

EUGEN KULLMAN\*

LA RECHERCHE HYDROGÉOLOGIQUE DES EAUX KARSTIQUES DES  
CARPATES OCCIDENTALES

(Texte-fig. 1)

Résumé. L'auteur étudie les problèmes de l'écoulement souterrain spécifique des complexes calcaires-dolomitiques des Carpates occidentales et présente les résultats du bilan des eaux karstiques en employant la méthode de bilan, en déterminant les écoulements souterrains spécifiques et utilisant la méthode d'analogie. Au moyen des résultats atteints, il calcule la quantité totale d'eaux souterraines circulant dans les complexes carbonatés mésozoïques et paléozoïques affleurant dans les Carpates Occidentales.

Une grosse partie des eaux souterraines des Carpates Occidentales est formée par des eaux karstiques. A côté des eaux souterraines des sédiments quaternaires, elles représentent des ressources principales en eau adaptées à l'utilisation pour la distribution publique. Elles sont liées surtout aux complexes calcaires-dolomitiques aquifères occupant cca 3280 km<sup>2</sup>.

La partie principale des eaux karstiques des Carpates Occidentales est liée aux montagnes suivantes: Petites Carpates, Inovec, Strážovská hornatina, Veľká Fatra, Malá Fatra, Nízke Tatry, Muránska planina, groupe montagneux de Galmus, Straten-ská hornatina et Slovenský kras.

La recherche hydrogéologique de ces eaux et leur utilisation publique exige la résolution de toute la série de problèmes, tels comme: extension des zones d'infiltration, circulation, pertes dans les couches voisines, réserves en eau etc.

Dans les conditions géologiques et tectoniques très compliquées on peut résoudre ces problèmes en utilisant la méthode de bilan.

Dans cette contribution, l'évaluation de bilan des eaux karstiques des complexes calcaires-dolomitiques des Carpates Occidentales et la particularité de cette méthode sont mises en valeur.

Les équations de bilan ne peuvent pas être appliquées à l'évaluation de bilan des eaux karstiques et à l'exploration des problèmes cités plus haut parce que leur forme courante est difficile et souvent il arrive qu'il n'est pas possible de déterminer plus précisément quelques-uns des membres de ces équations, par exemple: nous ne connaissons pas les données plus précises sur l'évaporation du sol ou sur la transpiration de certaines régions des Carpates Occidentales, à plus forte raison, dans les conditions compliquées des régions karstiques. L'évaluation de bilan des eaux karstiques des Carpates Occidentales est basée sur la détermination chronologique des écoulements souterrains spécifiques et de leurs variations dans les complexes carbonatés constituant les lambeaux du substratum imperméable, éventuellement dans les complexes limités par les assises imperméables, ayant la possibilité de les déterminer plus précisément et d'appliquer la méthode d'analogie aux complexes carbonatés tectoniquement très compliqués. La tectonique favorable des Carpates Occidentales Centrales facilite l'utilisation

\* Ing. E. Kullman, Institut géologique de D. Štúr, Bratislava, Mlynská dolina 1.

de cette méthode pour ces buts parce que les assises carbonatées s'y trouvent sous forme de lambeaux et on y peut déterminer le total des eaux souterraines sortant de la nappe et estimer les assises karstiques à circulation approfondie passant aux sédiments plus récents sous les conditions géologiques, géomorphologiques et climatiques semblables ou identiques. Plus loin, nous esquissons la méthode de bilan proposée par nous et nous l'appliquons à toute la série d'exemples.<sup>1</sup>

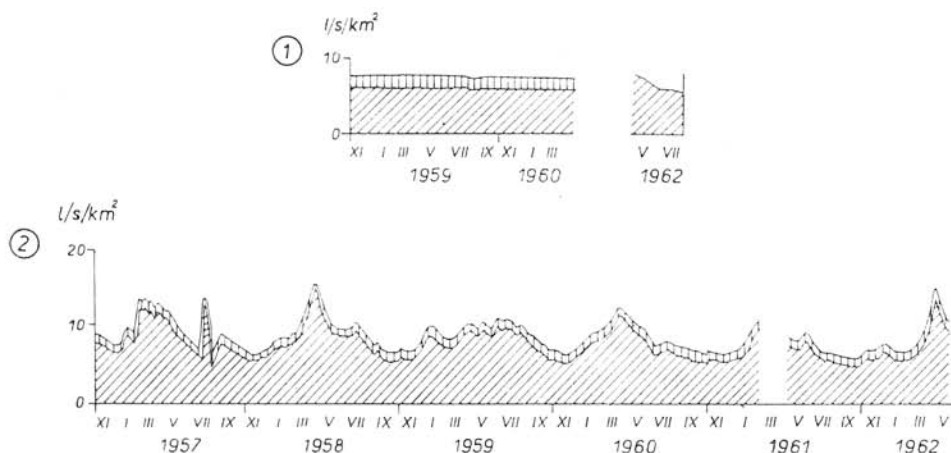
### Écoulements souterrains spécifiques des complexes carbonatés des Carpates Occidentales

Pour établir l'évaluation de bilan, nous avons déterminé les écoulements souterrains spécifiques de toute la série de complexes carbonatés déposés favorablement sous forme de lambeaux dans les Carpates Occidentales. Nous avons évalué les complexes calcaires-dolomitiques et les régions à prédominance absolue des dolomies dans toute la série de montagnes. (Nous n'avons pas évalué les complexes calcaires très karstiques qui fournissent des débits très variables parce qu'on peut commettre des erreurs considérables par conséquence des mesures non-systématiques). Parmi les régions constituées par des complexes calcaires-dolomitiques, nous avons évalué les formations calcaires-dolomitiques de l'unité de Krížna des Petites Carpates, celles du groupe montagneux de Žihlaviník, celles de la montagne Strážovská hornatina et le synclinal partiel de l'unité de Choč entre les villages Čremošné et Horný Harmanec dans la montagne Veľká Fatra. Dans cette évaluation, nous avons utilisé les documents géologiques et cartes géologiques effectués par M. Maheľ (Petites Carpates, Strážovská hornatina) et par D. Andrusov (Veľká Fatra).

Dans les Petites Carpates, il y a une région très favorable à déterminer les écoulements souterrains spécifiques entre les villages Lošonec et Kuchyňa. Cette région est formée par des calcaires et des dolomies de l'unité de Krížna sur l'étendue de 20,6 km<sup>2</sup>. Il s'agit des couches carbonatées à l'inclinaison abrupte vers la profondeur, leur sous-jacent et sus-jacent est constitué par des assises imperméables. Le sous-jacent est formé par des schistes marneux et des grès calcaires albiens-cénomaniens de l'unité d'enveloppe, le sus-jacent est constitué par des assises pauvres en eau du Keuper. Cette région est drainée par des sources et en partie aussi par des eaux souterraines passant directement aux cours d'eau de surface traversant le complexe carbonaté. Le passage aux profondeurs, éventuellement l'infiltration non-enregistrée dans les assises voisines est peu probable.

Des mesures systématiques de l'Institut hydro-météorologique depuis 1957 et des mesures périodiques des cours d'eau de surface ont rendu possible de chiffrer l'écoulement souterrain spécifique et ses variations durant les différentes périodes (Texte-fig. 1/2). Les écoulements souterrains spécifiques annuels de ce complexe variaient entre 7—9 l/s/km<sup>2</sup>, l'écoulement spécifique minimal était au-dessus 5 l/s/km<sup>2</sup>, le maximal 12—15 l/s/km<sup>2</sup> avec les précipitations moyennes annuelles 626—768 mm durant les différentes années hydrogéologiques.

<sup>1</sup> L'article „La recherche hydrogéologique des eaux karstiques des Carpates Occidentales" représente le résumé d'une communication que l'auteur a présentée à la III<sup>e</sup> Conférence slovaque des hydrogéologues laquelle eut lieu à Žilina en septembre 1964. Cette communication sous le titre „Les eaux karstiques en Slovaquie et leur recherche hydrogéologique" fut publiée dans les Comptes-rendus de cette conférence.



Texte-fig. 1. Variations de l'écoulement souterrain spécifique des complexes calcaires dolomitiques se déroulant dans l'ordre chronologique par E. Kullman. 1/1. Complexe dolomitique près de Závada dans la montagne Inovec. — 1/2. Région calcaire-dolomitique entre les villages Lošonec et Kuchyňa dans les Petites Carpates.

Dans le groupe montagneux de Žihlavník appartenant à la montagne Strážovská hornatina et s'étendant au SE des bains Trenčianske Teplice parmi les villages Dolná Poruba, Slatinka, Omšenie, la région du lambeau calcaire-dolomitique occupe l'étendue de 78,8 km<sup>2</sup>. Elle repose sur le substratum imperméable constitué par des assises albiennes- néocomiennes de l'unité de Krížna affleurant à la périphérie du lambeau carbonaté. Elle est drainée par des sources karstiques concentrées, pratiquement sans l'écoulement superficiel. Durant la période de XI. 1954 à X. 1962, l'écoulement souterrain spécifique atteignait très rarement les valeurs minimales cca 3,4—4 l/s/km<sup>2</sup> et les maximales cca 30 l/s/km<sup>2</sup>. Durant les différentes années hydrogéologiques, l'écoulement souterrain spécifique annuel moyen était 9,2—14,2 l/s/km<sup>2</sup> avec précipitations annuelles moyennes entre 695—909 mm. L'écoulement souterrain, évalué en pourcentage variait de 32,9—66,7 % par rapport aux précipitations annuelles totales.

Pour dresser le bilan d'écoulement souterrain des complexes carbonatés de la Haute Fatra, nous avons évalué le synclinal partiel entre Harmanec et Čremošné. Il appartient à l'unité de Choč et se présente sous forme d'un vaste lambeau carbonaté avec prédominance des dolomies reposant sur le Néocomien imperméable de l'unité inférieure.

En 1963, nous avons étudié cette région pour pouvoir déterminer les valeurs de l'écoulement souterrain.

En 1963, l'écoulement souterrain annuel était cca 14,9 l/s/km<sup>2</sup> (minimum 14,3 l/s/km<sup>2</sup>, maximum 15 l/s/km<sup>2</sup>) avec le ruissellement superficiel partiel (les valeurs ne sont pas exactes parce que les mesures systématiques de toutes les sorties d'eaux karstiques n'étaient pas assurées). En relation avec d'autres régions (Žihlavník), ces valeurs sont très hautes et elles dépendent de la bonne infiltration des roches, des précipitations annuelles très abondantes et de l'évaporation assez diminuée.

Le complexe très favorable aux mesures de l'écoulement souterrain spécifique,

représenté par le lambeau dolomitique riche en eau, est déposé sous forme du synclinal près de Závada dans la montagne Inovec sur l'étendue de 12,8 km<sup>2</sup>. En 1959, 1960, 1962, l'écoulement souterrain spécifique de ce lambeau variait de 5,88 à 8,1 l/s/km<sup>2</sup>, plus souvent de 6 à 8 l/s/km<sup>2</sup>, l'écoulement superficiel spécifique atteignait la valeur de 0,6 à 1 l/s/km<sup>2</sup> et le total des précipitations n'était plus haut que 889 mm (année hydrogéologique 1959, Texte-fig. 1/1). Les connaissances sur l'écoulement souterrain spécifique des différentes montagnes des Carpates Occidentales rendent possible de dresser le bilan des eaux karstiques et étant donné qu'on les avait rassemblées dans les conditions climatiques assez différentes, elles mettent en évidence l'écoulement souterrain spécifique moyen des complexes carbonatés des Carpates Occidentales.

#### Bilan de la circulation des eaux souterraines des complexes calcaires-dolomitiques dans les montagnes Inovec et Petites Carpates

En vertu de la méthode de bilan esquissée plus haut et sur la base de l'évaluation des écoulements souterrains spécifiques, nous avons dressé le bilan des réserves en eaux souterraines dans les régions calcaires-dolomitiques (à prédominance des dolomies, éventuellement en équilibre avec des calcaires) de certaines montagnes, resp. de leurs parties. Nous apportons les résultats de l'application de cette méthode aux complexes carbonatés à prédominance des dolomies au Sud de la montagne Považský Inovec et aussi aux complexes calcaires-dolomitiques de l'unité de Križna et de Choč dans les Petites Carpates. (J'ai utilisé les documents géologiques effectués par M. Mahel.)

La partie méridionale de la montagne Považský Inovec (l'étendue de 250 km<sup>2</sup>) est constituée par un nombre de complexes dolomitiques séparés l'un de l'autre souvent semblables, parfois identiques [le même caractère pétrographique, conditions géomorphologiques peu différentes, précipitations semblables d'une longue durée en moyenne 650—800 mm (voir tab. 1), couverture végétale identique]. C'est pourquoi on y peut appliquer le méthode d'analogie.

Sur la base des valeurs des écoulements souterrains spécifiques du complexe dolomitique de Závada dans la partie orientale de la montagne, nous avons évalué le bilan des autres formations dolomitiques et cela près de Lúky n. Váhom, Moravany, Koplotovce et près de Radošiná. Le complexe dolomitique de l'unité de Choč, situé plus au Nord dans la région, près de Lúka n. Váhom, Hubina, Stará Lehota et Hrádok, occupe l'étendue de 33,44 km<sup>2</sup> et repose sur les membres les plus récents de l'unité de Križna (imperméables) s'émergeant de la couverture

Tableau 1. Total des précipitations mesurées dans les stations pluviométriques

Date des mesures	Station pluviométrique					
	Zľavy Pustatiná	Radošiná	Malé Ripňany	Lúka n. V.	Piešťany	Hlohovec
XI. 58—X. 59	617 mm	522 mm	—	568 mm	597 mm	536 mm
XI. 61—VII. 62	514 mm	—	452 mm	505 mm	497 mm	499 mm

dolomitique au Nord, à l'Est et au Sud. Le lambeau dolomitique lui-même a une édification géologique très simple à l'inclinaison générale vers l'Ouest. Son bord occidental est en contact avec le contenu paléogène, néogène et quaternaire de la vallée du Váh et cela: avec des grès paléogènes, calcaires et schistes gréseux, grès néogènes, graviers, sables, argiles, argiles gréseuses et surtout arènes alluvionnaires quaternaires du Váh. Les eaux souterraines venant de ce lambeau, alimentant les sources et les cours d'eau de surface, atteignent le débit 100 l/s en moyenne. En comparant l'écoulement souterrain véritable avec le supposé en 200 l/s d'après le calcul de la région analogue près de Závada (avec l'écoulement souterrain spécifique 5,88 l/s/km<sup>2</sup>), on peut supposer que durant les périodes sèches, plus que 48 % d'eaux souterraines (durant les périodes de débit abondant encore beaucoup plus) se perdent dans les sédiments quaternaires et tertiaires de la vallée de Považie, éventuellement dans leurs assises sous-jacentes mésozoïques.

Un autre complexe dolomitique à s'évaluer se trouve plus au Sud que le précédent, c'est une partie du Mésozoïque de l'unité de Křížna qui est riche en eau souterraine et se trouve parmi les villages Moravany, Ratnovce, Jašov, Koplotovce et Šalgovce. Il est constitué par des roches carbonatées du Triassique avec prédominance des dolomies à l'inclinaison générale des assises vers le NW et plonge sous la couverture imperméable formée par le Keuper (dans la région entre Moravany et Sokolovce). La limitation de ces assises est tectonique par rapport à la plaine du Danube (le long de la faille du Váh). Dans la région de la faille marginale, l'assise sus-jacente mésozoïque du Keuper et celle du Rhétien dans la partie septentrionale et au Sud de Sokolovce, même les complexes dolomitiques sont en contact avec les assises tertiaires de la plaine du Danube (sédiments du Pannonien: argiles, grès, conglomérats, sables, graviers, sédiments du Pontien: argiles barriolées prédominantes et arènes rares) et surtout avec les arènes quaternaires. Le complexe dolomitique lui-même occupe l'étendue de 37,8 km<sup>2</sup>.

Durant la période stationnaire sans précipitations, l'écoulement souterrain total de ce complexe atteint 50,0 l/s (l'infiltration supposée est cca 220 l/s par analogie au complexe près de Závada). Par analogie au précédent, on peut supposer que 75 % de quantité totale infiltrée ne sort pas du complexe, mais que les eaux karstiques se dispersent dans les sédiments tertiaires, surtout quaternaires et aussi dans les carbonates du sous-jacent de la vallée du Váh, éventuellement dans les carbonates de l'unité inférieure de leur propre montagne. Dans l'autre complexe carbonaté, à prédominance dolomitique, de la montagne Inovec au Nord de Radošín, reposant sur le cristallin sous-jacent, les quartzites, l'Albien et Néocomien et sur les assises pauvres en eau, au Sud, en passant vers le terrain montueux de Nitra, en contact tectonique avec l'imperméable néogène constitué par des sédiments argileux (l'étendue de 19,7 km<sup>2</sup>), l'écoulement souterrain déterminé est identique avec le supposé (infiltration supposée cca 105—106), maximum 120 l/s (établie par analogie à la zone de Závada), la quantité d'eaux sortantes atteint cca 100 l/s. Les résultats que nous avons atteints dans ce complexe à la faible perte des eaux souterraines, vérifiés aussi par le bilan, mettent en évidence l'exactitude suffisante de cette méthode hydrogéologique applicable surtout aux complexes dolomitiques à l'écoulement constant, cela nous aide à diriger la recherche hydrogéologique des différentes régions.

Dans les Petites Carpates, nous avons appliqué cette méthode au bilan des eaux

souterraines dans le complexe carbonaté de l'unité de Choč situé sur les pentes NW parmi les villages Rohožník, Cerová-Lieskové et Trstín formant un complexe indépendant reposant sur le substratum imperméable des schistes bigarrés et des grès de l'âge triassique inférieur, vers le NW, ce complexe plonge sous la couverture néogène de la plaine Záhorská nížina, séparée de la montagne par la faille de bordure le long de laquelle, les complexes carbonatés de l'unité de Křižna se sont affaissés dans les profondeurs notables (au-dessus de 1000 m). Le bilan était calculé par analogie au complexe calcaire dolomitique entre Kuchyňa et Lošonec et il était évalué en détail dans la partie de cet article sur les écoulements souterrains spécifiques.

Tous les deux complexes voisins ont approximativement les mêmes conditions climatiques, morphologiques et végétales.

En octobre 1963, durant la période sèche, sans précipitations, les cours d'eau de surface et les sources de ce complexe débitaient cca 217 l/s, le débit des sources concentrées atteignait 150 l/s, sur la région totale d'infiltration (68,3 km<sup>2</sup>), cela représente l'écoulement souterrain spécifique cca 3,3 l/s/km<sup>2</sup>. Durant la même période, le complexe voisin (entre Kuchyňa et Lošonec, étendue de 20,6 km<sup>2</sup>) débitait cca 113 l/s, cela représente l'écoulement souterrain spécifique cca 5,4 l/s/km<sup>2</sup>. Les pertes supposées des eaux entre Rohožník et Trstín avec les pertes des eaux karstiques entre Kuchyňa et Lošonec font par analogie cca 140—150 l/s. Par rapport au total de la quantité infiltrée dans ce complexe, cela fait cca 40 %.

Ces résultats rassemblés durant les périodes de faible débit sont en relation avec les valeurs des mesures systématiques. Pour le documenter, je cite les résultats de la période (1959—1960 (Table 2).

Les résultats du complexe évalué répondent à l'édification tectonique des formations carbonatées étudiées.

Les eaux infiltrées tendent à passer dans le sens de l'inclinaison générale surtout aux sédiments quaternaires de la plaine Záhorská nížina mais aussi aux carbonates situés sous les sédiments tertiaires de cette plaine. Cela est démontré aussi par les forages exécutés dans la plaine Záhorská nížina, où près de Lakšárska Nová Ves, sur une distance de 9 km de la bordure du complexe carbonaté évalué, entre Rohožník et Trstín, ČND de Hodonín ont foré des eaux artésiennes du Mésozoïque sous-jacent dans la profondeur de 1100—1200 m (Bílek — Čajka 1962). Les résultats montrent la possibilité d'exploiter une quantité plus

Tabelle 2

Année hydrogéologique	Écoulement souterrain spécifique annuel moyen*	
	perte supposée des eaux karstiques dans le complexe entre Rohožník et Trstín	complexe entre Kuchyňa et Lošonec
1959	4,14—4,3	7,77—8,86
1960	4,09—4,27	7,29—8,38

\* La fluctuation citée est causée par les mesures non-systématiques de l'augmentation et diminution des cours de surface (Voir Textfig. 1/2).



grande d'eaux parce que le Mésozoïque aquifère vérifié par les forages atteint une épaisseur de quelques centaines de mètres.

Les analyses chimiques de l'eau effectuées dans le laboratoire central de ČND à Hodonín et les rapports (T a g e j e v a 1963)  $\frac{r \text{ Na}^+}{r \text{ Cl}^-}$  et  $\frac{r \text{ Na}^+ + r \text{ Mg}^{2+}}{r \text{ Cl}^-}$

qui sont en majorité absolue envers  $> 1$  rendent possible de constater un bon passage de l'eau et même un passage intensif dans tout le complexe.

Outre les exemples cités, on peut faire le bilan des eaux karstiques en employant cette méthode à toute la série d'assises carbonatées des Carpates Occidentales.

Les valeurs du bilan démontrent les réserves en eau dans les différents complexes carbonatés, éventuellement leurs pertes dans les assises. Dans le cadre de la recherche hydrogéologique des eaux karstiques des Carpates Occidentales, elles rendent possible l'étude des différentes structures hydrogéologiques et même la solution des problèmes cités plus haut.

Quant à la méthode de bilan, à présent, nous sommes en train de la perfectionner surtout en ce qui concerne la précision de l'évaluation et de l'introduction au calcul des différences éventuelles des complexes influençant les conditions hydrogéologiques. Ainsi on peut faire disparaître les fautes du bilan.

Plus haut, nous avons dressé le bilan de l'écoulement souterrain spécifique des complexes calcaires-dolomitiques et même nous avons esquissé de présenter la méthode d'évaluation des réserves en eau et des passages de l'eau aux assises voisines. Cette évaluation nous apporte de certaines conclusions en ce qui concerne des réserves en eaux karstiques. Les complexes calcaires-dolomitiques aquifères affleurant occupent l'étendue de cca 3280 km<sup>2</sup>. Les données sur les écoulements souterrains spécifiques moyens des différents complexes carbonatés mésozoïques et paléozoïques des Carpates Occidentales dans les différentes conditions, nous permettent de supposer l'écoulement souterrain spécifique moyen minimal cca 8—10 l/s/km<sup>2</sup>. Il s'ensuit que dans les carbonates mésozoïques et paléozoïques des Carpates Occidentales circulent approximativement minimum cca 26,2—32,8 m<sup>3</sup>/s d'eaux souterraines et d'eaux venant des autres complexes non-affleurant mais drainant les assises plus récentes (par ex. les roches néovolcaniques) respectivement des eaux descendant des régions voisines vers les carbonates. Une partie de ces eaux atteint la surface et le reste circule dans les profondeurs alimentant les sources minérales, surtout thermales.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Andrusov D., 1936: Zpráva o podrobném geologickém výzkumu území vrcholového tunelu projektované hlavní dráhy Banská Bystrica—Diviaky. Archiv Geol. úst. D. Štúra, Bratislava. — Bílek K., Čajka R., 1962: Zpráva o průzkumu centrálně karpatského podloží Videňské pánve. Manuscrit, Geofond, Bratislava. — Buday T. et col., 1962: Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape ČSSR 1 : 200 000, Wien—Bratislava, Bratislava. — Ilavský J., Červeňová Ž., 1952: Geologické štúdie na západnom svahu Veľkej Fatry. Geologické práce 30, Bratislava. — Kuthan M. et col., 1963: Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape ČSSR 1 : 200 000, Nitra, Bratislava. — Kullman E., 1961: Vápencovo-dolomitické komplexy a ich vzťah k podzemným vodám. Geol. práce, Zpráva 22, Bratislava. — Kullman E., 1963: Špecifické odtoky podzemných vôd Západných Karpát a možnosti ich využitia pre riešenie základných hydrogeologických otázok. Sbor. geol. věd — řada hydrogeologie a inženýrské geolo-

gie (HIG), in lit. — Kullman E., 1964: Bilancia podzemných vôd južnej časti Po-  
važského Inovca. Geol. práce, Zprávy 31, Bratislava. — Kullman E., 1964: Krasové  
vody Slovenska a ich hydrogeologický výskum. Geologické práce, Zprávy 32, Bratislava.  
— Mahel' M., 1946: Tektonika územia medzi stredným tokom Váhu a Hornou  
Nitrou. Práce Štát. geol. úst. 18, Bratislava. — Mahel' M., 1946: Geológia strednej  
časti Strážovskej hornatiny. Práce Štát. geol. úst. 14, Bratislava. — Mahel' M., 1952:  
Minerálne pramene Slovenska so zreteľom na geologickú stavbu. Práce Štát. geol. úst.  
27, Bratislava. — Tagajeva U. V., 1962: Gidrogeochimičeskij cikl osadočnych porod.  
Bjul, mosk. obšč. isp. prirody, otd. geol. 4, Moskva. — Vodo hospodárske roz-  
vojové stredisko, 1957: Zoznam evidovaných prameňov, Bratislava.

Revu par M. Matula.