

钨矿床的生物地球化学找矿特征

А.Л. 柯瓦列夫斯基 (Ковалеский)

有关钨矿床的生物地球化学研究成果已有许多报道。所获资料表明，利用钨被植物富集的特征作为生物地球化学标志，基本上是不通的。所以，在进行钨矿床的生物地球化学找矿时，必需注意与具体钨矿化类型有密切联系的伴生元素。

当进行钨矿床的生物地球化学找矿时，必须考虑到各种生物机体（植物的形态，器官和器官的部位）富集指示元素的不一致性，还必须考虑到在松软复盖层的根部地带的指示元素赋存的矿物和化学形式对它们被植物富集的巨大影响。

指示元素和生物机体的选择

让我们来分析钨以及常与钨矿化相伴随的生物地球化学指示元素 Mo、F、Pb、Zn、Ag、Sn、As 和 Bi。

钨的生物地球化学指示剂——元素的具体组合，应该在普查工作的设计阶段确定，根据研究地区的已知矿床和矿化点、矿石的矿物类型和岩石化学晕以及广泛分布的各类植物的富集特征的现有资料来确定。

已知资料说明，对于钨及其伴生元素的采样工作来说，并非什么都是合适的，相反，仅有具有信息意义的生物机体才适合。对于我们所研究的钨的指示元素，即 W、Mo、F、Pb、Zn、Sn、Bi、Ag 和 As 来说，可认为是无信息的，也可认为是

高信息的生物机体。在这种情况下，最大的无信息生物机体是对氟而言（达到94%），最小的无信息生物机体是对铜和铀而言。在这方面，钨、银和铯处于中间地位。

根据浓度梯度的概念，并按照矿床指示元素的信息程度，生物机体可分为四组：I. 大大高于背景值的生物机体——高信息的生物机体；II. 实际上为大大高于背景值的生物机体或百倍于背景值的生物机体（近似定量信息的生物机体），浓度区间为背景值的30-300倍（平均为100倍左右）；III. 十倍于背景值的生物机体（定性的）和IV. 与背景值相当的生物机体，元素的浓度变化接近背景值，不超过最小异常值。现有的实际资料可以将外贝加尔和远东地区所研究的63个含钨信息的生物机体划分为四个组（表1）。

布鲁克塔斯克钨钼矿床的资料表明，在含有信息的生物机体中存在着钨的生物地球化学晕而在接近于背景值的无信息生物机体中则缺少钨的生物地球化学晕（见图1）。

除钨以外，铜和钼是钨矿化的最有效的指示元素。在草原和森林景观中，利用铜作为生物地球化学指示元素的时候，应采集高信息的多年草本植物的地上部分。而应用钼元素时，仅限于森林景观，其中最重要的是阔叶桦树或普通松树，可能还有其他的桦树和松树。在选择生物机体时，界限的确定还必须考虑到钨矿化的其他指示元素。关于钨的指示元素的生物地球化学特性列于表2。

根据钨矿化的指示元素在植物的不同形态和不同部位中的信息度，可以划分出对成矿元素组合具有大量信息的生物机体。其中，某些生物机体在钨矿床找矿时可以作为系统采样对象。

表1

按钨的指示元素特性划分的外
贝加尔和远东地区的生物机体

组别名称	钨矿体上生物机体特性	生物机体*	生物机体数量**
I. 大大高于背景值的生物机体, 定量信息的生物机体。	灰份中最高含量 ($CM > 0.1-1.0\%$), 超过背景值 300 倍以上, $PTK = 0.1-3.0$	1-8 9	$\frac{8.5}{13\%}$
II. 百倍于背景值的生物机体, 近似定量的生物机体。	$CM = 0.01-0.1$ 超过背景值 ($C\Phi$) 30-300 倍 $PTK = 0.03-1.0$	9 10-12 13-19	$\frac{7}{11\%}$
III. 十倍于背景值的生物机体, 定性的生物机体(小信息的生物机体)。	$CM = 0.002-0.01$, 超过背景值($C\Phi$) 3-30 倍 $PTK = 0.003-0.1$	13-19 20-31 32-45	$\frac{22.5}{36\%}$
IV. 与背景值相当的生物机体(无信息的生物机体)	CM 接近于背景值($C\Phi$), 不到最小异常值, $PTK = 0.001-0.01$	32-45 46-63	$\frac{25}{40\%}$

* 生物机体号码说明: 1-4, 满州桦、拉契柳、小叶枫树和细叶山梅花叶子和枝子; 5, 西伯利亚帕涅雪松的木质; 6-8, 披针状苜蓿、秧叶荨麻和普通亚麻的地上部分; 9, 普通松树树干外皮; 10-12, 沼泽地喇叭茶、矮桦和西伯利亚雪松的枝子; 13-14, 浅兰色金银木和萨哈林斯基复盆子树的枝子; 15-16, 柳树和复盆子树的叶子; 17-19, 伊尔库特雀麦、森林苜蓿和越桔

的地上部分；20, 绿色青苔；21, 青苔复盖层；22, 苔藓(鹿茸状青苔)；23-26, 宽叶桦、西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉和西伯利亚雪松的外皮；27-28, 云杉、浅色红醋栗和库里尔斯克茶树的枝子；29-31, 得罗拉斯白杨、喇叭茶和库里尔斯克茶树的叶子；32-36, 桦树、落叶松、雪松、松树和云杉的木质部；37-39, 桦树、落叶松和浅色红醋栗的树枝子；40-44, 桦树、雪松、云杉、金银木和红醋栗的叶子(针叶)；45, 狭叶柳叶菜的地上部分；46-48, 普通蚊子草、刺玫瑰和珠花树的枝子；49, 普通珥珥柏的针叶和枝子；50-53, 桦树、落叶松、雪松和云杉的韧皮；54, 珠花树的叶子；55-63, 多罗达特乌头和契卡诺夫乌头、碗豆、青藤和野碗豆、贝加尔唐松草、藜的根和细叶还羊参的地上部分。

** 分子为生物机体数量。分母为生物机体的相对数量(%)

指示元素在松软复盖层根部的存在形式

化学元素被植物富集的程度，在相当大的程度上取决于它在营养料里的存在形式。就它们被吸收的效果来说，呈气体状态的最多，比溶解在水中的大约少100倍，而以固相形式解的最少。为了研究植物和土壤的相关性我们采用了植物-土壤系数(PDK)作为参数，它表示所研究的植物部位(生物机体)灰份与土壤营养层中元素含量的关系。

根据现有资料，钨的植物-土壤系数(PDK)，其变化范围从0.00003-0.0001到10-30，相差1万-100万倍。当钨大量地进入到易风化的原生矿物或次生矿物的成分中时，该系数最大。当钨赋存在黑钨矿和白钨矿的粗大颗粒中时(>3-10mm)，该系数的值最小。由于存在这种相关性，在表生作用带的根部存在含有易溶矿物的金属矿床一般是属于借助植物进行找矿的

最有利地区，因为那里获得的生物地球化学异常比土壤地球化学异常更为显著。表3列举了钨及其指示元素的植物-土壤系数(PTK)资料。

其中呈黑钨矿和白钨矿粗大晶体和分泌物存在的钨矿化类型，可能属于不适宜利用植物中的钨来进行找矿工作的组别。不过可以利用某些具体矿床类型所特有的Mo、

F、Pb、Zn和其他元素作为指示元素。

应当考虑到存在氧化带时，钨更易被植物所吸收。这样适宜于用生物地球化学方法进行找矿的钨矿床矿物类型及其岩石化学晕的组别，就适当地扩大了。上述矿床之中，可能包括所有含钨达0.01%的钨钼矿床和含钨的钨矿床，伴有多金属

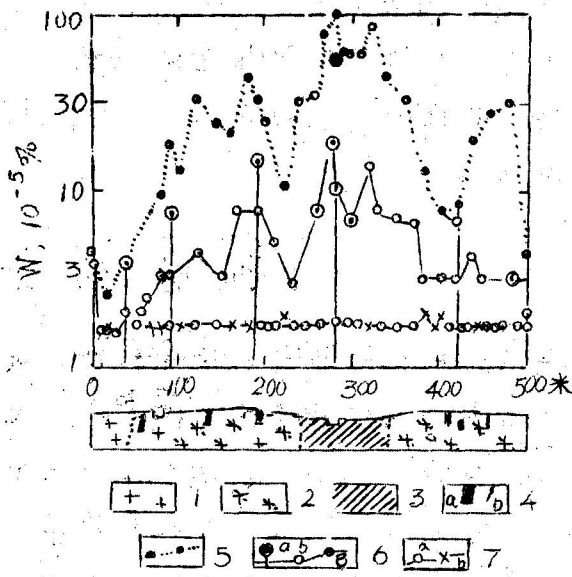


图1 布鲁克塔斯克钨钼矿床II号剖面土壤和植物中钨的分布情况

1. 石英二长正长岩 (P₂₁)；
2. 具金属矿化的白云母化石英二长正长角砾岩；
3. 筒状复矿角砾岩体；
4. 金属矿物细脉带和金属矿脉；
5. 土壤C层(0.3-1.0米)中W的含量曲线；
6. 具有信息的生物机体灰份中W的含量曲线；
7. 无信息的生物机体灰份中W的含量曲线；

(铅锌)的钨矿床,以及在森林景观中,具有高浓度氟的矿床。它们的最主要指示植物是桦树和松树。风化作用的初期阶段,在无硫化物钨矿石的大片机械晕上可能缺乏钨的生物地球化学晕。在同样的条件下,在有硫化物的矿体上,植物中将出现有锌和砷晕。在强烈风化作用的晚期,矿体露头上存在次生的钨矿物时,应该出现有强烈的W、Mo和Pb晕,而Zn和As的晕可能缺失。

推荐的方法

进行钨矿的生物地球化学找矿,大体上应当与《……生物地球化学方法找矿指南》(1965)和近年所介绍的工作方法的要求相符合。以下只对已有著作中未曾阐明的方法进行探讨。实际上,在发育有植被的各种景观中,才具有对钨及其伴生元素具丰富的信息的生物机体。在实际应用钨矿床的生物地球化学进行深部找矿时,鉴于这种方法对查明某些矿石矿物类型及其岩石化学晕,基本上是无用的,因此,应该考虑到它们的局限性。尤其是当涉及到没有伴随硫化物和萤石的脉状石英黑钨矿矿化时,钨就是其唯一的指示元素。可以料到,大多数砂卡岩和云英岩型的钨矿床,以及伴随有硫化物的所有矿床,可以根据伴生元素的生物地球化学方法予以查明。在有桦树和松树的森林景观中借助伴生元素也可以查明所有含氟的钨矿床。这一点在选择合理应用生物地球化学方法的工作区时是必须考虑的。由于对钨及其伴生元素的生物地球化学研究较小,因此在具体情况下进行生物地球化学找矿时,照例应该予先在各类已知矿床和成矿现象上进行方法试验。

既然在金属矿床生物地球化学找矿过程中首先是使用岩石

表2

钨的指示元素生物地球化学特征

元素	信息植物的%含量		信息丰富生物机体植物-土壤比值				特征的生物机体实例	
	背景区	矿体上	背景区		异常区		找矿时作为采样对象的具明显信息的生物机体	不适合于采样的(所谓“被禁止的”)接近背景值的生物机体
			森林景观	草原景观	风化作用初期	铁帽型氧化带		
W	10 ⁻⁴	0.003 -0.6	0.2-1	0.2-1	0.01 -5	无资料	桦树、柳树、枫树、雪松、喇叭茶的树枝；苔草、亚麻及其它草本植物的地上部分；普通松树外皮。	桦树、雪松、落叶松的韧皮；乌头和其它草本植物的地上部分。
Mo	0.00003 -0.0003	0.05 -2.0	1-5	2-10	0.3 -30	0.05 -5	豆科植物、禾本科植物、莎草科及其它草本植物的地上部分；青苔和苔藓类。	桦树、雪松、落叶松和云杉的树枝和韧皮；落叶松的针叶；藜根的地上部分。
F	0.02 -0.1	1-10	0.2-1	0.2 -0.5	0.5 -20	无资料	桦树和松树外皮的表面木层。	桦树、松树和其它树木的枝叶、韧皮、和本质；草本植物的地上部分

续表 2

Zn	0.01 -0.3	0.2 -20	5-30	0.2-5	10-50	1-2	桦树、落叶松、 雪松、松树的外皮； 禾本科植物、鹤虱、 木贼的地上部分； 青苔和苔藓类。	桦树、柳树、白杨、 蚊子草的枝和叶；豆 科植物、唐松草、柳 叶菜，木贼的地上部 分。
Ag	10 ⁻⁵	0.001 -0.04	0.3-3	0.3-3	1-3	0.3-1	桦树外皮；桦树、 雪松、落叶松、松 树的木质；莎草科 植物和雀麦的地上 部分；青苔和苔藓 类。	桦树、柳树、白杨、 蚊子草的枝和叶；豆 科植物、唐松草、柳 叶菜、木贼的地上部 分。
Sn	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	0.03 -0.3	0.3 -30	0.3 -30	0.01 -10	无资料	桦树、白杨、落 叶松、松树的木质； 莎草科植物和苦艾 的地上部分；青苔 和苔藓。	桦树、槲木、复盆 子树、山梅花的枝子； Рябинолистника 的地上部分
Pb*	0.001 -0.02	0.1 -10	0.2 -2	0.5 -5	0.3-3	0.3-3	桦树、落叶松、 雪松、松树和其它 树木的外皮；越桔、 苦艾、大戟的地上 部分；青苔和苔藓 类森林的ОПАЛ.	桦树、落叶松、松 树的枝、木质和韧皮； 豆科植物、柳叶菜、 苔草和其它草本植物 地上部分

续表 2

A ₅ *	10 ⁻⁴	0.02 - 2	0.2 - 5	无资料	0.1-10	0.1-1	桦树和落叶松的树皮；落叶松的越桔和青苔。	桦树、落叶松的枝叶；桦树韧皮；地上部分。
B ₁ *	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶	0.001 - 0.1	0.3 - 3	1-10	0.1-1	无资料	桦树、落叶松和桦树的树皮；针形松的紫尾草的地上部分；青苔和苔藓类。	桦树和蚊草的落叶；桦树雪松和落叶松的韧皮；豆科植物的越桔、柳叶的地上部分。

* 生物地球化学样品在野外灰化时，化学元素测定有相当大的损失 (> 50%)。

化学方法，因此在划分工作区之前，应按照自然条件划分找矿工作区和采用各种地球化学方法。这些工作区是要具有完全植被，并发育有异常松散的复盖层。在草原景观和沙漠景观中其厚度一般从2米至30-50米；在未冻结的森林景观中，复盖层厚度从2米到10-30米；而在冻结的森林景观和苔原冻结景观中，复盖层厚度从1米至3-8米。因此，在许多情况下，合理运用生物地球化学方法的工作区最好结合运用岩石化学方法。在进行这种测量工作时，根据观测点的景观，进行土壤或植物采样。当划分生物地球化学找矿的工作区时，应当除去对生物地球化学方法调查不适用的钨矿化分布区域，但应该包括对这

表3 在次生岩石化学晕的根部钨的各种指示元素的信
息丰富生物机体的植物——土壤系数(PDK)

PDK 近似值	土壤中浓度较高的元素及大大高于背景值的生物机体举例					
	落叶松和 松树外皮 中的Zn	桦树外皮 中的 F	草本植物 地上部分 的Mo	树木外皮 中的 Pb	苔草地 上部分中 的Sn	苔草地 上部分 中的W
100	闪锌矿、 硫酸盐类	冰晶石	水溶解 的化合物	—	—	—
10	闪锌矿、 非矿物形 式的元素	细粒萤石	钼铅矿、 辉钼矿、 钼钙矿、 钼白钨矿、 非矿物形 式的元素	铅矾、 钼铅矿、 白钨矿	黄钨矿、 锡酸盐、 《锡酸矿》 、非矿物 形式的元 素	钼钨钙 矿、次生 矿物
1	氢氧化 铁吸附形 式的元素	中粒萤 石、非矿 物形式的	钼白钨 矿、硫酸 钼矿、氧 氧化铁吸 附形式的 元素、非 矿物形 式的元 素	氢氧化 铁吸附形 式的元素、 非矿物形 式的元素	硫化物 和石英里 的分散钨 石、非矿 物形式的 元素	钼钨钙 矿、次生 矿物、非 矿物形式 的元素
0.1	—	粗粒萤石	细鳞片 状辉钼矿	细粒方 钨矿	石英里 的细粒钨 石	细粒原 生矿物
0.01	—	—	辉钼矿 粗粒晶体	中粒方 钨矿	中粒钨 石	中粒原 生矿物
0.001	—	—	—	粗粒方 钨矿	粗粒钨 石	粗粒原 生矿物
0.0001	—	—	—	—	—	石英里 的钨钨矿 粗粒晶体

种方法调查有利而可能存在钨的矿化类型的工作区。

据我们所知，在许多生产作业区还未开展专门的钨的生物地球化学找矿工作。因此，在实际运用生物地球化学方法的初期，基本上是在安排在已知的隐伏矿床、矿田和最有利的地质构造地段上进行详查工作（比例尺为 1:25000 ~ 1:2000）。在运用和获得实际经验以后，则可在比例尺为 1:100,000 ~ 1:25000 的大多数隐伏区进行找矿工作。

当设计观测网时，应当考虑到钨及其伴生元素的生物地球化学异常。在不太厚的矿脉和细脉带上（局部的厚度达到 10 米）其宽度通常不超过 10-40 米。当普查这种矿体时，必需沿剖面以步行估测 5-20 米距离采集植物样品。在方法试验和生产作业过程中，使省精确化。

正如以上所指出的，采集植物样品并不是任何一种植物或其任何部位都是可行的。而仅仅只有那些含有大量普查找矿工作特有的钨及其伴生元素的信息生物机体才有用。在应用钨矿化的综合指示元素方面，可推荐两种信息丰富的生物体样品，即显示异常的树木的树干外皮和以含钨信息高的多年生草本植物地上部分。在这种情况下，树木外皮主要提供的是钨的指示元素的定量信息，主要是 F、Pb、Zn、Ag、As 和 Bi（对钨有关的松树外皮），而草本植物则是钨、钼，有时只有钼、铋和金。在森林景观的沼泽地段上，应采集两种样品，即树木外皮和苔藓类复盖层。当没有树木时，而含钨信息高的生物机体就是草本植物（莎草科或禾木科植物）和苔藓类复盖层。在草原景观和沙漠景观中，观测点上可采集 1-2 个或 3 个具有深根的（大约 1-3 米）多年生植物的地上部分，它们以 W、Mo、Zn、Pb、As 和 Ag 或者以 W 和 Mo 的信息为主。可是在那里，氧通常不能用作生物地球化学指示元素，而大多数情况下，钨和

银则成了不可靠的指示剂。

为了测定灰份中的指示元素，应采用对 W, Pb, Sn, As, Ag 和 Bi 具有高灵敏度的光谱分析。这对铊来说特别重要。AFC-13 型或 AFC-8 型光谱仪的灵敏度对测定植物灰份中的 W (0.0003%)、Bi (3.10⁻⁵%)、Sn (3.10⁻⁴%)、Ag (1.10⁻⁵%)、Li (0.002%) 以及一些其他元素是非常高的。

为了解释所获得的生物地球化学测量结果，必需应用铊矿化的全部指示元素以及能顺便查明其他矿化的指示标志。应当注意的是铊矿化带的圈定和单个矿体的查明在许多情况下单凭铊元素不可能搞得太过准确，因为铊常常难于被植物吸收，它的异常可能是不明显的。而根据铊存在共生作用带下的伴生元素 Mo、F、Pb、Zn、Bi、Sn 和其他元素。由于它们比铊更易进入植物生态中，故根据它们圈定的矿化带相应地要精确一些。在这方面特别有意义的是 F、Mo、Pb 和 Zn。

在划分生物地球化学异常时，首先应考虑它的地理位置，从而推测有无矿化异常。矿体上面、矿体本身及矿体下面的成壤元素光谱以及它们之间的关系、异常的强度和规模、松散物厚度、岩石化学及水化学异常以及地球物理异常，是对它们进行分类的重要依据。

应该注意，当查明了植物中有明显的铊异常时（达到 0.1 ~ 1.0% 以上），应当把它们看作是特殊的成矿现象，是铊进入植物生态中的表现形式。含铊的白钨矿（铊钨钙矿）就属于这类矿化。这种矿物极象是分解作用的产物。毫无例外，在实际应用生物地球化学方法时，将会查明用其他方法勘探不出的新的铊矿化类型。

由于铊矿物的形态和颗粒大小具有极大的影响，因此对铊的生物地球化学异常很少能够进行定量解释。可以预料，在大

多敏的情况下，含植物营养层的土壤中，钨浓度超过植物灰份中钨含量的很多倍（有时达到数百乃至数千倍），因此，钨的生物地球化学异常的整个面积可能与工业矿体相吻合，不论它的强度如何都应该看作是异常，因而需要尽先安排详细勘查和山地工程调查。在审核钨的生物地球化学异常时，对于以前进行钨的生物地球化学异常调查时未做过矿物研究的地区，必须对松散复盖层的矿物成分进行研究。借助元素的植物-土壤系数（ PFK ）的大小可以获得钨及其伴随元素的矿物形态的初步信息（见表3），而这种矿物形态又是生物地球化学异常的泉源。为了计算植物-土壤系数值，在进行生物地球化学异常调查时应该将土壤（C层）采样与大大高于背景值的生物机体采样结合进行。

在隐伏地段进行钨矿普查时，用大大高于背景值的生物机体的生物地球化学方法，可以部分代替使用钻孔和炸破获取深部岩石的化学测量结果，帮助合理布局山地工程和提高地质找矿工作的效率。在隐伏区域应用钨和其他金属深部生物地球化学找矿在经济上也有其合理性。

今后的研究方向

钨矿床的生物地球化学找矿工作，在生产矿区几乎没有使用过。因此它在实际应用时，应同时进行方法试验工作，以使该方法得到重要的改进。为了提高钨矿床生物地球化学找矿的有效性和生产效率，现提出今后的研究方向如下：

1. 研究高效率的方法，以保证能精确确定植物中钨的背景值和最小异常值。分析灰份时，灵敏度范围要达到 $0.3 - 1 \cdot 10^{-4}\%$ ；对未灰化的植物样品，灵敏度则要达到 $1 - 3 \cdot 10^6\%$ 。

2. 改进采样方法和轻便式X射线荧光光谱分析仪(Φ PC),以便在野外测定植物灰份中的W、Mo、Pb、Zn、Cu和As,而且可以在找矿路线中不采集样品,直接测定活树外皮中的Zn和Pb。

3. 对各种各样的生物机体信息情况进行定量研究,尤其对树木和灌木丛的外皮表面、软木层以及草本植物地上部分的详细研究。

4. 借助植物-土壤系数($\rho_{\Gamma K}$)进一步地定量研究大大高于背景值的生物机体所产生的晕的强度,与表生带根部的钨及其伴随元素的矿物形态和化学形式的依存关系,进一步查明适合于使用生物地球化学方法找矿的各种钨矿类型。

5. 研究怎样使用高灵敏度的X射线荧光光谱分析自动测定植物样品中钨及其伴生元素。

6. 深入研究钨及其他金属矿床最新的自动化航空生物地球化学找矿方法。

译自《Изв. АН СССР. Сер. Геол.》

№, 1973

韦俊铭译, 谭运全校