

VLASTIMIL KÁTLOVSKÝ*

DIE DISTRIBUTION RADIOAKTIVER ELEMENTE IN GRANITOIDEN
GESTEINEN DES KRISTALLINIKUMS DER KLEINEN KARPATEN

(Abb. 1—8)



Kurzfassung: Im behandelten Gebiet wurden anhand der gamma-spektrometrischen Methode in 242 Proben granitoiden Gesteins die Gehalte an U, Th und K bestimmt. Auf Grund der petrologisch-geologisch-chemischen Charakteristiken wurden 6 Gesteinsgruppen ausgegliedert und zwar: Granit bis Granodiorit, biotitischer Granodiorit bis Tonalit, quarziger Diorit bis Diorit, Gangderivate, metasomatische Derivate und hybride Granitoide. Als Vergleichsparameter diente das arithmetische Mittel der Gehalte an U, Th, K, Th/U und SiO_2 . Es wurde festgestellt, dass sich die Durchschnittsgehalte an Th und U im Bratislavaer und Modraer Massiv nicht voneinander unterscheiden, trotz bedeutender Abweichungen in den einzelnen Gruppen. Keine der Gruppen ausgegliederter Gesteine erreicht jene Durchschnittswerte an U und Th, welche A. P. Vinogradov (1962) für saures Intrusivgestein bestimmte.

Резюме: В упомянутой выше территории были гаммаспектрометрическим методом определены содержания U, Th и K в 242 пробах гранитоидных пород. На основании петрологическо — геологическо — химических характеристик отобрали 6 групп пород, а именно: гранит — гранодиорит, биотитический гранодиорит — тоналит, кварцевый диорит — диорит, жильные дериваты, метасоматические дериваты и гибридные гранитоиды. Параметром сравнения служило арифметическое среднее содержаний U, Th, K, Th/U и SiO_2 . Было определено, что средние содержания Th, U в братиславском и модранском массивах не отличаются вопреки значительным колебаниям в отдельных группах. Ни одна группа из отобранных пород не достигает средних содержаний U и Th которые определил для кислых интрузивных пород А. П. Виноградов (1962).

Einleitung

Die Granitoide sind bereits längere Zeit der Gegenstand von Forschungen der Radioaktivität des Gesteins. Erhöhte Gehalte an radioaktiven Elementen erlaubten deren verlässliche Detektion. Die geochemischen Prozesse, welche zur Entstehung von Granitoiden führen, sind mit einer Anhäufung lithophiler Elemente verbunden, Uran und Thorium inbegriffen. Gegenwärtig sind bereits geochemische Grundcharakteristiken für Granitoide in verschiedenen geologischen Gebieten erarbeitet.

Die aussergewöhnliche geochemische Beweglichkeit von U und Th ist ein empfindlicher Indikator für viele geologische Prozesse, bringt aber bedeutende Probleme beim Studium von Gesetzmässigkeiten deren Streuung in Mineralen mit sich. Am meisten sind sie in Mineralen intrusiver Gesteine erforscht und sind in den Arbeiten von A. A. Smyslov (1968, 1975) zusammengefasst. Die Problematik der Geochemie von U und Th im vulkano-

* RNDr. V. Kátlovský, C.Sc., Geologisches Institut der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Dúbravská cesta 9, 886 25, Bratislava.

iden Prozess berühren die Arbeiten J. J. W. Rogers, J. A. S. Adams (1957), L. L. Leonova, N. I. Udal'cova (1974).

Mit der Vervollständigung der gerätemässigen Ausstattung erlangt die gammaspektrometrische Methode der Bestimmung von U, Th und K immer mehr an Bedeutung. Sie wurde in vielen Arbeiten behandelt so im Ausland wie J. A. S. Gasparini (1970), V. A. Bobrov et al. (1975), als auch im Inland wie V. Moučka (1967), P. Podracký (1970), B. Sitár (1975), J. Bartošek (1967).

Das intensivste geologische Studium, zumal im kristallinen Komplex der Kleinen Karpaten führten B. Cambel, J. Valach (1956) durch. In jüngster Zeit intensivierten sich die Arbeiten der komplexen Forschung durch M. Dyda (1975), B. Cambel et al. (1976), G. T. Bagdassarian et al. (1977), J. Veselský, J. Gbelský (1978).

Die Arbeiten, welche die Distribution radioaktiver Elemente in den Gesteinen der Westkarpaten betrafen, können in zwei Gruppen unterteilt werden:

a) welche sich mit den Gesteinen, resp. mit den Granitoiden der Westkarpaten, in deren gesamter Ausdehnung befassen — J. Bartošek et al. (1972), M. Matolín (1973), L. Kucharič (1978); b) welche sich nur mit den einzelnen geologischen Einheiten oder mit einem bestimmten Gesteinstyp befassen — M. Tréger (1972), M. Stránska (1977), L. Janderlová (1978).

Angewendete Methoden

Zur Gewinnung analytischer Angaben von natürlichen radioaktiven Elementen in geologischem Material wurde die gammaspektrometrische Methode angewendet. Durch Dreikomponentenanalysen wurden die Konzentrationen an U, Th und K bestimmt. Die Messungen wurden anhand eines Szintillations-Detektionssystems durchgeführt, das bei uns serienmässig hergestellt wird, und ausgewertet mittels ungarischem 1024-kanaligem Analysator NTA-512 B. Als Vergleichsstandards wurden synthetische Standards verwendet, welche das Institut für angewandte Geophysik in Brno erzeugt. Auf Grund wiederholter Messungen wurde die mittlere Abweichung der Bestimmung der einzelnen Elemente folgendermassen ausgewertet: $S_{Th} = 0,6 \text{ g.t}^{-1}$; $S_{Ra} = 0,3 \text{ g.t}^{-1}$ [Ur]; $S_K = 0,15 \%$.

Zur geochemischen Bewertung der Gehalte an radioaktiven Elementen wurden statistische Methoden angewendet. Die zur Verfügung stehende technische und programmatorische Ausstattung determinierte das Ausmass der Methode. Für die ausgegliederten Gesteinstypen wurden bestimmt: das arithmetische Mittel (\bar{X}), die mittlere Abweichung (S), der Variationsbeiwert (V), das geometrische Mittel (Q), die Variationsspanne (R_{\min}^{\max}) der einzelnen radioaktiven Elemente und auch die Korrelationskoeffizienten für U, Th, T/U, SiO_2 und K_2O . Sämtliche Berechnungen wurden am kleinen elektronischen Tischrechner WANG-2200 durchgeführt.

Die Ergebnisse der gammaspektrometrischen Messungen wurden auch bei der Erstellung von Karten der Isolinien von Gehalten an U und Th angewendet.

Kriterien zur Aufgliederung des erforschten Materials

Die verschiedenen Quellen, wie auch der unterschiedliche Stand der Erkenntnisse von der mineralogischen, petrographischen und chemischen Zusammensetzung, erforderten einen differenzierten Zutritt an das erforschte Material. Sein Grossteil (160 Proben) wurden neu abgenommen vom Autor unter wirkungsvoller Hilfe des Akademikers B. Cambel. Den Rest bilden archivierte Proben von Akad. B. Cambel und Univ.-Doz. RNDr. J. Veselský. Bei den frisch entnommenen Proben stand eine makroskopische Arbeitsbeschreibung mit chemischer Silikatanalyse, durchgeführt anhand der Röntgenfluoreszenzmethode (Analytiker M. Vondrovic — Geologisches Institut der Slowak. Akad. d. Wiss.), zur Verfügung. Die archivierten Proben boten mehr Angaben. Ausser Silikatanalysen, ausgeführt von verschiedenen Laboratorien anhand klassischer Methoden, existierten eine detaillierte mikroskopische Beschreibung, eine modale mineralogische Zusammensetzung von verschiedenen Autoren (B. Cambel — J. Valach 1956, M. Dyda 1975, J. Macek et al. 1977) und eine Auswertung schwerer akzessorischer Minerale (J. Veselský 1972, J. Veselský — J. Gbelský (1978).

Ausgangsmaterialie für die vom Autor angewendete Aufteilung waren:

- die modale mineralogische Zusammensetzung und auf Grund deren bestimmte Gesteinsbenennungen laut Klassifikation des IUGS-Montreal (1973);
- Silikatanalysen und aus ihnen errechnete Symbole C.I.P.W.;
- die in der Arbeit B. Cambel — J. Valach, 1956 angewendete Klassifikation auf Grund der mineralogisch-chemischen Zusammensetzung, der Struktur und des geologischen Auftretens.

Im Hinblick darauf, dass es nicht möglich war planimetrische Analysen aller Proben zu erhalten und dann die internationale Klassifikation des IUGS anzuwenden, wurde folgendermassen vorgegangen:

1. den Proben, welche laut IUGS (1973) klassifiziert wurden, wurden die Symbole C. I. P. W. zugeordnet und mit der Klassifikation laut B. Cambel — J. Valach, 1956 verlichen;
2. als Hilfskriterium zur Ausgliederung der einzelnen Gruppen, resp. zur Aufgliederung der Gruppe dienten die Gehalte an SiO_2 und K_2O , welche vom Standpunkt des Auftretens radioaktiver Elemente interessant sind.

Die einzelnen Gruppen granitoider Gesteine können folgendermassen charakterisiert werden:

- I. Die Gruppe des Granits und Granodiorits (im Sinne von B. Cambel — J. Valach, 1956) kann noch unterteilt werden in:
 - I-1- doppelglimmeriger, mittelkörniger Granit mit SiO_2 Gehalten im Intervall 70—73% und jenen an K_2O < 4%; die Symbole C.I.P.W. — 1.4.2.3., 1.3.2.3. (58%), 1.4.2.4., 1.3.2.4. (42%);
 - I-2- leukokrater, muskovitischer, mikrokliner, feinkörniger Granit mit SiO_2 > 73 % und K_2O > 4%; die Symbole C.I.P.W. — 1.3.1.3., 1.3.1.2., 1.4.1.3. (64%), 1.3.2.3. (36%).
- II. Gruppe des biotitischen Granodiorits bis Tonalit (mit akzessorischem Muskovit); der Gehalt an SiO_2 bewegt sich im Intervall 65—70%; die Symbole C.I.P.W. 1.4.2.3., 1.4.3.4 (10%), 1.4.2.4. (90%).
- III. Gruppe quarzigen Diorits bis Diorit (mit Amphibol und Quarz bioti-

tisch-amphibolitisch]: Gehalt an $\text{SiO}_2 < 60\%$, die Symbole C.I.P.W.— 2.5.3.4. [100%].

IV. Gangderivate von Granitoiden in welchen ausgegliedert werden können:

IV-1- leukokrate und normale Granitoide: deren chemische Zusammensetzung und somit auch die Symbole C.I.P.W. sind ziemlich variabel und abhängig vom Milieu in welchem sie vorkommen; dem Charakter nach ähneln sie der Untergruppe I-1 sehr.

IV-2- Aplite und Pegmatite: Symbole C.I.P.W. — 1.2.1.3. [70%], 1.3.1.4. [30%].

V. Metasomatische Derivate von Granitoiden.

VI. Hybride Granitoide.

Die genannte Gliederung wurde für Granitoide des Bratislavaer und Modraer Massivs beibehalten.

Die statistische Auswertung der Gehalte an radioaktiven Elementen

Bei der Verarbeitung radiochemischer Angaben wurde von der vorhergenannten Gliederung des Probenmaterials ausgegangen. Das Ausmass der Kollektive einzelner Gesteinstypen ist in einem bestimmten Grade Massstab ihrer Verbreitung im Gebirgszug. Es bestand das Bestreben bei beiden Massiven der Kleinen Karpaten pro km^2 cca je eine Probe zu nehmen. Wie der Karte der Isolinien von Gehalten an U, Th (Abb. 7 und 8) zu entnehmen ist, erlaubte dies der Horizont der Verwitterung, resp. dessen Mächtigkeit nicht immer. Die Ergebnisse der gammaspektrometrischen Messungen, Lokalisation und Probenbeschreibung sind in der Arbeit V. Kátlovský (1979) zusammengefasst.

Die Gruppe Granit bis Granodiorit besteht aus einem Kollektiv von 124 Proben, was 50,2 % aller granitoiden Gesteine ausmacht, wobei nur 3 Proben dem Modraer Massiv entstammen. Diese Tatsache steht in völliger Übereinstimmung mit der Ansicht von B. Cambel — J. Valach (1956) vom saureren Charakter des Bratislavaer Massivs.

Die Aufteilung dieser Gruppe ist auch vom radiometrischen Standpunkt her begründet. Für die Untergruppe I-1 sind die Ergebnisse in Tab. 1 und Abb. 1 zusammengefasst. Es bedarf der Erwähnung, dass es sich hier um das grösste Kollektiv aus granitoiden Gesteinen handelt, das zu den am meisten homogenen zählt. Es ist praktisch eine Nullkorrelation zwischen Th und U, U und K_2O zu beobachten, was für intrusives Gestein sehr ungewöhnlich ist, wie auch eine leicht negative Korrelation zwischen Th und SiO_2 und eine niedrige zwischen U und SiO_2 . Die anomalen Werte an Th können dadurch erklärt werden, dass ein Minimum an Th Proben mit feinkörniger Struktur haben. Diese Proben sollten eigentlich zur Untergruppe I-2 gehören, haben aber verhältnismässig niedrige Gehalte an SiO_2 und K_2O . Proben von einem Maximum an Th, sind am verbreitetsten in der Randpartie des Massivs, wo es infolge veränderter thermodynamischer Bedingungen zu einer Konzentration von Th kommen konnte. Die Proben mit einem Minimum an U, haben ähnlich wie bei Th feinkörnige Struktur und der maximale U-Gehalt wird wahrscheinlich durch den erhöhten Gehalt an akzessorischen Mineralen verursacht. Zu dieser Untergruppe zählen auch die erwähnten 3 Proben

aus dem Modraer Massiv. Die Ergebnisse der Untergruppe I-2 sind in Tabelle 1 und Abb. 2 angeführt. Charakteristisches Merkmal dieses Kollektivs ist die grosse Variabilität aller Parameter, was wahrscheinlich eine Folge petrographischer Verschiedenartigkeit ist. Zum Unterschied von der vorhergehenden Untergruppe zeigt sich hier eine bedeutsame Korrelation zwischen Th und U, wobei die Korrelation von U zu SiO_2 und K_2O bedeutsam negativ ist. Auch die bedeutsame negative Korrelation von Th zu SiO_2 bleibt erhalten.

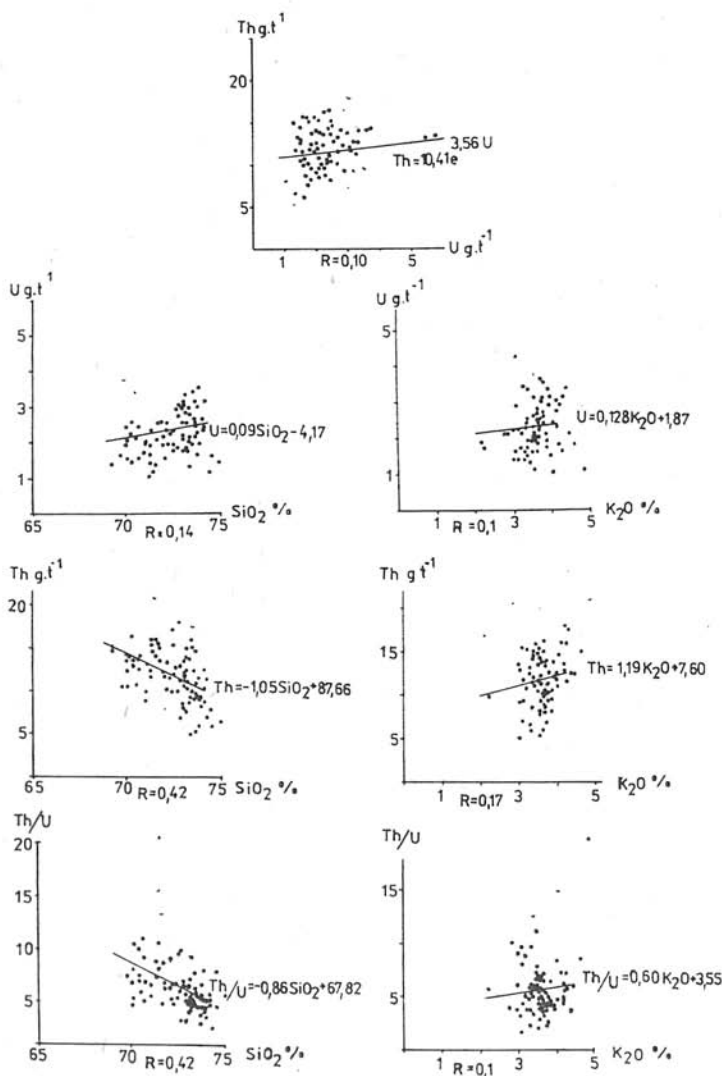


Abb. 1. Korrelationsbeziehungen von U, Th, Th/U, SiO_2 und K_2O der Untergruppe doppelglimmerigen mittelkörnigen Granits bis Granodiorit (Untergruppe I-1) im Bratislava Massiv Erläuterungen: R — Korrelationskoeffizient.

Tabelle 1

Benennung des Gesteins	Bratislavaer Massiv						Modraer Massiv					
	Th (g·t ⁻¹)	U (g·t ⁻¹)	K (%)	Th/U	SiO ₂ (%)	Proben- anzahl	Th (g·t ⁻¹)	U (g·t ⁻¹)	K (%)	Th/U	SiO ₂ (%)	Proben- anzahl
I. Gruppe Granit bis quarziger Granodiorit												
I-2 leukokrat, feinkörnig, mikro klin	\bar{X}	5.4	1.5	3.2	3.5	74.1	ungegliedert					
	S	4.3	0.7	0.7	2.7	1.6						
	V	78.9	49.4	21.6	79.5	2.2						
	Q	4.1	1.4	3.1	2.8	74.1						
	min	1.1	0.6	1.0	0.9	69.6						
	max	16.3	4.7	4.3	16.0	80.1						
I-1 doppelglimmerig, mittelkör- nig	\bar{X}	11.8	2.2	3.1	5.6	72.4	88					
	S	3.3	0.7	0.4	2.7	1.3						
	V	28.2	33.4	15.3	48.5	1.8						
	Q	11.3	2.1	3.1	5.1	72.4						
	min	4.7	1.0	1.8	1.6	69.2						
	max	21.0	5.8	4.3	19.6	74.9						
II. Gruppe biotischen Gra- nodiorits bis Tonalit	\bar{X}	12.5	2.0	2.6	6.5	67.7	13					
	S	4.1	0.6	0.5	3.1	2.5						
	V	32.8	29.9	20.6	47.1	3.7						
	Q	11.8	1.9	2.5	5.9	67.7						
	min	6.7	1.1	1.4	2.4	60.9						
	max	18.8	3.1	3.3	12.8	71.3						
III. Gruppe quarziger Diorit bis Diorit	\bar{X}	12.8	2.5	2.0	5.0	56.4	8					
	S	5.9	1.0	0.4	1.2	3.9						
	V	46.0	39.4	22.9	24.6	7.0						
	Q	11.6	2.3	1.9	4.8	56.3						
	min	5.5	1.0	1.4	3.8	51.6						
	max	23.5	3.9	2.5	6.8	63.4						
	\bar{X}	10.6	2.1	2.4	5.3	70.5	3					
	S	9.6	1.6	1.9	4.0	69.5						
	V	12.2	2.5	2.7	7.6	72.0						
	Q	8.3	1.7	2.2	5.3	67.7						
	min	1.5	0.5	0.4	2.3	1.5						
	max	18.8	34.0	21.6	43.9	2.2						
	\bar{X}	8.1	1.6	2.1	4.9	67.7	40					
	S	4.6	0.7	0.7	2.2	64.1						
	V	15.4	3.1	3.4	11.8	70.8						
	Q	17.2	3.1	1.6	7.3	58.4						
	min	12.3	1.2	1.5	4.3	56.7						
	max	22.2	5.1	1.7	10.4	60.0						

	\bar{X}	9.5	2.1	3.2	4.7	72.9	6	ungegliedert					
IV. Gangderivate	\bar{X}	9.5	2.1	3.2	4.7	72.9	6						
IV-1	S	8.1	1.1	1.6	4.4	2.0							
leukokrate und normale Granitoide	V	85.6	53.4	51.4	93.2	2.8							
	Q	5.8	1.9	2.0	3.0	72.9							
	R	1.1	1.2	0.1	0.9	69.7							
	min	1.1	1.2	0.1	0.9	69.7							
	max	18.9	4.3	4.7	11.9	75.6							
IV-2	\bar{X}	1.9	1.3	3.6	1.7	74.3	25	10.3	2.0	2.3	5.6	70.1	4
Aplitte und Pegmatite	S	1.4	0.7	1.0	1.2	0.9							
	V	74.6	54.7	29.2	71.9	1.2							
	Q	1.4	1.1	3.5	1.2	74.2							
	R	0.1	0.4	1.4	0.1	72.3		4.0	1.2	0.8	3.5	61.2	
	min	7.4	4.0	6.3	4.8	76.4		18.5	2.8	3.6	11.8	77.5	
	max												
V. Metasomatische Derivate	\bar{X}	8.9	3.8	3.7	2.3	73.9	2	9.9	2.0	4.5	6.2	66.4	12
	S							4.5	1.0	2.9	4.8	5.0	
	V							45.5	49.3	65.1	78.7	7.5	
	Q							9.0	1.8	3.5	4.8	66.2	
	R	5.4	3.4	3.4	1.6	72.0		4.3	0.9	0.6	1.2	60.4	
	min	12.3	4.2	3.9	2.9	75.7		20.5	4.0	9.0	19.4	74.1	
	max												
VI. Hybride Granitoide	\bar{X}	9.4	1.7	3.7	5.3	69.4	4	14.7	2.7	2.0	6.1	66.1	2
	S												
	V												
	Q												
	R	8.5	1.5	2.0	4.3	68.0		11.0	2.1	1.7	3.4	65.2	
	min	11.2	2.0	7.7	6.4	70.0		18.4	3.2	2.3	8.8	67.0	
	max												
Mittelwerte für das Massiv	\bar{X}	9.1	1.9	3.1	4.6	71.87	179	9.2	1.9	2.6	5.6	67.38	63

Die letzten Korrelationen sind ungewöhnlich für den gegebenen Gesteinstyp. Aussergewöhnlich ist auch das markante Absinken der Gehalte an Th und U. Von anomalen Werten ist schwer zu sprechen, da diese den Übergang bilden zwischen der Untergruppe I-2 einerseits und der aplit-pegmatitischen (IV-2) andererseits.

Bei der Gruppe biotitischen Granodiorits bis Tonalit besteht eine ganz andere Situation, was deren Anordnung betrifft. Von dem Kollektiv von 53

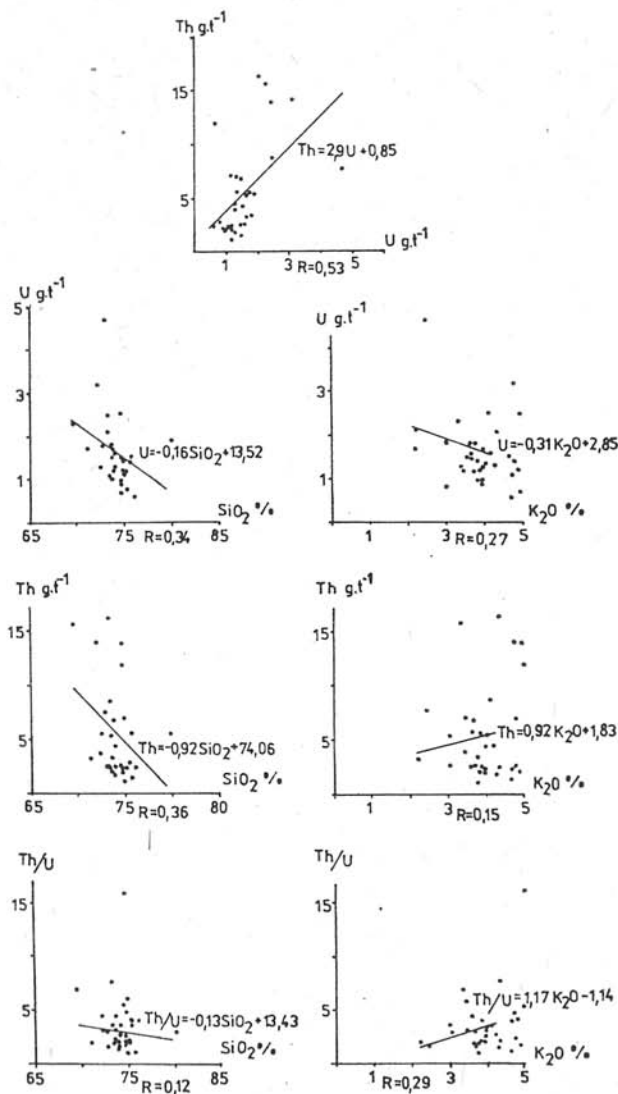


Abb. 2. Korrelationsbeziehungen von U, Th, Th/U, SiO₂ und K₂O der Untergruppe leukokraten muskovitischen mikroklinen feinkörnigen Granits bis Granodiorit [Untergruppe I-2] im Bratislavaer Massiv. Erläuterungen: wie bei Abb. 1.

Proben entstammen 40 (75,5 %) dem Modraer und der Rest von 13 Proben entfällt auf das Bratislavaer Massiv. Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, bestehen im Bezug auf die radiochemische Charakteristik zwischen dem Modraer und Bratislavaer Massiv Unterschiede. Beim Modraer ist eine gesamtheitliche Senkung der Gehalte an radioaktiven Elementen, einschliesslich K zu beobachten. Am markantesten zeigt sich die Senkung bei Th, was die Senkung des Verhältnisses Th/U zur Folge hat. Interessant ist, dass keinerlei Korrelation von Bedeutung besteht zwischen den radioaktiven Elementen untereinander, und auch nicht zu SiO_2 und K_2O (Abbildung 3).

Die Gruppe quarzigen Diorits bis Diorit ist verhältnismässig gering vertreten; hier sind nur 8 Proben aus dem Bratislavaer und 2 aus dem Modraer Massiv. Beim Bratislavaer Massiv bleibt der Durchschnittsgehalt an radioaktiven Elementen auf dem Niveau der Gruppen I-1 und II erhalten. Es muss die Tatsache betont werden, dass bei jenen Proben aus beiden Massiven, in denen Amphibol vorkommt, die Aktivität am höchsten ist und diese Proben überhaupt zu den aktivsten in granitoiden Gesteinen zählen. Eine Erklärung hierfür ist darin zu suchen, dass Gesteine dieses Typs durch Assimilation dunkler Schiefer mit erhöhtem Gehalt an radioaktiven Elementen entstanden.

Unter den Gangderivaten bleibt bei der Untergruppe der Gang-, normalen und leukokraten Granitoiden der Charakter der Verteilung radioaktiver Elemente in den geläufigen leukokraten Gesteinstypen erhalten. Die Gänge haben in Gneisen und Amphiboliten grundsätzlich niedrigere Gehalte. In dieser Untergruppe zeigt sich eine starke Abhängigkeit der radioaktiven Elemente vom K_2O . Die Untergruppe der Aplite des Massivs hat in granitoiden Gesteinen niedrigere Gehalte an radioaktiven Elementen. Das gegenseitige Verhältnis der radioaktiven Elemente, wie auch deren Bindung zu K_2O und SiO_2 (Abb. 4) bleibt so erhalten wie bei der Untergruppe I-2 mit dem Unterschied, dass es nicht so markant ist, was durch die niedrigere Genauigkeit der Messergebnisse gegeben sein kann (Gebiet des Grenzwertes des Gerätes).

B. Cambel — J. Valach (1956) gliederten die Gruppe metasomatisch veränderter Gesteine, zumal im Modraer Massiv aus (z. B. das Gebiet des Berges Dolínkovský vrch). Der Distributionscharakter der radioaktiven Elemente nähert sich am meisten jenem der Gangderivate der Granite, jedoch mit dem Unterschied, dass bei diesem Gesteinstyp der K-Gehalt bedeutend erhöht ist. Das Anwachsen von K ist auch von einem solchen des U begleitet, wovon die Andeutung deren hoher Korrelation zeugt.

Zur Gruppe der hybriden Granitoide wurden Gesteine eines Vorkommens unweit von Jur bei Bratislava eingereiht; sie haben unterschiedliche Gehalte an Parakomponenten. Den radioaktiven Elementen, wie auch der gesamten chemischen Zusammensetzung nach nähern sie sich am meisten der Gruppe II. Aus dem Gebiet des Modraer Massivs gehören hierher die gabbroiden Gesteine aus der Umgebung des Berges Skalnatá, welche sich im Vergleich mit den typischen Granodioriten des Modraer Massivs, durch erhöhte Gehalte an Th und U auszeichnen.

Das gegenseitige Verhältnis der einzelnen Gesteinsgruppen

Als Vergleichsparameter dienten für die Gesteine unterschiedlichen Typs die arithmetischen Mittel der Gehalte an Th, U, K, Th/U und SiO_2 . Ihre Ge-

wichtigkeit ist durch die Homogenität und die Grösse der Kollektivs der einzelnen Gesteinstypen gegeben. Gemeinsam mit der petrographischen Unterteilung wird auch die regionale Gliederung angeführt. Einen Gesamtüberblick bezüglich der granitoiden Gesteine der Kleinen Karpaten bietet Tabelle 1. Aus ihr ist ersichtlich, dass sich im Bratislavaer und Modraer Massiv die Durchschnittswerte der Gehalte an Th und U nicht unterscheiden, trotz bedeutender Abweichungen in den einzelnen Gesteinsgruppen. Die grössten Unterschiede (etwa 50 %) im Th-Gehalt sind bei den basischeren Typen (II.

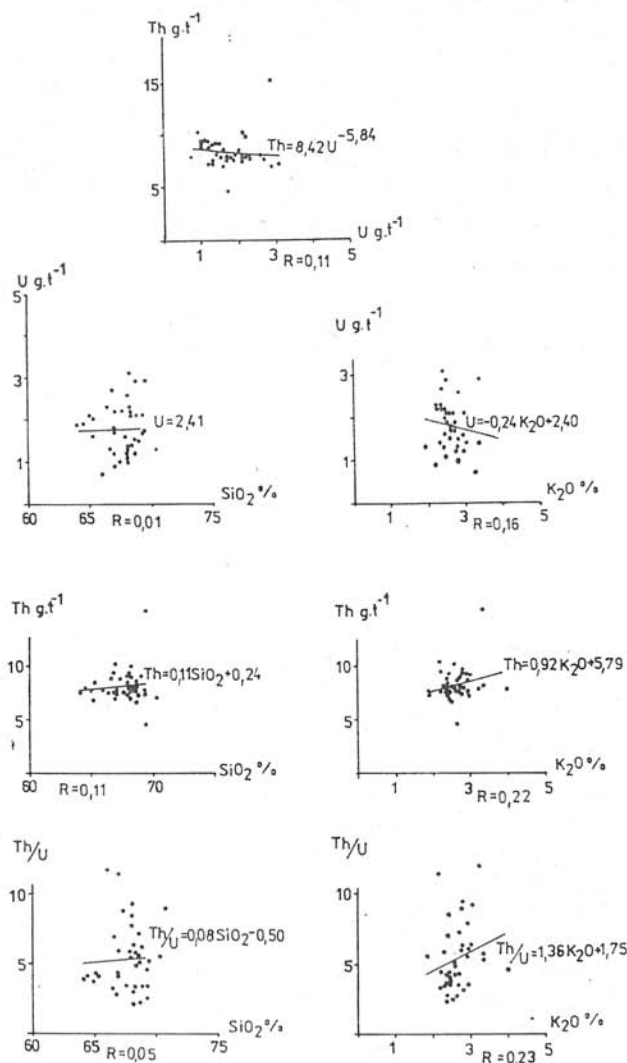


Abb. 3. Korrelationsbeziehungen von U, Th, Th/U, SiO₂ und K₂O der Gruppe bictitischen Granodiorits bis Tonalit im Modraer Massiv.

und III. Gruppe) zu bemerken. Extreme Änderungen der U-Gehalte können veränderten und unhomogenisierten Granitoiden (metasomatische, hybride Derivate) zugeordnet werden. Die in Abbildung 5 veranschaulichten Korrelationsverhältnisse von U und Th in den Haupttypen granitoider Gesteine, weisen auf eine beträchtliche Verteilung der Gehalte im Bratislavaer, und auf eine relative Homogenität im Modraer Massiv hin. Interessant jedoch ist die Beibehaltung eines gleichen Korrelationsmasses zwischen diesen Elementen.

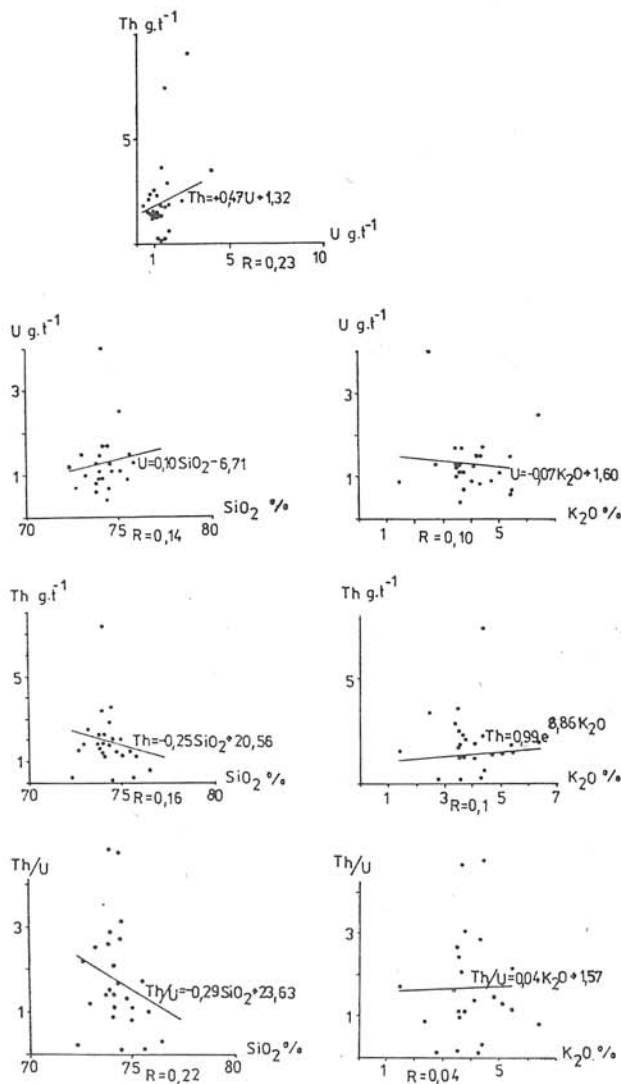


Abb. 4. Korrelationsbeziehungen von U, Th, Th/U, SiO₂ und K₂O der Untergruppe der Aplite und Pegmatite (Untergruppe IV—2) aus dem Bratislavaer Massiv.

Den saureren Charakter des Bratislavaer Massivs dokumentiert das leicht gesenkte Verhältnis Th/U.

Die Verschiedenartigkeit der granitoiden Gesteine des Kristallinikums der Kleinen Karpaten veranschaulicht auch Abbildung 6. Die Histogramme von Th, K₂O und SiO₂ deuten zwei Maxima an, was für mehrere Prozesse, bzw. für verschiedene Stufen der Homogenisation des palingenen Magmas sprechen würde. Weniger kommt diese Tatsache im Histogramm von U und Th/U in Form einer deutlichen Asymmetrie zur Geltung.

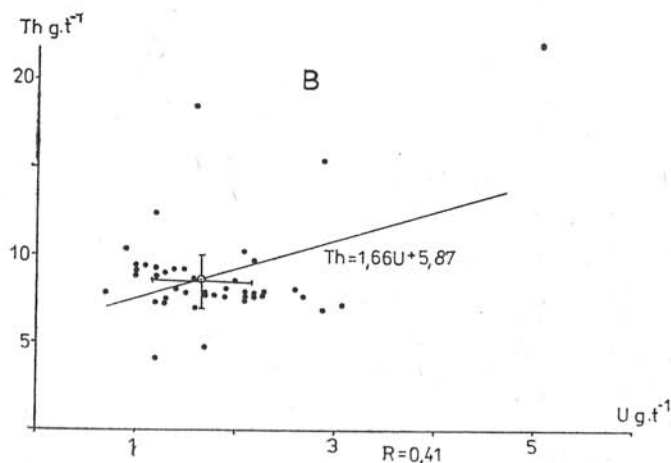
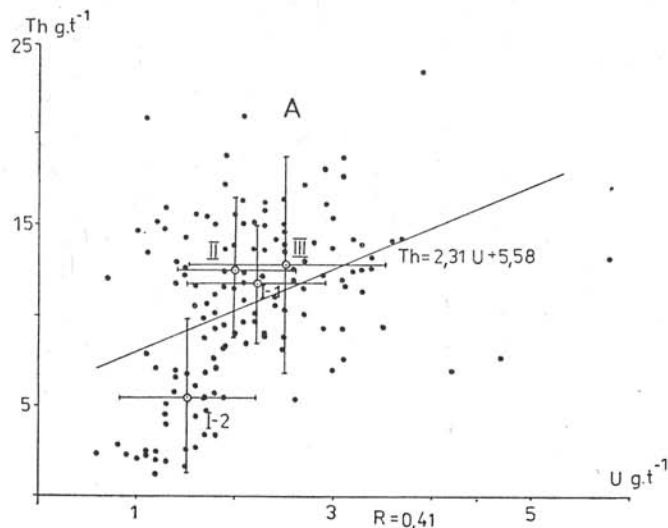


Abb. 5. Histogramme von U, Th, K₂O, SiO₂ und Th/U für granitoide Gesteine des Kristallinikums der Kleinen Karpaten.

Die regionale Verteilung von Th und U

Die spektrometrischen Messungen boten wichtige Informationen von der räumlichen Verteilung der radioaktiven Elemente und auch von den gegenseitigen Verhältnissen verschiedener magmatischer Gesteinstypen. Zumal Th, das bei niedriger Temperatur wenig mobil ist, indiziert recht gut Unhomogenitäten in der mineralogischen Zusammensetzung granitoider Körper. Andererseits muss der Gehalt an U nicht das Merkmal der primären Zusammen-

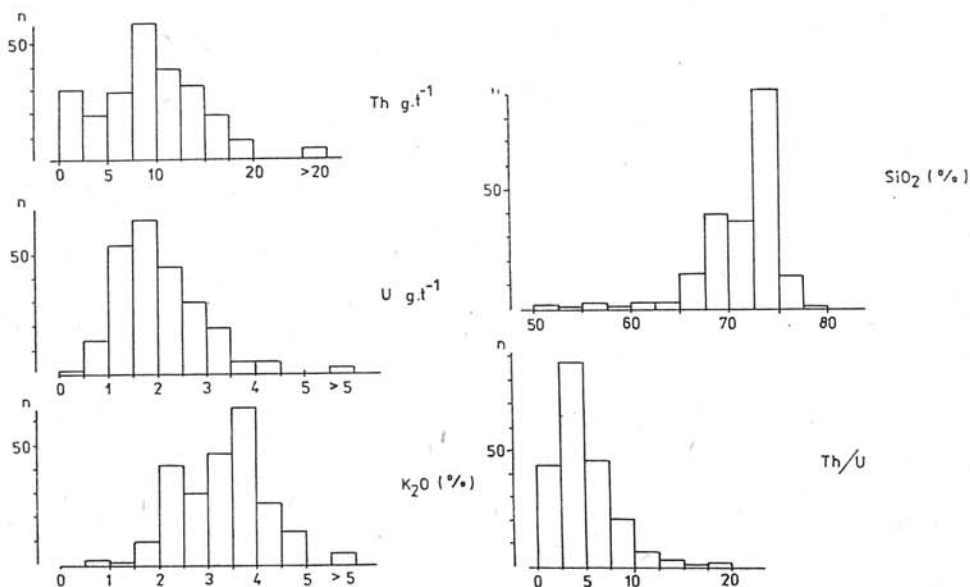


Abb. 6. Korrelationsbeziehung von U und Th für die Gruppe Granit (I), Granodiorit (II) und Diorit (III) im Bratislavaer (A) und Modraer (B) Massiv und deren mittlerer Abweichung.

setzung sein und sein Steigen oder Sinken kann von pneumatolitischen, hydrothermalen und metamorphen Veränderungen zeugen, welchen der Körper unterworfen wurde. Die Gehalte an radioaktiven Elementen wurden zur Erstellung von Karten der Gehalts-Isolinien verwendet, welche mit einem gewissen Mass an Ungenauigkeit die Verteilung dieser Elemente in den einzelnen Massiven angeben. Diese Ungenauigkeiten werden verursacht einerseits durch die eigentliche Methodik des Messens, andererseits auch durch die Unhomogenität des Forschungsobjektes. Die methodischen Ungenauigkeiten werden durch die niedrigen gemessenen Gehalte, zumal jener des U, nahe der Nachweisgrenze verursacht. Die durch Unhomogenität verursachten Ungenauigkeiten bestanden darin, dass oftmals an einer Stelle oder an einer sehr nahen (50–100 m), sich die Unterschiede auf das 1- bis 3-fache beliefen. Es war jedoch nicht möglich die prozentuelle Vertretung der einzelnen Typen zu bestimmen. Aus diesen Gründen wurden als Korrektionsfak-

toren bei der Erstellung der Karten der Isolinien für Th das Verhältnis Th/U, und bei U der K-Gehalt verwendet.

Die Verteilung des U

Einleitend muss konstatiert werden, dass kein einziger Typ granitoider Gesteine im Durchschnitt den Mittelwert an U in saueren magmatischen Gesteinen $3,7 \text{ g.t}^{-1}$ (A. P. Vinogradov 1962) erreicht.

Wie aus der Karte der Isolinien für U, Abb. 7, ersichtlich, fällt der überwiegende Teil des Gebietes in das Intervall 1 — 3 g.t^{-1} . Die Werte unter 2 g.t^{-1} welche für alle sauereren Derivate charakteristisch sind, bedecken fasst den gesamten südwestlichen Teil des Bratislavaer Massivs, setzen am nördlichen und südlichen Bergfuss des Gebirges fort. Entgegengesetzten Trend hat die Distribution im Modraer Massiv, wo der nordöstliche Teil gesenkte Gehalte aufweist und am südlichen bzw. südwestlichen, leicht steigende Werte in Erscheinung treten.

Gehalte über 2 g.t^{-1} haben bloss einige Blöcke am südlichen und südöstlichen Rand des Bratislavaer Massivs. Die mehr oder minder kontinuierliche Zone dieser Gehalte verläuft den Kamm des Gebirges entlang. Ähnlichen Charakter hat auch das Gebiet um die Koten Petrklín und Skalnatá im Modraer Massiv. Diese Steigerung ist an basischere Gesteinstypen gebunden. Zur Erörterung dieser Erscheinung kann die Ansicht (J. Klominský 1969) von der Existenz einer Zonalität granitoider Körper akzeptiert werden, welche durch die Assimilation des Nachbargesteins durch das intrudierende Magma verursacht wurde, wodurch sich die Basizität der Randpartien des Massivs erhöhte. Dies würde auch die Steigerung im Gebirgskamm erklären.

Einer gänzlich anderen Erläuterung bedarf wahrscheinlich die leichte Steigerung des U in der nordwestlichen Begrenzung des Bratislavaer Massivs, welche mit einer Steigerung des K (bis zu 6—7 %) einhergeht. In diesem Falle handelt es sich wahrscheinlich um die Aktivierung bedeutender tektonischer Linien jüngerer Orogene und die Zufuhr von K wurde von einer solchen geringeren Ausmasses von U begleitet. Die fast dreifache Steigerung des U-Gehaltes im Pegmatit im nordwestlichen Teil der Apophyse des Bratislavaer Massivs (Konské Hlavy) und auch die festgestellte Anomalie des U (R. Bialostocki et al. 1977) in der nordöstlichen Fortsetzung der Apophyse, ist eher die Folge der Assimilation des Milieus, in welches das Magma intrudierte (graphitische Schiefer mit primär gesteigertem U). Die Granitoide der Bohrungen im Gebiet des Berges Kolársky vrch weisen deshalb gesenkte Urangelhalte auf (cca. $1,5 \text{ g.t}^{-1}$), weil hier der endokontakte Einfluss des Schiefers unzureichend zur Geltung kam.

Die Verteilung des Th

Ähnlich wie beim U kann konstatiert werden, dass die einzelnen Gesteinstypen niedrigere Th-Gehalte aufwiesen, als dies A. P. Vinogradov (1962) mit 18 g/t für saueres magmatisches Gestein anführt.

Die Karte der Isolinien des Th (Abb. 8) zeigt, dass der überwiegende Teil

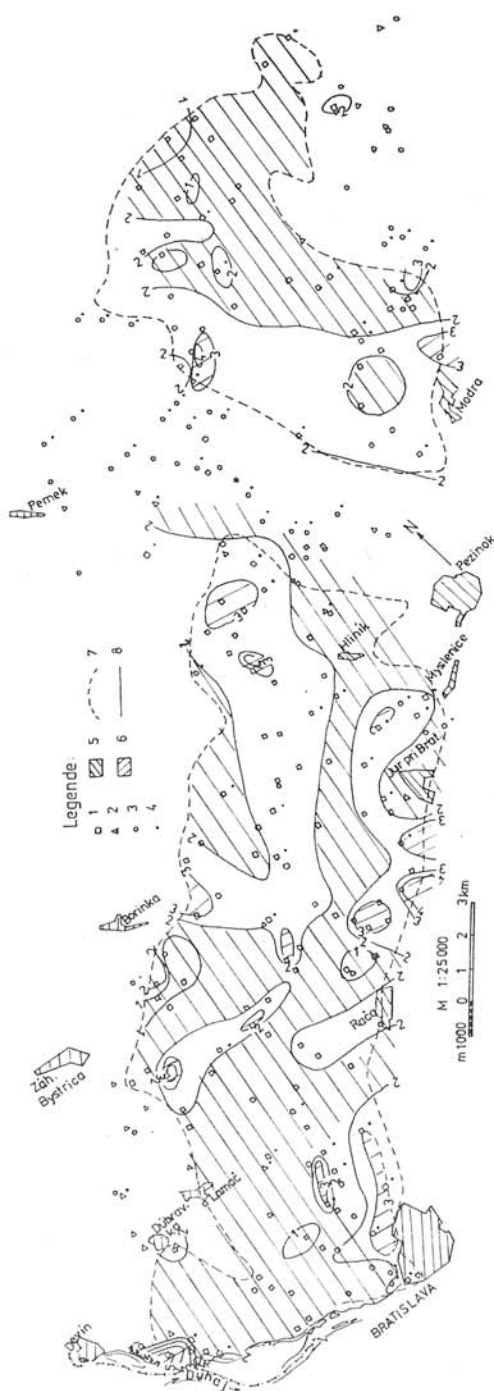


Abb. 7. Karte der Isolinen der Gehalte an U in granitoiden Gesteinen des Kristallinikums der Kleinen Karpaten Erläuterungen: 1 — Probennahmestelle granitoider Gesteine; 2 — Probennahmestelle verschiedenen metamorphierter Gesteine; 3 — Probennahmestelle dunkler Schiefer; 4 — Stelle wiederholter Probennahme; 5 — Gebiete mit Gehalten an U unter 2 g.t-1; 6 — Gebiete mit Urangelhalten über 3 g.t-1; 7 — schematische Begrenzung der granitoiden Massive; 8 — Iso-Gehaltslinien an Uran.

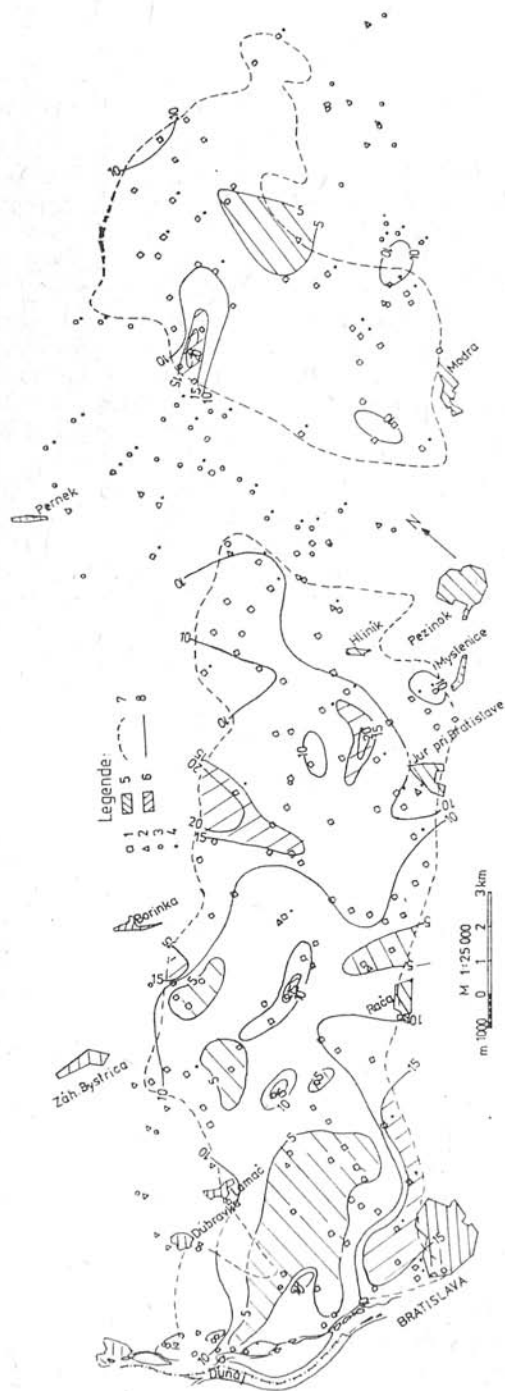


Abb. 8. Karte der Iso-Gehaltslinien von Th in granitoiden Gesteinen der Kleinen Karpaten Erläuterungen: 1-4, 7 — Iso-Gehaltslinien von Th unter 5 g.t.-l.; 5 — Gebiete mit Thoriumgehalten über 15 g.t.-l.; 6 — Gebiete mit Thoriumgehalten über 15 g.t.-l.; 8 — Iso-Gehaltslinien von Thorium.

beider granitoiden Massive aus Gestein mit einem Gehalt von 5 — 15 g.t⁻¹ Th besteht. Im Bratislavaer Massiv weisen die basischeren Gesteine, Diorite bis doppelglimmerige Granite, ziemlich stabile Werte an Th von 10 — 15 g.t⁻¹ auf. Die leukokraten und aplit-pegmatitischen Typen sind an Th ärmer und erreichen bloss weniger als 5 g.t⁻¹ und deren Vorkommen zeichnet sich im südwestlichen Teil des Bratislavaer Massivs ab.

Extrem gesteigerte Gehalte an Th sind, ähnlich wie bei U, an die in den Kammpartien gelegenen, basischeren Typen gebunden. Diese Tatsache bestätigt die Voraussetzung [M. Chlupačová 1974], dass gerade Gesteine dieses Typs am meisten durch assimiliertes Gestein kontaminiert sind und ausserdem als „Filter“ wirken, die im Verlaufe der Evolution der Intrusion Th zurückhalten. Die Bestätigung dieser Voraussetzung deutet auch der Umstand an, dass keines der assimilierten Gesteine solche Th-Konzentrationen erreicht.

Die gesteigerten Gehalte bis zu 20 g.t⁻¹ Thoriums im Gebiet von Borinka, nahe des Kontaktes mit mesozoischem Kalkstein, Quarziten und dynamisch alpin veränderten Graniten (Myloniten), könnten nachträglich durch Migration im Prozess der Tektonometamorphose verursacht worden sein.

Eine ähnliche Verteilung ist auch im Modraer Massiv zu beobachten. Das Gebiet mit niedrigen Th-Gehalten zeichnet sich im Nordostteil des Modraer Massivs ab, der überwiegend von autometamorphosierten Derivaten und doppelglimmerigen Granodioriten aufgebaut wird.

Die erhöhten Th-Konzentrationen in der Umgebung der Kote Skalnatá und Zochová chata sind an hybride gabbroide Gesteine gebunden, und die Interpretation sollte dieselbe sein, wie für die Gesteine des Bratislavaer Massivs. Eine Parallele der Kontaktzone ist im Gebiet der Kote Biela Skala zu finden.

Schluss

Die angewendete gammaspektrometrische Methode ermöglicht die Bestimmung von Gehalten an natürlichen radioaktiven Elementen in einer ganzen Reihe magmatischer Gesteine. Sie bietet so die Möglichkeit, sie zur Erstellung regionaler radiochemischer Karten verschiedener geologischer Einheiten zu benutzen, die ihrerseits wieder als Unterlage zur Erstellung weiterer geochemischer und metallogenetischer Karten dienen können.

Die Applikation dieser Methode auf granitoides Gestein des Kristallinikums der Kleinen Karpaten erlaubte vom radiochemischen Standpunkt, ziemlich genau die einzelnen Gesteinsgruppen in verschiedenen geologischen Einheiten zu charakterisieren.

Die granitoiden Gesteine zeichnen sich dadurch aus, dass keine einzige Gruppe der ausgliederten Gesteine jene Durchschnittsgehalte an Uran und Thorium erreicht, welche für saures intrusives Gestein durch A. P. Vinogradov, 1962 bestimmt wurden. Die Gruppe quarzigen Diorites und Diorites übersteigt mit ihren Gehalten an U und Th die für intermediäres Eruptivgestein angeführten Werte. Die Mittelwerte von U und Th, sowie deren wechselseitige Korrelation unterscheiden sich im Bratislavaer und Modraer Massiv, trotz bedeutender Abweichungen in einzelnen Gesteinsgruppen, nicht voneinander. Die grössten Unterschiede im Th-Gehalt sind bei den basische-

ren Typen — biotitischer Granodiorit bis Diorit — zu verzeichnen. Die extremen Änderungen der Gehalte an U können verschieden veränderten Granitoiden — metasomatische und hybride Derivate—zugeordnet werden.

Übersetzt von E. Walzel

SCHRIFTTUM

- ADAMS, J. A. S. — GASPARINI, P., 1970: Gamma-ray spectrometry of rocks. Elsevier [Amsterdam], 1970.
- BAGDASARJAN, G. P. — CAMBEL, B. — VESELSKÝ, J. — GUKASJAN, P. CH., 1977: Nekotoryje svedenia po geochronologii kristallinikuma Zapadnych Karpat na osnove dannyh U-Th-Pb metoda. Geol. zborn. Geologica Carpathica [Bratislava], 28, 2, s. 243—260.
- BARTOŠEK, J., 1967: Stanovení klarkových koncentrací thoria, uranu a draslíku v horninách gamma-spektrometru. Věstník ÚÚG [Praha], 42, S. 353—362.
- BARTOŠEK, J. — CHLUPÁČOVÁ, M. — KAŠPAREC, I., 1972: Výzkum přirozené radioaktivity slabě aktivních hornin. Geofysika, n. p., Brno, Manuscript.
- BIALOSTOCKI, R., 1977: Správa z geofyzikálneho prieskumu. Úloha — Malé Karpaty — Sb. SGÚ—Geopol—PolSERVICE, Geofond Bratislava, Manuscript.
- BOBROV, V. A. — GOFMAN, A. M. — KRENDELEV, F. P., 1975: Laboratornyj analiz urana, toria kalia v gornych porodach gamma-spektrometričeskim metodom. In: Radioaktivnye elementy v gornych porodach". Nauka [Novosibirsk], S. 252—260.
- CAMBEL, B. — VALACH, J., 1956: Granitoidné horniny Malých Karpát, ich geológia, petrografia a petrochémia. Geol. práce [Bratislava], Heft 42, S. 113—259.
- DYDA, M., 1975: Statistical elaluation of zircon morphology from the Malé Karpaty granitoid rocks [West Carpathians] Geol. zborn. Geologica Carpath. [Bratislava], 26, 2, S. 327—340.
- JANDERLOVA, L., 1978: Distribúcia rádioaktívnych prvkov v granitoidných a metamorfovaných horninách veporidného kryštalinika. PFUK Bratislava, Diplomarbeit, Manuscript.
- CHLUPÁČOVÁ, M., 1974: Radioaktivita granitů západních a severozápadních Čech. PFUK Praha, Kandidaten-Dissertationsarbeit, Manuscript.
- KÁTLOVSKÝ, V., 1979: Distribúcia prirodzených rádioaktívnych prvkov v granitoidoch a metamorfitech Malých Karpát. Kandidaten-Dissertationsarbeit, Geologický ústav SAV, Bratislava, Manuscript.
- KLOMINSKÝ, J., 1969: Krkonošsko-jizerský granitoidní masív. Sbor. geol. věd, Řada Geologie [Praha], 15, S. 7—133.
- KUCHARIČ, L., 1978: Príspevok terénnej gamaspektrometrie k poznaniu niektorých granitoidov Západných Karpát. Mineralia slov. [Bratislava], 10, 6, S. 527—538.
- LEONOVA, L. L. — UDAECOVA, N. I., 1974: Geochimia urana i toria v vulkaničeskom processe na primere Kurilo-Kamčatskoj zony. „Nauka“, Novosibirsk, S. 94.
- MACEK, J. — PETRÍK, I. — BEZÁKOVÁ, G. — KAMENICKÝ, L., 1979: Ein Beitrag zur modalen Charakteristik der Granitoide der Westkarpaten. Geol. zborn. — Geologica Carpath. [Bratislava], 30, 2, S. 235—248.
- MATOLÍN, M., 1973: Interpretace aeroradiometrické mapy ČSSR 1:200 000 (II. Etappe — Západní Karpaty). Geofond Bratislava, Manuscript.
- MOUČKA, V., 1967: Laboratorní spektrometrické metody při analýze některých radioaktivních surovin. Zbor. „Hornická Příbram ve vědě a technice“ (Příbram).
- PODRACKÝ, P., 1970: Měření nízkých aktivit pro účely mineralogie a geochemie. Kandidaten-Dissertationsarbeit, VŠB Ostrava.
- ROGERS, J. J. W. — ADAMS, J. A. S., 1957: Autography of vulcanic rocks of Mount Lassen. Science, (Washington), 25, S. 936—971.
- SITÁR, B., 1975: Radioizotopy tvorené kozmickým žiarením a ich meranie. Kandidaten-Dissertationsarbeit, PFUK Bratislava.
- SMYSLOV, A. A., 1968: Zakonomernosti raspredelenia i migracii urana i toria v gornych porodach zemnoj kory. In: „Osnovnye principy i metodika radiochimičeskogo kartirovania gornych porod“. Trudy VSEGEI [Leningrad], nov. ser. 164, S. 5—31.
- SMYSLOV, A. A., 1975: Uran i torij v mineralnom veščestve zemnoj kory. In: „Radioaktivnye elementy v gornych porodach“. „Nauka“, Novosibirsk, S. 10—18.

- STRÁNSKA, M., 1977: Geochemické štúdium a fyzikálne vlastnosti hornín veporíd. PFUK Bratislava, Rigorosum, Manuskript.
- TRÉGER, M., 1972: Rádiochemická charakteristika niektorých gemeridných granitov. Mineralia slov. (Bratislava), 4, S. 267—278.
- VINOGRADOV, A. P., 1962: Srednie soderžanie chimičeskich elementov v glavnyh tipach izveržennyh porod zemnoj kořy. Geochimija, (Moskva), 7, S. 555—571.
- VESELSKÝ, J., 1972: Akzessorische Minerale granitoider Gesteine der Kleinen Karpaten. Geol. zborn. — Geologica Carpath. (Bratislava), 23, 1, S. 115—131.
- VESELSKÝ, J. — GBELSKÝ, J., 1978: Výsledky štúdia akcesorických mineralov granitoidov a pegmatitov Malých Karpát. Acta geol. et geogr. Univ. Com., Geologica (Bratislava), 33, S. 91—111.

Zur Veröffentlichung empfohlen
von B. CAMBEL

Manuskript eingegangen am
22. September 1980.