

BRUNO DI SABATINO, CIRIACO GIAMPAOLO *

SULLE ORIGINI DELLE PSEUDOLEUCITI **

RIASSUNTO. — La formazione della pseudoleucite avviene nella massima parte dei casi pressochè completamente allo stato solido e necessita di tempi lunghi; pertanto è comune soprattutto in rocce ipoabissali e proietti vulcanici.

Si forma per smescolamento di molecole analcitiche e conseguente rottura del reticolo della leucite monometrica, che all'equilibrio determina la formazione di aggregati di nefelina e k-feldspato.

Solo per alcune pseudoleuciti è ammissibile l'ipotesi dell'interazione parziale con il fuso, secondo Bowen, al punto « R », e cioè quando la percentuale di molecola analcítica è pari alla quantità massima di soluzione solida che può entrare nel reticolo della leucite monometrica, alle P-T-X considerate.

Si può prevedere sulla base dei risultati sperimentali l'esistenza di pseudoleuciti a *kalsilite/nefelina/k-feldspato* e *kalsilite/k-feldspato*.

ABSTRACT. — Pseudoleucite forms, in the majority of cases, in the solid state over a long period of time, hence it is common in hypabissal rocks and volcanic ejecta. It is produced by exsolution of the analcite molecule from the cubic leucite lattice, which equilibrates to an aggregate of nepheline and k-feldspar.

The Bowen hypothesis of the reaction between leucite and liquid at the point « R » in the « Petrogeny Residua System » is valid only when the analcite solid solution in the leucite is at the maximum for the P-T-X conditions considered.

Con il termine di « pseudoleucite » si suole definire una particolare pseudomorfosi, su leucite, di un aggregato di k-feldspato e nefelina.

Tale aggregato fu riconosciuto per la prima volta nel 1843 dallo Scacchi, in massi isolati di leucitofiro eruttati dal Vesuvio, sotto forma di grossi individui, con l'abito della leucite, completamente sostituiti da intercompenetrazioni di ortoclasio e nefelina.

All'indagine dello Scacchi seguirono numerosi studi che confermarono tale natura e ne estesero la casistica. Citiamo WILLIAMS (1890) e WASHINGTON (1900) per le pseudoleuciti contenute in rocce alcaline dell'Arkansas; PIRRSÓN (1895, 1905) e LARSEN e BUJE (1938, 1939) per la provincia alcalino-potassica di Highwood Mts.; TEALL (1900) e SHAND (1906) in rocce sienitiche della Scozia ed ancora KNIGHT (1906), KEYES e WASHINGTON (1926), BOWEN (1928, 1937), RITTMAN (1933), ZAVA-

* Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Roma.

** Lavoro eseguito sotto gli auspici del CNR.

RITZKY (1934), NIKOLAEV (1938), BILIBIN (1941), KUZNETSOV (1953), KENZO YAGI (1954), ZIES e CHAYES (1960), FUDALI (1957, 1963) che hanno esaminato e segnalato pseudoleuciti contenute in rocce alcalino-potassiche canadesi, americane, africane, cinesi, asiatiche ed italiane.

Il problema della pseudoleucite è strettamente connesso con la possibilità di esistenza di soluzione solida in $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ entro il reticolo cristallino della leucite monometrica.

Al di là della sua intrinseca frequenza, decisamente trascurabile, ha assunto un significato petrologico implicito sin da quando, in via del tutto ipotetica, il Knight, già dal 1906, ne giustificò la genesi per derivazione da leuciti ricche in molecola sodica. WASHINGTON (1907) e molti altri AA. appoggiarono la tesi del Knight, ma BOWEN ed ELLESTAD (1937), sulla base dello studio del « sistema petrogenetico residuale » e dell'osservazione di campioni pseudoleucitizzati ai bordi, contrastarono decisamente tale teoria, considerando il bordo come il risultato dell'interazione, nel punto « R » del « sistema petrogenetico residuale », tra fuso e leucite. Anzi dal Bowen il punto « R » viene definito « the pseudoleucite reaction point ».

LARSEN e BUIE (1938), pur tenendo conto degli studi sperimentali del Bowen, sulla base dei dati chimici e petrografici, e soprattutto sul riscontro della frequente associazione di pseudoleucite ed analcime, riprendono il concetto dello Knight, estendendo la derivazione delle pseudoleuciti anche ad analcimi; per queste ultime gli AA. ipotizzano estese soluzioni solide con la molecola potassica. La formazione dell'aggregato, comunque, secondo essi, avverrebbe sempre prima della consolidazione totale, mentre i bordi di « ortoclasio » giustificerebbero le interazioni con il liquido, d'accordo con il Bowen.

RITTMAN (1933) considera il processo connesso con fenomeni di autopneumamorfismo.

ZIES e CHAYES (1960) riconoscono per la pseudoleucite da loro analizzata (una rarità per la sua purezza) una composizione gravitante strettamente sul giunto Lc-Anl, accettano la sua derivazione da analcimi soluzioni solide e ne riportano la genesi ad interazioni con il fuso nel punto « R » del Bowen, con eccezioni mosse a tale modello solo sulla base del contenuto non trascurabile in Fe.

Nel 1957 il Fudali accetta la teoria della derivazione della pseudoleucite da analcimi soluzioni solide con la molecola potassica. Ma nel 1963, ottenuto sperimentalmente per le analcimi una soluzione massima pari a $\sim 2\%$ in K_2O , e soprattutto riconosciuta, per la prima volta in via sperimentale, l'esistenza di leuciti soluzioni solide, controllandone il comportamento sino ai 650°C , riconosce al Bowen la possibilità di limitate interazioni con il fuso nel punto « R » ed assume quale fattore essenziale la rottura del reticolo cristallino di leuciti soluzioni solide, essenzialmente allo stato solido.

Da noi è stata effettuata una indagine sperimentale preliminare sui campi d'equilibrio, allo stato solido, tra 800° e 300°C (1 kb di H_2O), per leuciti contenenti sino al 30 % di molecola analcitica ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$).

I gels di partenza sono stati preparati secondo il metodo di HAMILTON (1960), che è una modificazione del metodo di ROY (1956).

Gli esperimenti sono stati effettuati con un « cold seal pressure vessel » di TUTTLE (1949). La temperatura, controllata a registrazione continua, è stata misurata potenziometricamente, utilizzando termocoppie interne in chromel/alumel, calibrate sul punto di fusione di NaCl (801° C). È stata utilizzata sempre la pressione di 1 kb di H₂O, con contenuti ridotti di fase vapore.

I risultati sono stati analizzati tutti diffrattometricamente e, quando necessario, controllati otticamente.

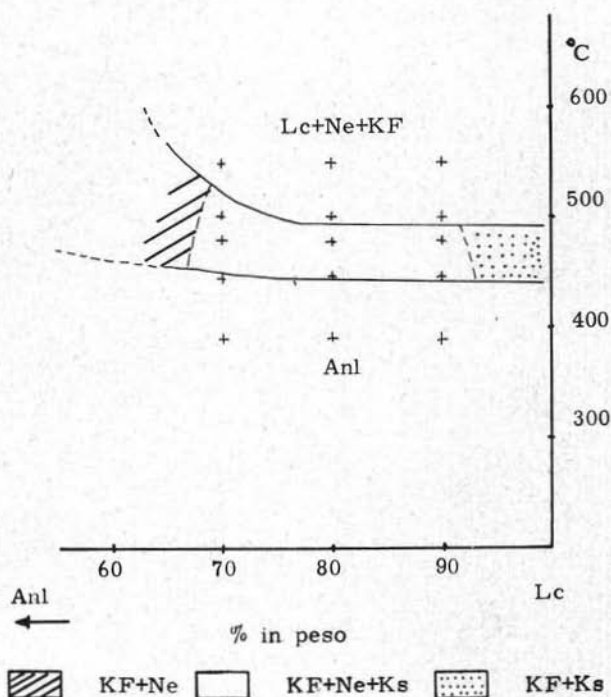


Fig. 1. — Ricostruzione sperimentale dei campi di stabilità delle pseudoleuciti. - (+) Punti analitici.

Tra 850° e 650° C i dati sperimentali da noi conseguiti, permettono di verificare una progressiva diminuzione, con il procedere del raffreddamento, del contenuto di molecola analcítica in soluzione solida nella leucite, attestata e parageneticamente bilanciata all'equilibrio da incidenze sempre maggiori di k-feldspato e nefelina, in modo analogo a quanto ricostruito dal FUDALI nel 1963.

Per composizioni pari al 30 % di molecola analcítica, a temperature comprese

fra i 640° ed i $525^{\circ} \pm 10^{\circ}$ C, all'associazione nefelina/k-feldspato si affianca la fase tetragonale della leucite, termine pressochè puro.

A temperature inferiori a 525° C ad 1 kb di H_2O e per le medesime composizioni chimiche, si verifica la rottura definitiva del reticolo della leucite tetragonale con formazione di nefelina/k-feldspato e scarsa kalsilite.

Tra i 440° C $\pm 10^{\circ}$ C e la temperatura critica dell' H_2O , sempre ad 1 kb di pressione totale di H_2O , si instaura il campo di stabilità dell'analcime.

Per concentrazioni in molecola analcítica via via più basse si evidenzia una stabilità gradualmente maggiore della leucite tetragonale (640° - 500° C).

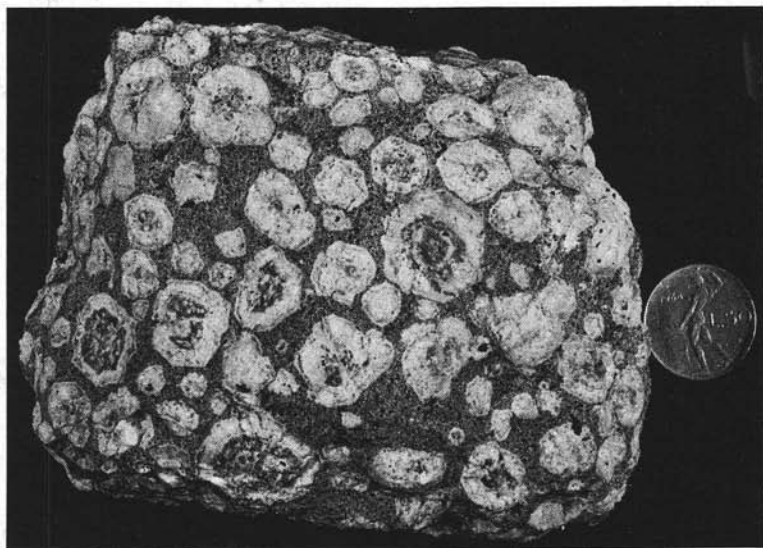


Fig. 2. — Proietto leucitifiro dei Colli Albani: evidenti nuclei limpidi (leucite pura) e bordi opacizzati, parzialmente pseudoleucitizzati (vedi testo).

Per incidenze inferiori al 20 % della molecola $NaAlSi_2O_6$ al di sotto dei 500° C e sino al campo di stabilità dell'analcime si riscontra un'associazione rappresentata da k-feldspato, nefelina, kalsilite e leucite. Sia la regola delle fasi che l'associazione sul giunto KF-Ks prevedono tuttavia la coesistenza di due fasi, e non tre come osservato e pertanto denunciano la metastabilità, per tali condizioni sperimentali della leucite (fase meno densa). Tale metastabilità d'altra parte, è comprovata dagli studi di SCARFE ed Altri (1966), che per estrapolazione dei risultati conseguiti tra i 2 e i 10 kb, riportano la dissociazione completa della leucite pura in kalsilite+k-feldspato, per 1 kb, a circa 525° C, ed a circa 500° C per 1 atm.

Le indicazioni offerte dal FUDALI (1963), il campo di stabilità della leucite infusi a scarsissimo contenuto in H_2O (SCARFE ed Altri, 1966; LINDSLEY, 1966), le trascurabili variazioni isoterliche della soluzione solida alle varie pressioni, unitamente ai primi risultati per diffrattometria a caldo, ci orientano ad accettare, in fusi prevedenti temperature di cristallizzazione superiori ai $1000^\circ C$ e decisamente poveri in H_2O , la possibilità di contenuti massimi anche maggiori del 40 % di molecola $NaAlSi_2O_6$ nel reticolo cristallino della leucite.

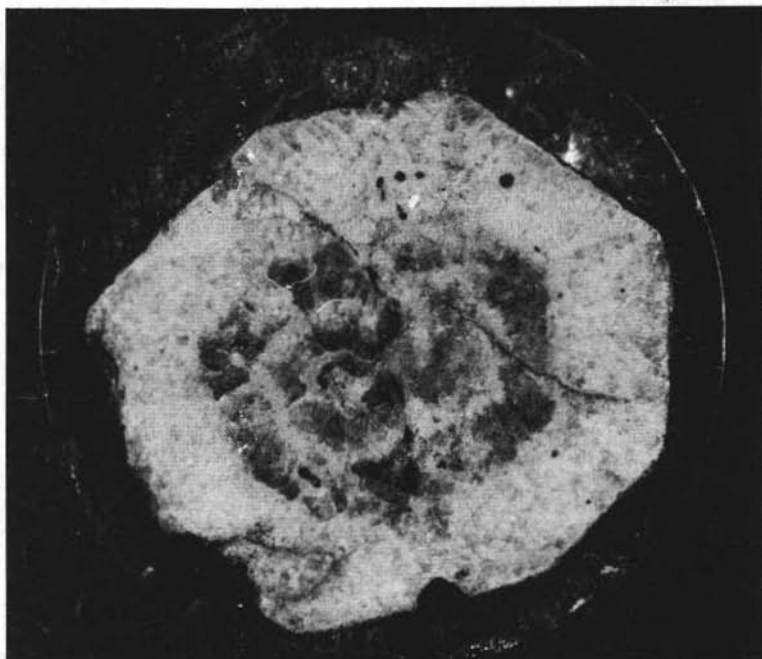


Fig. 3. — Individui di «leucite» a zonatura ricorrente. Coalescenza di due cristalli già zonati, con successivo accrescimento e sviluppo di un singolo individuo cristallino idiomorfo. Uno «scanning» alla microsonda ha rivelato sensibili contenuti in Na_2O nei settori opacizzati.

Ai dati sperimentali è stato possibile associare anche analisi preliminari, ma decisamente probanti, su campioni naturali. Infatti alcuni proietti del vulcano laziale ed un proietto rinvenuto in località I Terzi (Bracciano), si sono rivelati sottoposti al processo di pseudoleucitizzazione.

La «leucite» de I Terzi risulta costituita in genere da un bordo di nefelina + k-feldspato intercompenetrati, con nucleo analcimizzato, analogamente alle pseudoleuciti di Highwood Mts. descritti da LARSEN e BUIE (1938). I feldspatoidi dei proietti dei Colli Albani (conservati attualmente presso il Museo di Mineralogia dell'Università di Roma) risultano decisamente più interessanti. Gli abbondantissimi fenocristalli idiomorfi di «leucite», quando sezionati, evidenziano un nucleo

pressochè costantemente limpido, mentre il bordo appare opacizzato in massa per un'estensione variabile; ad un esame di maggior dettaglio la massa lattiginosa appare sagrinata da liste trasparenti e localizzata generalmente in fratture susseguenti alla trasformazione di fase (Fig. 2).

Molto più importante tuttavia è la constatazione che in alcuni individui tale zonatura, come già detto marcata da settori trasparenti alternati ad altri opacizzati, denuncia un andamento anche ricorrente (Figg. 3-4) che, ad un esame preliminare



Fig. 4. — Altro esempio di zonatura ricorrente nella « leucite » dei Colli Albani.

alla microsonda, ha rivelato sensibili variazioni complementari di Na_2O e K_2O . L'esame microscopico mostra in corrispondenza dei settori opacizzati uno sviluppo parziale del processo di pseudoleucitizzazione, catalizzato attorno a nuclei cristallini, ed il fatto è confermato dall'analisi diffrattometrica che, per i settori opacizzati rivela abbondante leucite paragenetica con nefelina e k-feldspato; previo attacco con acido cloridrico è stato possibile riconoscere, sempre all'analisi ai raggi X, una struttura monoclinica per l'ortoclasio e contenuti in molecola Ab limitati al 5%. Il k-feldspato della pasta di fondo, variabile per composizione, denuncia una composizione compresa fra Or_{75} ed Or_{95} . L'analisi roentgenografica rivela altresì l'assenza completa di analcime, anche se permane un ridottissimo contenuto in H_2O^+ , pari a 0,35 % (su cristallo in toto).

Sulla base dei risultati sperimentali, che per temperature superiori ai 650°C confermano gli andamenti ricostruiti dal FUDALI (1963), la pseudoleucite si genera

allo stato solido nel raffreddamento lento per progressivo smescolamento di molecola $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ e conseguente rottura del reticolo cristallino, per dar luogo, all'equilibrio, all'associazione nefelina÷k-feldspato. Le temperature di inizio e fine del processo sono funzione dell'incidenza della molecola sodica.

Per soluzioni solide che non raggiungano il massimo contenuto in sodio possibile alle condizioni T , $P_{\text{H}_2\text{O}}$ e concentrazioni di formazione, si ha consolidazione finale prima che si pervenga al punto « R » del Bowen; in tal caso la pseudoleucitizzazione è un processo possibile soltanto allo stato solido. Per concentrazioni iniziali lontane dal giunto Lc/Anl le possibili interazioni con un fuso più ricco in SiO_2 ,



Fig. 5. — Individuo perfettamente idiomorfo di « leucite » senza traccia di interazioni con il fuso residuale.

determinerebbero interazioni feldspatiche, per composizioni più povere in SiO_2 , invece, originerebbero intercompennetrazioni nefeliniche. Quindi solo nel caso di leuciti soluzioni solide a massimo contenuto in $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ è possibile il raggiungimento del punto « R » del Bowen.

Quando il processo di pseudoleucitizzazione venga confrontato con gli equilibri stabili verificati sperimentalmente al di sotto della temperatura di 650°C , è possibile dedurre come soluzioni solide contenute entro il valore del 30 % di molecola analitica, ad 1 kb di H_2O , determinino lo smescolamento finale all'atto della trasformazione di fase e la rottura completa del reticolo della leucite tetragonale al di sotto di $525^\circ\text{-}500^\circ \text{C}$. L'associazione paragenetica, per tali valori termici, è data da nefelina/k-feldspato decisamente povero in molecola Ab, mentre l'inci-

denza della kalsilite, assai scarsa per tenori di molecola analcitica pari al 30 %, diventa sempre maggiore per termini sempre più puri all'origine. I tempi necessari all'equilibrio del processo di pseudoleucitizzazione sono decisamente lunghi, nei confronti del processo di analcimizzazione (DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975) ed appaiono proporzionati anche alla purezza della leucite. Sulla base di tali presupposti si può quindi preventivare l'esistenza, accanto all'associazione nefelina/k-feldspato, per soluzioni solide con contenuto maggiore del 30 % in molecola analcitica, pseudoleuciti a nefelina/k-feldspato (ortoclasio e, per tempi lunghi, microclino)/kalsilite e l'associazione k-feldspato/kalsilite per rottura di leuciti sempre più pure; specie le ultime prevedono tempi lunghi a temperature inferiori ai 500° C, e quindi sono realizzabili essenzialmente in proietti vulcanici ed in rocce ipoabissali.

L'andamento zonato da noi riconosciuto in alcuni campioni naturali, la mancanza di bordi di reazione (Fig. 5), la riconosciuta natura ortoclasica povera in molecola Ab, ed in alcuni casi microclinica del k-feldspato (FUDALI, 1963), unitamente ai dati analitici di ZIES e CHAYES (1960), risultano i soli elementi a tutt'oggi validi su cui avanzare ipotesi genetiche per spiegare le pseudoleuciti non associate ad analcimi. Queste gravitano strettamente sul giunto Lc-Anl, giustificando, anche nel contesto degli altri caratteri, sia la derivazione da leuciti soluzioni solide, sia il comportamento delle leuciti, così trasformate, come sistema chiuso durante il raffreddamento.

Il contenuto in H₂O è probabile resti decisamente al di sotto dei limiti di solubilità di tale sostanza nel fuso silicatico. Non si possono accettare alti valori iniziali per la pressione di H₂O, nella formazione della pseudoleucite totale, sia per la conseguente forte riduzione del campo di stabilità della leucite, sia per l'inibizione di partenza di sensibili contenuti in NaAlSi₃O₈ nonchè per l'abbassamento della temperatura di cristallizzazione finale e, in raffreddamento insufficientemente lento per il raggiungimento degli equilibri, per la sovrapposizione, alle temperature più basse, del processo di analcimizzazione (DI SABATINO e GIAMPAOLO, 1975).

Si ringraziano vivamente i Proff. CARLO LAURO e GIANCARLO NEGRETTI per la lettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- BILIBIN Y. A. (1941) - *The petrology of the Aldau post-jurassic intrusion of the Aldau District*. Petrography of USSR, Ser. I, Fasc. II, 10, Petr. Div. Inst. Geol. Sc. Acad. Sci., 164.
- BOWEN L. N. (1928) - *The evolution of igneous rocks*. Princeton, pp. 254.
- BOWEN L. N., ELLESTAD R. B. (1937) - *Leucite and pseudoleucite*. Am. Min., 22.
- DI SABATINO B. e GIAMPAOLO C. (1975) - *Campi di stabilità di analcimi primarie e secondarie* (in corso di stampa).

- FUDALI R. F. (1957) - *On the origin of pseudoleucite*. Trans. Am. Geophys. Un., 38.
- FUDALI R. F. (1963) - *Experimental studies bearing on the origin of pseudoleucite and associated problems of alkalic rock system*. Bull. Geol. Soc. Am., 74, 1101.
- HAMILTON D. L., MACKENZIE W. S. (1960) - *Nepheline solid solution in the system $\text{NaAlSiO}_3\text{-KAlSiO}_3\text{-SiO}_2$* . J. Petrol., 1, 56.
- KENZO YAGI (1954) - *Pseudoleucite from Tzu-Chin-Shan - Nord China*. Japan. Journ. Geol. Geogr., 24, 23.
- KEYES M. G., WASHINGTON H. S. (1926) - *Rocks of Eastern China*. Journ. Wash. Acad. Sc., 16, 291.
- KNIGHT C. W. (1906) - *A new occurrence of pseudoleucite*. Am. J. Sc., 21, 286.
- KNIGHT C. W., READ T. (1906) - *The reformation of soda-leucite*. Am. J. Sci., 21, 294.
- KUZNETSOV E. A. (1953) - *Intrusive rocks of the Dzbar-Kain-Kazakhstan*. Chemical Abstr., 47, 12155 f.
- LARSEN E. S., BUIE B. F. (1938) - *Potash analcime and pseudoleucites from the Highwood Mountains of Montana*. Am. Min., 23, 837.
- LARSEN E. S., HERBURT C. S. Jr., GRIGGS D., BUIE B. F., BURGESS (1939) - *Igneous rocks of the Highwood Mts., of Montana*. Bull. Soc. Geol. Am., 50, 1043.
- NIKOLAEV V. A. (1938) - *The alkali rocks of the kajndy River in the Thalass Altai Range*. Min. Abstr., 7, 38.
- PETER T. J., LUTH W. C., TUTTLE O. F. (1966) - *The melting of analcites solid solutions in the system $\text{NaAlSiO}_3\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-H}_2\text{O}$* . Am. Min., 51, 736.
- PIRSSON L. V. (1895) - *On some phonolitic rocks from Montana*. Am. J. Sci., 50.
- PIRSSON L. V. (1905) - *The petrology and geology of the igneous rocks of the Highwood Mountains, Montana*. U. S. Geol. Surv. Bull., 237.
- RIITMAN A. (1933) - *Evolution und differentiation des Somma-Vesuvmagmas*. Zeit. F. Vulkanologie, 15, 43.
- SCACCHI E. (1884) - *Leucite metamorfosata in ortoclasio vitreo*. Rend. Ac. di Napoli.
- SHAND J. (1906) - *Ueber Borolanit und die Gasteine des Cnocna-Sroine-Massiv in der Nord Schottland*. Neues Jahrb. Bd., 22, 424.
- TEALL J. J. H. (1900) - *On Nepheline-Syenite and its associates in the North West of Scotland*. Geol. Mag., 7, 385.
- TILLEY C. E. (1957) - *Problems of alkaline rock genesis*. Quart. J. Geol. Soc. London, 113, 323.
- TUTTLE O. F. (1949) - *Two pressure vessels for silicate-water studies*. Bull. Geol. Soc. Am., 60, 1727.
- WASHINGTON H. S. (1900) - *Igneous complex of Magnet Cove, Arkansas*. Bull. Geol. Soc. Am., 11, 399.
- WASHINGTON H. S. (1907) - *The formation of leucite in igneous rocks*. J. Geol., 15, 257.
- WILLIAMS J. F. (1890) - *The igneous rocks of Arkansas*. Ann. Report. Geol. Surv. of Ark., 11, XV, 417.
- ZAVARITZKY A. N. (1934) - *On pseudoleucitic and epileucitic rocks*. Comp. Rend. Acad. Sc. Ussr., 3, 648.
- ZIES E. G., CHAYES F. (1960) - *Pseudoleucite in tinguaita from the Bearpaw Mountains, Montana*. J. Petrol., 1, 86.