

铀矿普查

В. Г. 麥尔科夫 叶. 叶. 普汉尔斯基 著

地质出版社

鈾 矿 普 查

В. Г. 麦尔科夫 Л. Ч. 普汉尔斯基 著

于 田 陆 等 译
王 传 秀 等 校

地 质 出 版 社

1959·北京

В. Г. МЕЛКОВ, Л. Ч. ПУХАЛЬСКИЙ

ПОИСКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
УРАНА

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ
МОСКВА 1957

鈾矿普查

著者 В Г 麦尔科夫、Л Ч 普汉尔斯基

譯者 于 田 陆 等

出版者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版登記證出字第050号

發行者 新 華 書 店

印刷者 錦 州 印 刷 厂 印 刷

印数(京)5001—2700册 1959年2月北京第1版

开本 31"×43" $\frac{1}{32}$ 1959年4月第2次印刷

字数 25,000 印張 11 $\frac{1}{2}$ 插頁 4

定价(10) 1.60元

目 录

序言.....	8
---------	---

第一篇 铀矿床的矿物学和地質学原理

第一章 铀及其性質.....	11
第二章 铀矿物学.....	16
一般評述及鑑定方法.....	16
放射性測量分析和放射性照像分析.....	17
發光分析.....	20
鑑定铀矿物的示范程序.....	25
铀矿物的一般特征.....	32
铀矿物描述.....	45
I. 主要为四价铀的矿物.....	45
A. 铀(U^{4+})矿物.....	45
1. 铀(U^{4+})、鈦、鉄、鈷的复杂氧化物.....	45
2. 铀(U^{4+})和鈷的矽酸鹽, 铀(U^{4+})的矽酸鹽.....	46
3. 铀(U^{4+})的氢氧化物.....	50
4. 铀(U^{4+})的磷酸鹽.....	50
B. 含铀(U^{4+})矿物.....	51
1. 鈦、稀土元素及鈷的复杂氧化物.....	51
2. 鈦、鋇、錳及稀土元素的复杂氧化物.....	54
3. 錳矽酸鹽.....	56
4. 鈦矽酸鹽.....	56
5. 稀土元素的矽酸鹽.....	57
6. 稀土元素的磷酸鹽.....	58
II. 主要为四价铀+六价铀的矿物.....	59
A. 铀($U^{4+}+U^{6+}$)矿物.....	59
1. 铀($U^{4+}+U^{6+}$)和鈷的氧化物, 铀($U^{4+}+U^{6+}$)的氧化物.....	59
2. 铀($U^{4+}+U^{6+}$)的矽酸鹽.....	71
3. 铀($U^{4+}+U^{6+}$)的鉍酸鹽.....	72
B. 含铀($U^{4+}+U^{6+}$)矿物.....	72
有机化合物.....	72

III. 六价鈾的矿物	74
A. 鈾矿物	74
1. 鈾(UO_2^{2+})的氢氧化物和鈾酸鹽($U_2O_7^{2-}$)	74
2. 鈾(UO_2^{2+})的矽酸鹽	81
3. 鈾(UO_2^{2+})的硫酸鹽	85
4. 鈾(UO_2^{2+})的硫酸碳酸鹽	92
5. 鈾(UO_2^{2+})的碳酸鹽	94
6.7.8. 砷酸鹽、磷酸鹽、釩酸鹽	97
9. 鈾(UO_2^{2+})的鉍酸鹽	105
B. 含鈾(UO_2^{2+})的矿物	105
1. 鉄、錳和矽的氢氧化物	105
2. 鈣的碳酸鹽	115
3. 水鋁矽酸鹽	105
IV. 含鐳矿物	107
第三章 鈾矿床的类型及其形成条件	109
鈾矿床的类型	109
1. 岩漿成因矿床	109
偉晶岩	110
热液矿床	110
2. 成因不明的矿床	115
3. 外生矿床	116
海成矿床	117
湖、沼、河流成因的矿床	119
其他矿床	120
鈾矿床的形成条件	121
含鈾地帶	121
热液矿床的形成条件	123
沉积矿床的形成条件	126
鈾矿床露头的变化及其扩散量	127

第二篇 鈾矿床普查方法

第四章 普查方法总述	131
第五章 步行放射測量普查	137
1. 方法的物理和地質基础	137
放射性的基本規律	137

放射性射綫的測量單位	141
正常底数与伽僞異常	142
放射性扩散晕圈的作用	144
伽僞測量的灵敏度 and 深度	145
2. 工作方法	147
步行放射測量普查的運用領域和条件	147
步行放射測量普查的种类	148
伽僞普查	149
面积伽僞測量	151
面积其它測量	151
孔內伽僞測量	152
沿地表进行岩石放射性的致密測量	152
伽僞異常的詳測和初步评价	153
3. 野外輻射計	155
輻射計的構造原理	155
几种熟悉的野外輻射計	156
ПГР 型野外伽僞輻射計	158
УР-4 型輻射計	159
РП-1 型輻射計	161
СГ-42 型輻射計	162
ПРС 型輻射計	163
輻射計的校正	164
标准源的保管	166
第六章 射气測量	168
1. 射气測量方法的物理和地質基础	168
放射性射气	168
射气測量單位	169
岩石的射气扩散和地下气的放射性	169
射气的散佈和測量方法的深度	170
射气異常	172
2. 工作方法	173
射气測量方法的運用領域	173
射气測量方法的运用条件	173
射气測量的种类	174
射气測量中的地形測量工作	176

3. 快速射气测量	176
CF-11 型射气仪的構造	177
射气仪的校正和灵敏度的檢查	178
射气测量的技术	180
異常的綜合詳測	181
異常分类	186
異常的評价	188
異常的剝露	190
第七章 汽車伽僞普查	192
1. 汽車伽僞测量的工作方法	192
总則	192
运用汽車伽僞测量的条件	192
伽僞異常記錄曲綫的特征	193
2. 设备和仪器	194
CF-14 型汽車伽僞測量輻射計	195
汽車伽僞測量輻射計的校正	196
3. 汽車伽僞测量的进行	197
路綫測量	197
伽僞異常的檢查	198
資料的整理	199
汽車伽僞測量結果的評价	199
第八章 航空伽僞普查	201
航空伽僞普查方法的基礎	201
航空伽僞测量的工作方法	205
航測伽僞異常	207
異常的地面檢查	208
第九章 發光测量和鈾量測量	210
1. 野外發光測量	210
2. 鈾量測量	212
測量方法的基礎	212
野外工作方法	214
珠球發光分析	215
第十章 伽僞測井	218
1. 伽僞測井的运用	218
伽僞測井的設備	218

KPT 型重型測井輻射計	219
重型測井儀的工作部件的作用	220
KPJI 型輕型測井儀	222
輕型測井儀的使用	223
伽瑪測井曲線的整理	223
2. 根據伽瑪測井曲線圖確定礦層厚度和礦體內的鈾含量	224
足夠厚度的單一礦層內的含量和厚度的測定	225
分層礦層內含量和厚度的確定	227
薄層單一礦層的含量和厚度的確定	228
第十一章 放射測量檢查	230
礦山巷道廢石堆的檢查	230
地下礦山巷道內的放射測量	231
地面勘探坑道的放射測量檢查	233
根據伽瑪射線進行的帶屏放射取樣測量	234
根據其它(β)射線進行的帶屏放射取樣測量	236
岩心的放射性測定	238
礦物標本的檢查	238
第十二章 野外實驗室內的放射測量	240
礦塊放射性的測定	241
用貝它脈沖方法測定粉末樣品中鈾的含量	242
用伽瑪脈沖方法測定粉末樣品中的鈾含量	244
分析粉末樣品的阿爾發電離方法	245
樣品放射性質的測定	246
用貝它-伽瑪脈沖綜合法測定不平衡的礦石樣品中的鈾含量	247
放射照像方法	249
實驗室放射測量儀器	249
"API" 型輻射儀	252
第十三章 鈾礦床普查的水文地球化學方法	255
水源取樣	256
水文地球化學取樣的特點	256
野外編錄	259
水樣的採集	259
水中鈾含量的測定	261
水的取樣分析資料的解釋	263
對已發現的水異常進行深入研究和對其普查意義的評價	266

序 言

作为和平利用原子能原料鈾的广闊应用远景已为人类技术的发展开辟了空前未有的可能性。苏联目前正实施着苏共第二十次代表大会所拟定的在国民經济各个部門中广泛利用原子能的宏偉計劃。鈾对于缺乏矿物燃料地区的动力經济的发展具有更重要的意义。如大家所知，一吨鈾在现代反应堆中作用后所产生的能量相当于10,000吨煤所产生的能量，而当使用鈾和在反应堆中形成的鈾时，則其能量相当于100,000吨煤的能量。并于将来当能再生产出一种分裂物質时，从一吨鈾中就可获得相当于燃燒1,000,000吨煤所产生的能量。

苏联地質学家的重要任务是尽快地扩大苏联的鈾矿物原料基地，首先要發現新的大型富矿床。在鈾矿普查勘探工作的最初阶段，主要是考虑到当时国外一些大型矿床的地質特征，如中非洲（申戈洛布維）、加拿大（大熊湖）以及其他国家与鈷、鉍、鎳、銀及部分銅有密切联系的鈾矿床。然而我們却發現了本国的矿床主要是属于其他矿石类型的。这些矿床是在各种成分及年代（从前寒武紀到第四紀）的火成岩、变質岩和沉积岩中，以及在各种不同地質構造和岩相-岩性条件下發現的。

由苏联及其他国家的經驗来看，一切具有强烈構造变动、多相岩漿活动及表現一系列有热液矿化現象的地区，都可作为普查热液鈾矿床的远景地区。这些条件經常产生在地槽型活动的褶皺帶中和圍繞着古老地盾周圍的地段。热液鈾矿床形成于各种不同的成矿时期，并通常形成在岩漿活动晚期。从許多地区的特点来看，在成矿作用中鈾被分出为在時間上，而有时也在空間上与硫化物、螢石、重晶石及其他矿物析出阶段相分离的独立的矿化阶段。

对普查鈾矿床有远景的沉积地層的地球化学特征，首先是有机物

質和磷（常常二者兼有）的含量的增高。二者吸附溶液中的鈾并使鈾濃聚。在沉积矿床中与鈾在一起的常常是具有工業价值的鈾、鋇，有时有鉛、鋅、銻、錒、錒。按近代的概念来看，元古代、寒武-奥陶紀、志留紀、下石炭紀、二疊紀、三疊紀、侏罗紀、上白堊紀及老第三紀都是含鈾沉积物大量堆积的年代。对于海相沉积矿床來說，鈾矿体生于濱海相中是最为突出的。

寻找工業鈾矿床地質条件的多样性，使得在全国各地对其他矿产进行地質測量、普查和勘探工作的同时，也可进行鈾矿的普查。因而用放射性測量法及放射測量仪研究自然露头中和坑道内岩石和矿石的放射性成为任何綜合性地質工作的必要因素。这种研究应由分队地質人員，包括地質工作者、地球物理工作者、水文地質工作者同他們的助手——技术員和采集員来进行。对于所查明的放射性異常应进行詳細的地表研究工作，并于坑道掘进和鑽孔鑽进的必要范围之内对深部进行詳細研究。值得勘探的異常应轉交專業大队作进一步研究。这些就是現在进行順便普查鈾矿的内容。

普查鈾矿床时，鈾矿物固有的放射性屬性是極重要的因素。但同时鈾矿床的普查也还有其独特的困难。由于鈾是一个典型的分散元素，因此它較少富集成为有工業价值矿床。远不是所有查明的放射性異常都是該元素的有工業价值矿床。鈾矿石在地表氧化快，且易淋濾。在实际工作中常有这种情况，就是鈾矿床地表上的伽瑪放射性不强，只有对地質环境进行仔細分析以后才能作出肯定的結論。在大多数情况下，鈾矿床的發現需要高度熟練的地質工作者和地球物理工作者花費極大的劳动才行。鈾矿床順便普查要获得良好的結果不仅取决于地質人員对放射性普查方法和对所用仪器的掌握程度如何，而且也取决于地質工作的方針。因此領導这工作的应是最有經驗的而且对所調查地区的地質情况甚为熟知的地質学家。

用放射性測量方法普查鈾矿床的过程中也可以發現無放射性的矿床如磷塊岩、鈦、銻及其他稀有金屬矿床。这些方法同样有成效地在制圖工作中用来追索各种放射性岩石的接触帶、查明和追索射气破裂口、破裂帶和其他構造要素。

本書闡明了在地質測量、普查及勘探各种有益矿产时及正在开采的矿山地質工作中的鈾矿床地質基础及普查鈾矿床的方法。

本書的作者是 B.Г. 麦尔科夫 (矿物学)、Л.Ч. 普哈尔斯基 (地球物理法)、А.И. 格尔曼諾夫 (水文化学普查法)。E.M. 揚尼舍夫斯基担任本書总編輯、他在書的許多章节中都作了重要的补充。

B. 庫茲明科

第一篇 鈾矿床的矿物学和地質学原理

第一章 鈾及其性質

与將鈾看作是稀有金屬这一根深蒂固概念恰恰相反，实际上該元素在自然界中分佈相当广泛。因此，即使可以称它为“稀有”时，也仅仅意味較少見到它的高度富集。的确，矿石中含大量此类元素的大型鈾矿床是寥寥無几的。这些矿床在数量以及在鈾的品位方面大大低于其他許多在地壳中分佈較少的化学元素的矿床。

据 A.П. 維諾格拉多夫^① 最近的資料，在地壳（假定为酸性岩二份及基性岩一份所組成）中鈾的平均含量为 2.6×10^{-4} ，而砷为 2×10^{-4} ，鉬为 1.7×10^{-4} ，錳为 3×10^{-5} ，金近于 10^{-7} ，銀 2×10^{-5} ，鉛 5×10^{-7} ，汞 6×10^{-6} ，溴 1.8×10^{-4} 。

鈾在岩石中的含量是决定于岩石中的矿物成分。这里引用了 A.П. 維諾格拉多夫的平均数字：

球隕石、石隕石的矽酸鹽相	1×10^{-5}
超基性岩（純橄欖岩、橄欖岩）	3×10^{-6}
基性岩（玄武岩、輝長苏長岩、輝綠岩和其他）	8×10^{-5}
中性岩（閃長岩和安山岩）	1.3×10^{-4}
酸性岩（花崗岩、流紋岩及其他）	3.5×10^{-4}
沉积岩（粘土和頁岩）	3.2×10^{-4}

据 ДЖ·卡茨和 E·拉賓諾維奇^② 的資料，鈾在海水中的含量变化范围从 0.36×10^{-6} 到 2.3×10^{-6} 克升。它与一般鹽濃度相近。

化学元素的周期表中，鈾(U)佔最末一位。它的原子序数为 92。所有原子序数較大的元素不是呈自然状态出現，仅可用人工制取。

过去鈾列入門捷列夫週期表中第六族，而現在鈾与其他錒族元

① A.П. 維諾格拉多夫，“地球化学”，№1，1956 年。

② ДЖ·卡茨和 E·拉賓諾維奇，“鈾化学”，外文書籍出版社，1954 年。

素（如鈷、鎳和所有超鈾的元素）一起列入第三族（鏷-錒亞族）。

自然界的鈾系由 U^{238} (UI)、 U^{234} (UII)和 U^{235} (鋼鈾 AcU)三種同位素組成。

用人工法所進行的各種核子反應結果曾制取其他的、大部分壽命很短的鈾的同位素。除壽命長的鈾同位素外，鈷、錒和鎳可作為鈾同位素的原始物質。Дж·卡茨和 E. 拉賓諾維奇在其所著“鈾化學”一書中，列出了質量數由 228 到 239 的八個人造同位素。鈾的同位素具有自行衰變並放射出 α 射綫和 β 射綫的本能。關於這一點的詳細說明參看第六章。

鈾的同位素半衰期以及它們在自然鈾中的含量差別很大(表 1)。

在自然鈾中的各種同位素的含量及其半衰期 表 1

原 子 量	半 衰 期	在自然鈾中含量的百分比
238 (UI)	4.15×10^9 年	99.28
235 (AcU)	8.91×10^8 年	0.714
234 (UII)	2.35×10^5 年	0.0054

同位素 U^{238} 和 U^{234} 同屬一個放射系列 ($4n+2$)，因此在所有已確定了放射性平衡的礦石中，這些同位素的比值是固定不變的，並與其半衰期的比值相等。據最近研究結果，同位素 U^{238} 和 U^{235} 的平衡比值等於 138，而 U^{235} 和 U^{234} 的平衡比值等於 141.5。從上列二數字中得出 U^{238} 與 U^{234} 的比值為 19527。放射性衰變結果， U^{238} 逐漸形成新的元素——釷、錒、釷等（見圖 1），衰變最終的穩定產物為 Pb^{206} 。除 Pb^{206} 外，鉛尚由其他的同位素組成，即由 U^{235} 衰變而形成的 Pb^{207} 和鈷的衰變產物 Pb^{208} 及非放射性成因的同位素 Pb^{204} （表 2）。

放射性成因鉛的同位素與鈾及非放射性成因鉛的對比可用來測定岩石和礦物的絕對地質年代。此法現已被廣泛採用。

在鈾、釷之間放射性衰變的過程中，確定了 Ra: U 的平衡比值為 0.34×10^{-6} 。

純金屬鈾密度很大（約 19.050 克/立方公分），銀白色，在高溫下

各种同位素铅在自然铅中的含量

表 2

鉛的同位素	含量的百分比
Pb ²⁰⁸	52.32
Pb ²⁰⁷	21.11
Pb ²⁰⁶	25.15
Pb ²⁰⁴	1.37

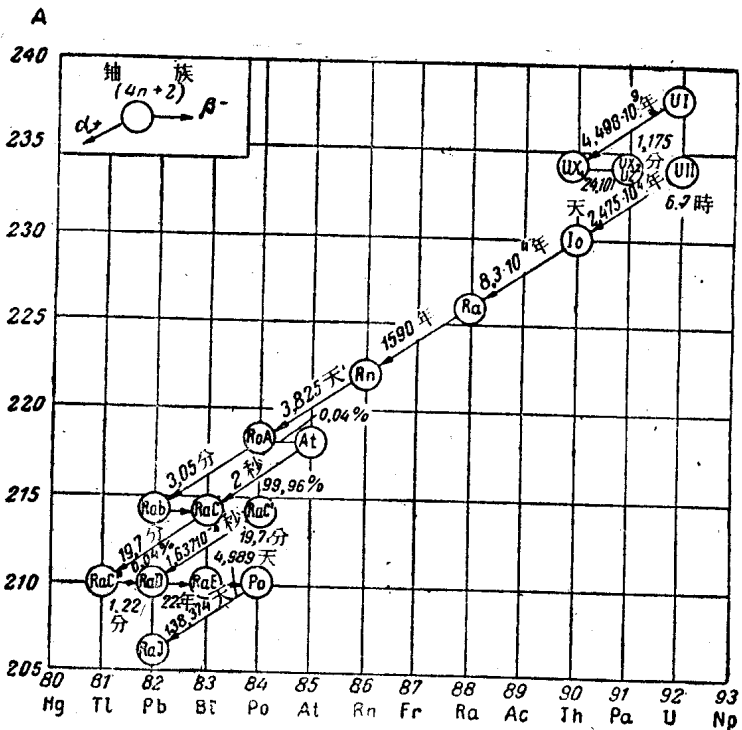


圖 1. 錒放射族(В.И.巴蘭諾夫, 1955)

能將鈾鍛燒和拉長，同樣還能經受冷加工。

鈾有三種變體(相) α -相：斜方晶系， 640° 以下時穩定； β -相(晶體構造未確定)：在 640° — 760° 的範圍內穩定， γ -相：等軸晶系，從 760° 至熔點的範圍內穩定。

鈾原子近似於橢圓形，短半鈾為 1.4\AA ，長半軸為 1.65\AA 。鈾的原子量為238.07；比重18.69。按白氏硬度精煉金屬的平均硬度為 200 — 220° 。經受張力的強度 35 — 110 公斤/平方公厘，張力的強度取決於標本的热處理。

純金屬的熔化溫度為 1133° 。鈾的電導率比鐵的電導率差兩倍，為 4×10^{-4} (歐姆/公分) $^{-1}$ ；傳熱性約 70×10^{-3} 卡·公分 $^{-1}$ ·秒 $^{-1}$ ·度 $^{-1}$ 。鈾的順磁性弱。

鈾具有很大的化學活潑性，於自然界中不呈自然狀態出現。它極易幾乎與所有的非金屬起反應，在空氣中能很快氧化，並在 100° 時分解水。但在自然條件下未發現鈾的硫化物。鈾與汞、錫、銅、鉛、鋁、鉍、銑、鎳、錳、鈷、鋅和鈹一起能生成金屬互化物。鈾的主要化學特性是具有強烈的還原本能，這在酸性水溶液中表現特別明顯。

自然界中有四價鈾和六價鈾兩種狀態。用人工可以制取二價，三價和五價鈾。

根據戈爾德施密特的資料，四價鈾 U^{4+} 的離子半徑為 1.05\AA ，六價鈾 U^{6+} 的離子半徑為 0.8\AA 。B. 查哈里阿普(Захариаев)得出的離子半徑比較小一些，根據他的材料 U^{4+} 的離子半徑為 0.89\AA 。表3所示為離子半徑近於鈾離子半徑(1.05\AA)的幾種元素的離子。

表 3

元 素	半 徑 \AA
Th^{4+}	1.10
Y^{3+}	1.06
Ca^{2+}	1.06
Pa^{5+}	0.93
TR(從La至Ln)	0.99
Mn^{2+}	0.91

四价鈾和上述元素离子半徑的相近性就促使了它們具有高度类質同像的混合現象。离子半徑較大的鈾离子与高价的鈾离子相結合能決定鈾的兩性屬性，即在酸性介質中呈弱鹼性，而在鹼性介質中呈弱酸性。

鈾与氧能形成氧化物： UO_2 、 U_3O_8 和 UO_3 。氧化物 UO_2 为等軸晶系，呈暗褐色或黑色。其化合物經常呈黑色、棕色或綠色。 U^{4+} 易氧化为 U^{6+} 。 U_3O_8 为六方晶系，呈深綠色；非晶質的 UO_3 ，呈黄色、橙色或棕色。無水的 UO_3 在自然界通常是見不到的。鈾与酸能形成鈾酰 $(UO_2)^{2+}$ 的鹽类，与水形成黄色鈾酰的水化形成 $U(OH)_4^{2+}$ 。在鹼的作用下 UO_3 能生成絡陰离子 $(UO_4)_2^-$ 和 $(U_2O_7)^{2-}$ 。这兩种絡陰离子与陽离子能生成黄色及紅橙色的鈾酸鹽和二鈾酸鹽。 U^{6+} 易还原为 U^{4+} 。

鈾的自然化合物中仅有某些鈾酰硫酸鹽能溶于水。鈾的碳酸鹽、磷酸鹽、砷酸鹽、釩酸鹽、鈾酸鹽和鈾的氫氧化物甚至在弱酸中也能很好溶解。鈾的矽酸鹽也能溶于酸，但矽質晶架 (кремневый скелет) 却保留下来。

許多鈾的鹽类能很好地溶于鹼，特別是溶于苏打溶液中。

第二章 鈾礦物學

一般評述及鑑定方法

В.И.維爾納茨基還在本世紀初研究鈾的天然化合物這一問題時，就寫道：“雖然已知的礦物已有數十種，但是，無疑這還僅僅是實際存在的一小部分，這是將來礦物學研究方向的一個廣闊的天地…（摘錄自1954年維爾納茨基選集，第1卷第261頁）。這些話到今天還沒有失去其意義。

近年來幾乎在每個新發現的鈾礦床中均發現有新的鈾礦物。單在近十五年左右的時間內就發現了近35種新的鈾礦物。在此以前已知的鈾礦物近60種，目前鈾礦物和含鈾礦物（鈾呈混入物存在）再加上尚未確定的鈾礦物，則共有150餘種。

儘管在探尋新礦物方面的成就很大，但是對於很多重要礦物尚未準確地定出它們的構造、成因、共生關係以及某些物理化學特性。直到目前尚未精確地定出一系列礦物（鈾矽酸鹽、鈦鉍錳酸鹽及其他）的化學成分。好些具有重要意義的鈾礦物（鈾酸鹽、氫氧化物和氧化物等）的化學結構（химическая конституция）未最後確定。對於鈣鈾雲母、斜矽鈣鈾礦的光性及瀝青鈾礦的礦相性質的描述也經常矛盾不一。有些礦物（纖碳鈾礦，鉍酸鈾礦）在文獻中僅僅提及一下就算了。有些礦物發現的時間不同，而實系同一礦物，如板菱鈾礦和鈾銅鈾^①。對於一系列可變成分的鈾礦物（混合成分的鈾雲母、瀝青鈾礦類等）尚未確定出區分的主要原則。由於對許多礦物的物理、化學、地質和晶体化學等特性研究不夠，從而影響了它們的分類。這些礦物或是完全未被列入礦物總類中，或是為不同的學者列入了各異的類別

①板菱鈾礦在俄文中有兩個同義詞：пакеит和шрэкингерит，鈾銅鈾礦在俄文中有兩個同義詞：юганнит和джильпинит；由於發現的年代不一，取名也各異，實系同一礦物——譯者。