

EVALUATION DU REGIME THERMIQUE DU TERRITOIRE DE LA REPUBLIQUE DE MOLDAVIE EN UTILISANT LE SIG

Tatiana Constantinov, Valentin Răileanu, Maria Nedelcov, Olga Crivova

Institute of Ecology and Geography, Moldovian Academy Science, Chișinău

Abstract: Using statistical methods, we computed several temperature indices and we assessed their relation with the terrain geomorphometry and the geographical position. Applying regression models, we derived mean temperature maps for the territory of the Republic of Moldavia for different time frames. We noticed that the spatial distribution of air temperature is mainly related to latitude. The highest spatial differences of air temperature are specific to the summer season, while the spring season displays the lowest spatial variations.

Key words: *temperature, statistical methods, GIS*

Introduction

Les premiers essais de cartographie complexe des ressources climatiques du territoire de la République de Moldavie ont été effectuées au début des années 70 (1) en utilisant la série des observations météorologiques de la période 1891 – 1965.

Les indices thermiques influencent la productivité des terrains agricoles et des Landschafts en général. La connaissance de leurs valeurs pour de tels ou tels terrains peut être utilisée pour l'emplacement correcte des cultures agricoles fonction des besoins des chaque variété. A l'Institut d'Écologie et de Géographie ont été créés les bases de données sur les indices thermiques pour toute la période d'observation et pour tout le territoire de la République.

Le but proposé a été l'analyse statistique des températures moyennes mensuelles, saisonnières et annuelle et la réalisation des cartes numérisées.

Matériaux et méthodes

Pour dresser les représentations cartographiques on a utilisé les données de la période de base (1961 – 1990 d'après le critérium de l'OMM) mais, aussi, les données pour les années 1991 - 2005 en analysant ainsi une période de 45 ans. On a choisi seulement les 14 stations avec les données les plus complètes.

En tenant compte du nombre limité de stations météorologiques et de la grande fragmentation du relief qui exerce une grande influence sur le champ thermique on a effectué une analyse des méthodes de reconstitution du champ thermique. On a constaté que la méthode d'interpolation spatiale la plus adéquate est celle de la régression multiple qui suppose l'existence des relations

entre plusieurs variables indépendantes (l'altitude absolue, l'exposition et la pente des versants, la fragmentation horizontale et verticale du terrain, la latitude et la longitude géographique) et une variable dépendante (la température de l'air). Le modèle général de la régression multiple est exprimé par la formule suivante:

$$y = a + \sum_{i=1}^n b_i * x_i \pm \varepsilon$$

où y est la variable dépendante; x_i sont les variables indépendantes; le nombre de variables indépendantes; a est le terme libre; b_i sont les coefficients de régression partielle. L'erreur standard de l'estimation de la variable dépendante ε est déterminée avec la formule suivante:

$$\varepsilon = S_y \sqrt{1 - R^2}$$

où S_y est la déviation standard de la variable y et R est le coefficient de détermination multiple:

$$R = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - y)^2}{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2} \quad (3)$$

où \bar{y} est la moyenne arithmétique des valeurs de la variable dépendante.

Un autre paramètre statistique est la valeur P qui est une composante du tableau d'analyse de la variation et qui est utilisée comme mesure de la signification du modèle. Pour $P = 0,01$ le niveau de confiance $d = 99\%$; pour $P = 0,05$ $d = 95\%$; pour $P = 0,1$ $d = 90\%$.

Pour l'analyse statistique et les modèles de régression des températures moyennes mensuelles, saisonnière et annuelle on a utilisé le logiciel STATGRAPHICS et les cartes ont été réalisées avec le logiciel SIG ArcView.

Les résultats

On a obtenu les équations de régression qui reflètent les relations entre les indices thermiques et ceux géomorphologiques pour diverses périodes de temps (les mois, les saisons, les années). Les informations sur la variable dépendante ont été inscrites dans la base de données „le Climat” qui a été créée en utilisant les valeurs enregistrées aux stations météorologiques et l'information sur les variables indépendantes qui se trouvent dans le passeport de chaque station météorologique. Dans les tableaux Nr. 1 et Nr. 2 on trouve les valeurs des coefficients de régression partielle et les valeurs correspondantes de P mais, aussi, les paramètres statistiques qui expriment la fidélité des modèles.

Tableau 1 .Les paramètres des équations de régression $T = Ah*H + By*Y + C$ de la température moyenne de l'air

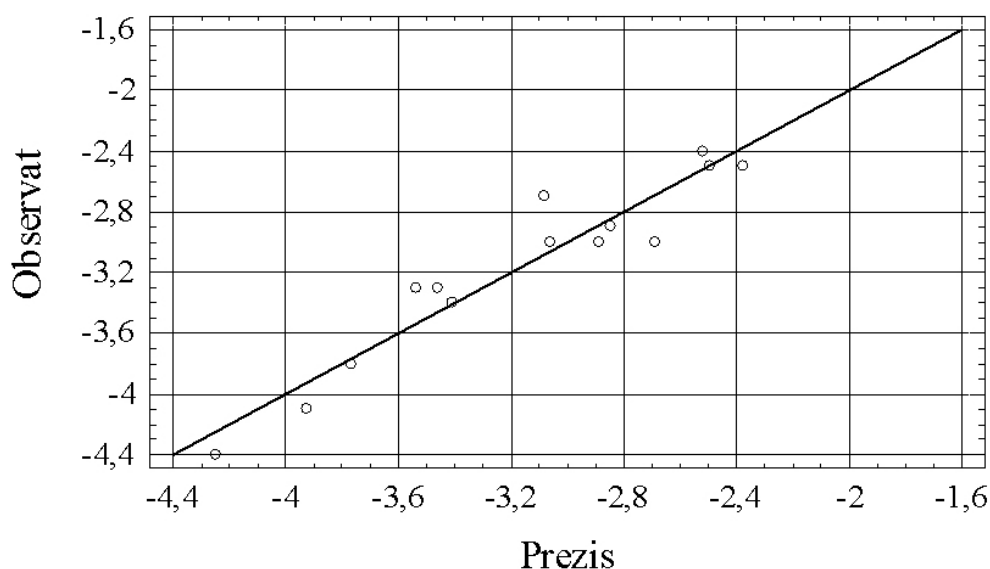
La période du temps	Les coefficients de régression partielle des variables indépendentes		
	Valoarea P		
	Constanta C, °C	Ah, °Cm ⁻¹	By, °Cm ⁻¹
Janvier	<u>29,8398</u> 0,0000	<u>-0,00312902</u> 0,0031	<u>-0,00000622276</u> 0,0000
Février	<u>30,9339</u> 0,0000	<u>-0,0029178</u> 0,0010	<u>-0,00000614262</u> 0,0000
Mars	<u>33,2228</u> 0,0000	<u>-0,00257748</u> 0,0095	<u>-0,0000057401</u> 0,0000
Avril	<u>27,2345</u> 0,0000	<u>-0,00432098</u> 0,0009	<u>-0,00000316735</u> 0,0022
Mai	<u>32,4849</u> 0,0000	<u>-0,0042714</u> 0,0011	<u>-0,00000305955</u> 0,0029
Juin	<u>46,8064</u> 0,0000	<u>-0,00512887</u> 0,0007	<u>-0,00000514258</u> 0,0002
Juillet	<u>56,5397</u> 0,0000	<u>-0,00551702</u> 0,0008	<u>-0,00000666984</u> 0,0000
Août	<u>61,2994</u> 0,0000	<u>-0,00390144</u> 0,0139	<u>-0,00000772713</u> 0,0000
Septembre	<u>55,3678</u> 0,0000	<u>-0,00280768</u> 0,0452	<u>-0,00000750987</u> 0,0000
Octobre	<u>47,2211</u> 0,0000	<u>-0,00152665</u> 0,1410	<u>-0,0000070873</u> 0,0000
Novembre	<u>38,0174</u> 0,0000	<u>-0,00352075</u> 0,0008	<u>-0,00000640324</u> 0,0000
Decembre	<u>24,5111</u> 0,0001	<u>-0,00457133</u> 0,0003	<u>-0,00000473246</u> 0,0000
l'Hiver	<u>28,1065</u> 0,0000	<u>-0,0035681</u> 0,0003	<u>-0,00000563431</u> 0,0000
le Printemps	<u>31,2397</u> 0,0000	<u>-0,00360322</u> 0,0023	<u>-0,00000404167</u> 0,0002
l'Été	<u>55,5303</u> 0,0000	<u>-0,00491214</u> 0,0015	<u>-0,00000663357</u> 0,0000
l'Automne	<u>47,2064</u> 0,0000	<u>-0,00256848</u> 0,0236	<u>-0,00000706779</u> 0,0000
Annuel	<u>39,6677</u> 0,0000	<u>-0,00362047</u> 0,0006	<u>-0,0000056842</u> 0,0000

Notă: H – l'altitude absolue, m; Y – latitude exprimée en mètres dans la projection Mercator Transversal WGS84 avec le méridien central 27° et un fausse déplacement vers l' Est 50000

Le haut degré de corrélation entre les valeurs empiriques et celles qui ont été calculées avec les équations de régression (Fig. 1, le mois de Janvier, par exemple) permet la conclusion que l'utilisation des modèles de régression permet la reconstitution des champs thermiques avec une grande exactitude en tenant compte du relief. Pour d'autre périodes de temps les relations sont, aussi, semblables.

Tableau 2. *Les paramètres statistiques qui expliquent la fidélité des modèles de régression obtenus*

La Période du temps	La valeur P du modèle	R ajusté, %	L'erreur standard de l'estimation, °C	L'erreur moyenne absolue, °C
Janvier	0,0000	89,3859	0,196561	0,137726
Février	0,0000	92,6913	0,156987	0,116718
Mars	0,0000	87,456	0,19507	0,138721
Avril	0,0002	75,9034	0,229207	0,169689
Mai	0,0002	74,872	0,230285	0,168978
Juin	0,0000	82,6719	0,26184	0,192557
Juillet	0,0000	85,3098	0,287451	0,212264
Août	0,0000	83,1558	0,317033	0,230113
Septembre	0,0000	83,0781	0,295066	0,215582
Octobre	0,0000	86,9999	0,228412	0,162078
Novembre	0,0000	91,3476	0,184188	0,147983
Decembre	0,0000	85,9438	0,210788	0,143274
l'Hiver	0,0000	91,5242	0,165549	0,117424
le Printemps	0,0001	79,6441	0,216634	0,147922
l'Été	0,0000	85,0816	0,278289	0,197339
l'Automne	0,0000	87,5612	0,232187	0,168504
Annuel	0,0000	90,3502	0,179428	0,130215

Figure 1. La courbe de corrélation entre les valeurs moyennes de la température de l'air ($^{\circ}\text{C}$) enregistrées aux stations météorologiques et celles prévues par le modèle de régression pour le mois de Janvier

Les données du Tableau 1 montre que de l'ensemble des variables indépendentes prises en calcul (l'altitude absolue et relative, l'exposition et la pente des versants, la latitude et la longitude géographiques) dans toutes les modèles seulement l'altitude absolue et la latitude géographique ont eu une signification statistique. Les coefficients de régression partielle de ces variables sont négatifs ce qui signifie qu'avec la croissance de l'altitude et de la latitude la température de l'air diminue. On doit mentionner que sur le territoire de la république on connaît de des phénomènes d'inversion thermique. Mais ces phénomènes sont observés rarement ainsi qu'ils ne peuvent pas influencer les valeurs moyennes mensuelles et moins encore les valeurs saisonniers et annuels.

Dans la majorité de cas la valeur de P pour l'altitude absolue et plus petite de 0,01 (le Tableau 1) ce qui corresponde au niveau de confiance de plus de 99 %. Mais pour les mois de Mai, August, Septembre et pour l'automne les valeurs de P se trouvent entre 0,01 et 0,05 donc le niveau de confiance varie entre 99,5 et 95 %. La plus grande valeur de P est de 0,141 est caractéristique pour le moi d'Octobre ce qui corresponde au niveau de confiance plus petit de 90 %.

Pour toutes les périodes envisagées la latitude géographique participe aux modèles de régression avec un niveau de confiance plus grande de 99 % parce que les valeurs du P sont plus petites de 0,01.

Au point de vue physico-géographique on peut supposer que d'autres variables indépendentes peuvent, aussi, influencer les valeurs des températures moyennes. Par exemple, les versants avec une exposition vers le sud reçoivent plus d'énergie solaire notamment pendant les mois d'été. Mais l'analyse statistique a montré que les valeurs de P pour la pente, l'exposition des versants et l'altitude relative est sensiblement plus grande de 0,1. Par conséquence l'influence de ces variables est négligeable en comparaison avec celles de l'altitude absolue et de la latitude géographique et pour cela elles ont été exclues des modèles de régression.

En ce qui concerne les modèles obtenues pour l'ensemble des valeurs de P dans la majorité de cas elle est beaucoup plus petite que 0,0001 (Tableau 2), exceptées les mois d'Avril et Mai ($P = 0,0002$) et le saison de printemps ($P = 0,0001$). Mais ces valeurs correspondent au niveau de confiance plus grande de 99 %.

Le coefficient de détermination corrélation multiple R (qui est souvent exprimé en %) il représente la fraction de la variation totale de la variable dépendente expliquée par l'ensemble de variables indépendentes. Plus souvent on utilise le coefficient de corrélation détermination ajusté R_{adj} qui prend en

considération le degré de liberté de la variable dépendante donc est plus favorable pour la comparaison des modèles avec différents des nombres variables indépendentes. Le coefficient de corrélation détermination multiple ajusté (Tableau 2) varie, en fonction de la période étudié, entre 74,99 % pour le mois de Mai et 92,7 % pour le mois de Février et il est plus petit pour le printemps (79,6 %). La valeur annuelle est de 90,4 %.

Les valeurs plus petites de P pour les mois de printemps peuvent être expliquées par l'influence d'autres variables et par l'instabilité plus accentuée du régime thermique. Parce que le nombre de variables indépendentes est le même pour tout les modèles on pourrait utiliser le coefficient de corrélation détermination multiple R dont les valeurs sont plus grandes que celles du coefficient ajusté (78,7 % pour le mois de Mai et 93,8 % pour le mois de Février).

L'erreur standard de l'estimation (ESE) représente la déviation standard des résidus et peut être utilisée pour l'identification des limites de prédiction pour de nouvelles observations. Les valeurs ESE varient de $0,157^{\circ}\text{C}$ pour le mois de Février jusqu'à $0,317^{\circ}\text{C}$ pour le mois d'Aout (Tableau 2). Des valeurs plus grandes on observe pendant la période chaude de l'année.

L'erreur moyenne absolue (EMA) représente la valeur moyenne des résidus. Ses valeurs sont plus petites que celles de l'ESE (elles varient entre $0,117^{\circ}\text{C}$ et $0,230^{\circ}\text{C}$) mais fonction des périodes de temps indiquées on peut observer quelque synchronisation entre de leurs modifications (Tableau 2). On doit mentionner que l'erreur moyenne absolue ne dépasse pas $0,25^{\circ}\text{C}$.

Les susdites informations considérations montre que les modèles de régression obtenues sont caractérisés par un grand niveau de confiance et l'altitude absolue et la latitude géographique expliquent plus de 80 % de la variation spatiale de la température de l'air. En utilisant ces modèles on a calculé la répartition spatiale de la température de l'air pour toutes les périodes mentionnées. Les Fig. 2 – 4 représentent quelques exemples des cartes numérisées dressées avec la méthode mentionnée.

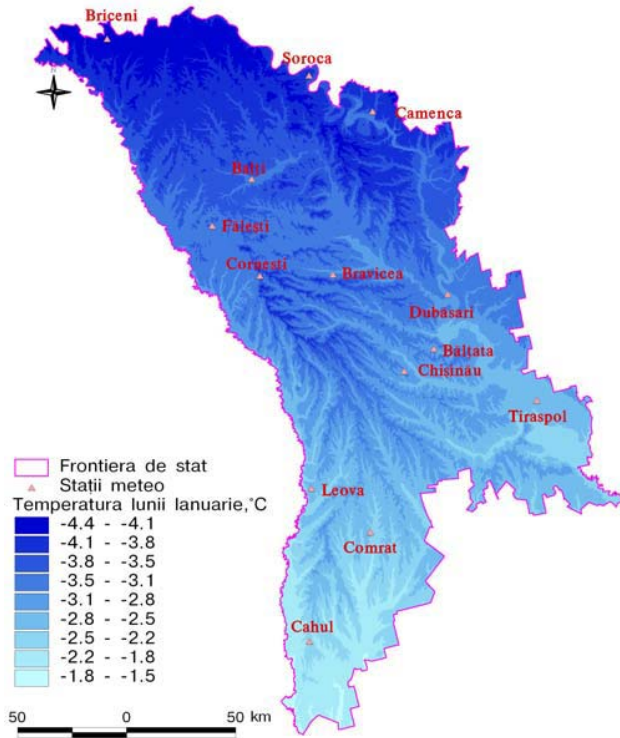


Figure 2. *La température moyenne du Janvier*

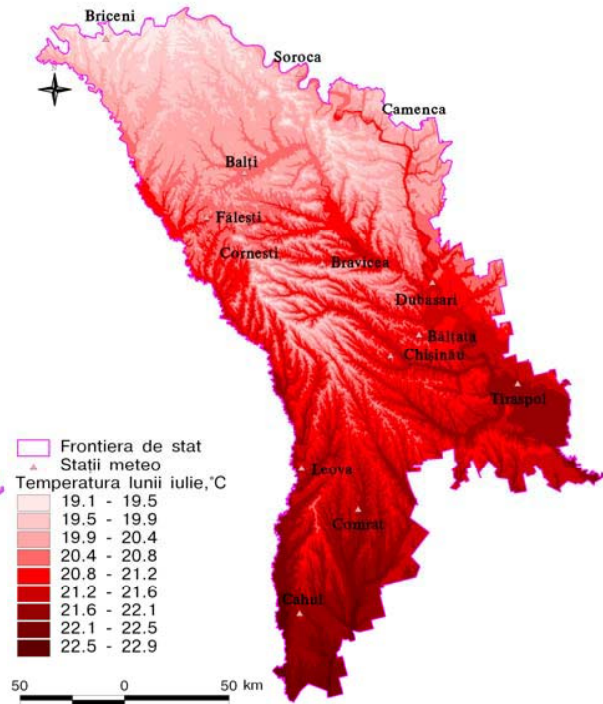


Figure 3. *La température moyenne du Juillet*

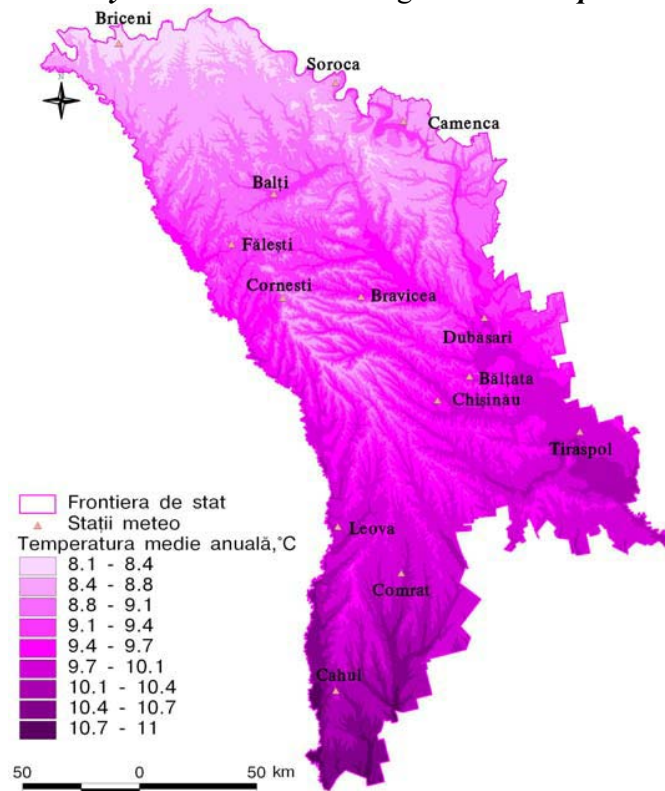


Figure 4. *La température moyenne annuelle*

Les cartes montre la tendance de décroissance de la température du sud vers le nord. Mais cette tendance est fortement modifiée par le relief notamment dans les régions du Plateau de la Moldavie de Nord, dans le Plateau du Dniestr, dans le Plateau de la Moldavie Centrale (Codrii) et moins evident dans le Plateau de Ciuluc et dans les Collines de Tigheci (2) où les valeurs de la température de l'air sont plus petite que dans les régions avoisinante situées à la même latitude. Des températures plus elevées on peut observer dans les plaines, dans les dépressions et dans les vallées de rivières notamment dans leurs secteurs inférieurs (la Plaine du Dniestr Inférieur, la Plaine du Bâc Inférieur, la Dépression de l'Ialpuș, la Dépression Elan-Sărata).

Tableau 3. Les paramètres statistiques de la température moyenne de l'air pour tout le territoire du pays

Perioada de timp	Temperatura medie		$T_{\max} - T_{\min}$, °C	Deviația standard, °C
	T_{\min} , °C	T_{\max} , °C		
Janvier	-4,44	-1,51	2,93	0,61
Février	-2,85	0,00	2,85	0,59
Mars	1,69	4,30	2,61	0,55
Avril	8,82	11,26	2,44	0,46
Mai	14,66	17,06	2,40	0,45
Juin	17,62	20,88	3,26	0,63
Juillet	19,08	22,93	3,85	0,76
Août	18,73	22,37	3,64	0,76
Septembre	14,28	17,54	3,26	0,69
Octobre	8,76	11,50	2,74	0,61
Novembre	2,72	5,81	3,09	0,64
Decembre	-2,30	0,66	2,96	0,57
l'Hiver	-3,16	-0,28	2,88	0,59
le Printemps	8,45	10,87	2,42	0,47
l'Été	18,47	22,10	3,63	0,73
l'Automne	8,56	11,60	3,04	0,65
Annuel	8,12	11,03	2,91	0,59

Pour discuter les variations spatiales et temporelles de la température moyenne de l'air on pourrait utiliser, aussi, quelques autres paramètres statistiques comme les valeurs maximales, les valeurs minimales, leurs différences, la déviation standard (Tableau 3). La température moyenne augmente en commençant de Janvier jusqu'au Juin et puis elle diminuent jusqu'au

Décembre mais les différences entre les valeurs maximales et celles minimales sont les plus petites pendant le printemps ($2,40 - 2,61^{\circ}\text{C}$) et augmente pendant les mois d'automne ($0,2,74 - 3,26^{\circ}\text{C}$), pendant ceux d'hiver ($0,45 - 0,55^{\circ}\text{C}$) et pendant ceux d'été ($3,86 - 3 - 85^{\circ}\text{C}$). La même légité peut être observé en ce qui concerne la déviation standard ($0,45 - 0,55^{\circ}\text{C}$ pendant le printemps; $0,57 - 0,61^{\circ}\text{C}$ pendant l'hiver; $0,61 - 0,69^{\circ}\text{C}$ pendant l'automne et $0,63 - 0,76^{\circ}\text{C}$ pendant l'été).

Conclusions

Les recherches on démontré que:

1. La plus grande partie de la variabilité spatiale de la température moyenne de l'air pendant différentes périodes de temps sur tout le territoire de la République de la Moldavie peut être expliquée par l'influence de la latitude géographique;
2. Les plus grandes différences de température sur le territoire du pays se prouduisent pendant les mois d'été et les plus petites pendant les mois de printemps;
3. Les modèles de régression élaborés pour les températures moyennes mensuelles, saisonnières et anuelles se caractérisent par un grand niveau de confiance et peuvent être utilisés pour le calcul de la repartition spatiales de la température de l'air. En utilisant ces modèles ont été dressées des cartes numérisées de la température moyenne de l'air pour tout le territoire du pays et pour chaque périodes mentionnées.

Bibliographie

Kompleknoe kartografirovanié Moldavskoi SSR (1972) – Știința, Chișinău (în rusă).
Republica Moldova. Atlas. Geografia fizică (2002) – Iulian, Chișinău.