toate acestea, pentru graficele plane, scala este de la 0 la 3 [6, p. 65].

Pentru Republica Moldova nu sunt caracteristice rețele de transport cu o structură complicată care să depășească valoarea 3. Rețelele de transport cu o structură relativ complicată sunt prezente în raioanele de nord ale țării, în special în Edineț (cu valori de 1,4), ceea ce vorbește despre o conectivitate relativ bună, în Briceni, Ocnîța și Dondușeni, precum și în raioanele de centru – Anenii-Noi, Orhei, Ungheni, municipiul Chișinău. Cele mai puțin dezvoltate rețele de transport sunt caracteristice pentru raioanele Basarabeasca, Taraclia, Drochia, Cantemir, Râșcani și Fălești – rețelele nu sunt bine conectate între ele (tabelul 2, figura 2).

Indicele Gamma. Indicele Gamma reprezintă raportul dintre numărul observat de muchii sau legături și numărul maxim de muchii sau legături dintr-un graf. Relația dintre muchii și noduri este astfel exprimată într-o formă ușor diferită față de cei doi indici precedenți (Alpha și Beta), deoarece Gamma este un coeficient al numărului de muchii observat până la numărul maxim de muchii [6, p. 66]. Acest indice constituie o modalitate de măsurare a conectivității care descrie relația dintre numărul de legături

observate și numărul de legături posibile. Valorile Gamma sunt cuprinse între 0 și 1. Indicele 1 caracterizează o rețea complet conectată și invers, deși 1 se întâlnește foarte rar. O valoare anume a indicelui Gamma poate, prin urmare, să fie considerată conectivitate procentuală atunci când valoarea este înmulțită cu 100. Indicele Gamma este exprimat prin formula:

$$\gamma = \frac{e}{3(v-2)}$$

unde: e – numărul de muchii, v – numărul de vertice (noduri) [4, p. 104].

Valoarea de 100 % va fi atribuită rețelelor conectate complet. Acest indice este independent de numărul de vârfuri ale unei rețele de transport; adică, valoarea 1 (sau 100 %, dacă este scrisă în formă procentuală) va fi atribuită tuturor rețelelor conectate complet, indiferent dacă au 5 sau 5 000 de vârfuri. Valorile sub 1 sunt capabile să diferențieze diferite tipuri de rețele și arbori deconectați. Gamma este un indice eficient pentru a măsura evoluția unei rețele de drumuri în timp. Cele mai mari valori le au raioanele din nordul țării – Briceni, Ocnîța, Edineț, Dondușeni. Din centru – Ungheni, Chișinău, Anenii-Noi. Din sud-est – raionul Ștefan-Vodă.

Cele mai reduse valori sunt caracteristice pentru raioanele Dubăsari și Taraclia – mai mici de 0,42, urmate de Râșcani, Drochia, Fălești, Cantemir și Basarabeasca (tabelul 3, figura 3).

Tabelul 3
Valorile indicelui Gamma pentru unitățile teritorial-administrative din Republica Moldova

Categoria	Valoarea	Numărul de raioane	Raioanele
Scăzută	< 0,42	1	Dubăsari
Medie	0,42 – 0,46	20	Râșcani, Soroca, Florești, Fălești, Glodeni, Sângerei, Rezina, Călărași, Strășeni, Criuleni, Căușeni, Hâncești, Ialoveni, Leova, Cantemir, UTAG, Cahul, Drochia, Taraclia, Basarabeasca
Ridicată/ înaltă	> 0,46	13	Chișinău, Anenii-Noi, Briceni, Cimișlia, Dondușeni, Ocnîța, Edineț, Nisporeni, Orhei, Șoldănești, Ștefan-Vodă, Ungheni, Telenеști

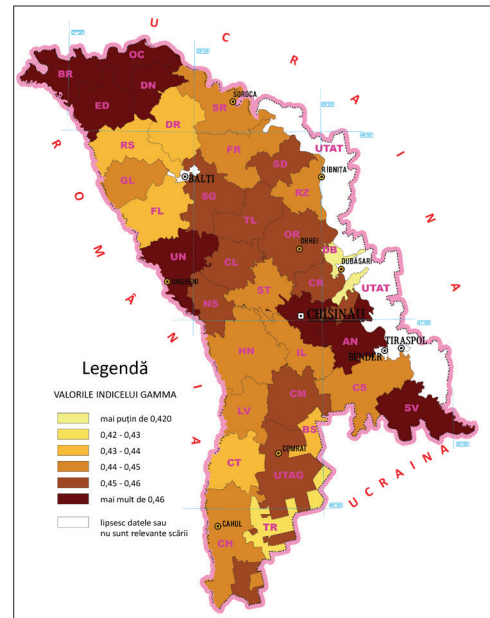


Figura 3. Repartiția spațială a indicelui Gamma cu referință la rețeaua de grafuri construită în baza matricei de accesibilitate a raioanelor administrative.

Scorul total al transportului reprezintă o însumare a valorilor numărului ciclomatic – indicii Alpha, Beta și Gamma. Valoarea mai mare indică o conectivitate mai mare în care valorile medii și scăzute reprezintă o conectivitate moderată și slabă. Indicele se calculează potrivit formulei:

$$Scor_{Transp} = \mu + \alpha + b + \gamma [7, p. 79].$$

Cele mai înalte valori, peste 100, sunt caracteristice pentru două raioane – Ungheni și Orhei. Cele mai scăzute valori, mai mici de 20,0, sunt caracteristice pentru Basarabeasca și Dubăsari (tabelul 4, figura 4).

Tabelul 4
Scorul total al transportului pentru unitățile teritorial-administrative din Republica Moldova

Categoria	Valoarea	Numărul de raioane	Raioanele
Scăzută	< 20	2	Dubăsari, Basarabeasca
Medie	21-99	30	Râșcani, Soroca, Florești, Fălești, Glodeni, Sângerei, Rezina, Călărași, Strășeni, Criuleni, Căușeni, Hâncești, Ialoveni, Leova, Cantemir, UTAG, Cahul, Drochia, Taraclia, Chișinău, Anenii-Noi, Briceni, Cimișlia, Dondușeni, Ocnîța, Edineț, Nisporeni, Șoldănești, Ștefan-Vodă, Telenеști
Ridicată	> 100	2	Ungheni, Orhei

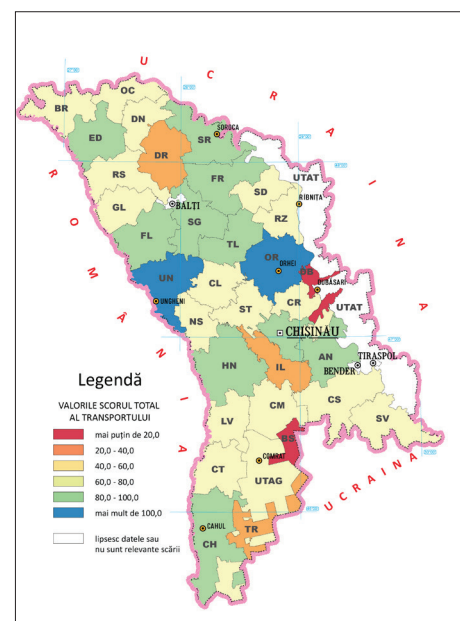


Figura 4. Repartiția spațială a indicelui Scorul total al transportului cu referință la rețeaua de grafuri construită în baza matricei de accesibilitate a raioanelor administrative.

CONCLUZII

Infrastructura de transport joacă un rol decisiv în funcționarea spațială a unui stat. Specificul abordării economico-geografice constă în interacțiunea complexă a diferitor componente ale sistemelor teritorial-economice, care este realizată anume de transport. În calitate de element al continuității procesului de producție „în limitele procesului de circulație”, transportul reprezintă componentul cel mai important care identifică sistemele teritorial-economice.

Indicii structurali de rețea care au fost analizați și calculați prin prisma teoriei grafurilor atestă valori și rezultate concludente cu privire la situația unor unități administrativ-teritoriale ale Republicii Moldova, valori determinate de suprafața mică, configurația sau poziția geografică a unității administrativ-teritoriale. Cele mai relevante exemple în acest sens sunt raioanele Dubăsari și Basarabeasca, care semnaleză o situație nefavorabilă a rețelei de drumuri la majoritatea indicatorilor analizați. Cele mai ridicate valori ale indicilor structurali se atestă în raioanele Orhei și Ungheni. Aceasta se explică prin poziția geografică a raioanelor respective în Regiunea economico-geografică Centru a țării, forma compactă a raioanelor, fapt ce creează premise favorabile pentru dezvoltarea rețelei de drumuri expres.

Rezultatele analizei indicilor structurali la nivel de rețea rutieră arată că raioanele cu o suprafață mică, cu o configurație și formă fragmentată dispun de o rețea rutieră rudimentară. O recomandare pentru îmbunătățirea gradului de accesibilitate, conectivitate și eficiență al rețelei de drumuri este optimizarea structurii rețelei rutiere prin revizuirea organizării administrativ-teritoriale a Republicii Moldova. Și anume revederea suprafeței și formei unităților administrativ-teritoriale prin micșorarea numărului de raioane din contul extinderii suprafeței acestora, în așa mod asigurându-se sporirea gradului de accesibilitate către toate tipurile de piețe din centrele raionale mai mari, ca Ungheni, Orhei, Fălești, Florești, Cahul și altele.

BIBLIOGRAFIE

1. Mohring H. Land values and the measurement of highway benefits. In: *Journal of Political Economy* 69, (2), p. 216-249.
2. Santarelli E. Directed Graph Theory And The Economic, *Metroeconomic*, vol. 46, no. 2, 1995, p. 111-126.
3. Garrison W.L. Connectivity of the interstate highway system. In: *Papers in Regional Science*. 1960, 6, 1 p. 121-137.
4. Kansky K., Danscoine P. Measures of network structure. In: *Flux*. 1989, vol. 5 nr. 1, p. 89-121.
5. Robinson H. and Bamford C. *Geography of transport*, Macdonald & Evans, Plymouth (Devon), 1978. 4448 p.
6. Rodrigue Jean-Paule, et al. *The Geography of transport systems*. New York, Third edition: Routledge, 2013, 432 p.
7. Sarkar D. Structural analysis of existing road networks of Cooch Behar District, West Bengal, India: A transport geographical appraisal. In: *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*. Vol. 6. No. 1, 2013. p. 74-81.
8. Groza O. Vesely R. Les transports aux franges orientales de l'Europe. Le poids du passé et les exigences du futur. În: *Analele Științifice ale Universității „Alexandru Ioan Cuza”, Iași*, serie nouă, tomul XLVIII, s. II. c. Geografie. Iași: Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza”, p. 115-125, 2002.
9. Groza O., Muntele I. L'efficacité du réseau ferroviaire et accessibilité territoriale en Roumanie. In: *Revue Roumaine de Géographie*, tome 42. București: Editura Academiei Române, 1998, p. 15-28.
10. Tălângă C. *Organizarea și dinamica sistemelor de transport*. București: Editura Universitară, 2015. 52 p.
11. Muntele I., Groza O., Țurcănașu G., et al. Calitatea infrastructurii de transporturi ca premisă a diferențierii spațiilor rurale din Moldova. Iași: Editura Universității „Alexandru Ioan Cuza”. Raport de cercetare, proiect ID-1987, finanțat de CNCISIS, 2010.
12. Osoian I. și alții. Studiu analitic privind structura administrativ-teritorială optimală pentru Republica Moldova. Chișinău, august–octombrie, 2010. [on-line]. <http://www.expert-grup.org/?go=biblioteca&n=172> (vizitat la 16.11.2019);
13. Taafe E. J. *Geography of transportation* E. J. Taafe, H. L. Gauthier, M/ E/ O'Kelly. 2nd edition. – Upper Saddle River (N.J.): Prentice Hall, 1996. 422 p.
14. Hoyle B. and Knowle R. *Modern Transport Geography*, JOHN WILLEY & SONS, Chichester, England, 1999, 382 p.
15. Howard L. Gauthier. *Geography, transportation and regional development*. In: *Geographical Readings. Transport and development*. Edited by B. S. Hoyle., London: Macmillan Publishers Limited, 1973, Palgrave, p. 19-31.
16. *Topograficheskie karty Moldavskoy SSR, masshtab 1 : 50 000*. Moskva: Glavnoe upravlenie Geodezii i Kartografii SSSR, 1970–1994.