

The background of the cover is a detailed, sepia-toned map. It features a grid of streets and building footprints, suggesting an urban area. Overlaid on this are various geological features: contour lines indicating elevation, shaded regions representing different geological formations or land use, and a network of lines that could be roads, railways, or geological boundaries. The overall style is that of a technical or scientific illustration from the early 20th century.

地球化學探礦法

謝爾蓋耶夫等著

地質出版社

地球化學探礦法

蘇聯 謝爾蓋耶夫等著

地質出版社

本書搜集蘇聯1946年前所發表的地球化學探礦論文六篇。原文散見蘇聯“資源勘探”“地球物理”等雜誌中。1950年美國地質調查所彙輯成冊，譯成英文出版，書名“蘇聯地球化學探礦論文選輯”(Selected Russian Papers on Geochemical Prospecting for Ores)。英譯者爲V. P. Sokoloff; H. E. Hawkes。本書由中央地質部地質礦產司地球化學探礦室自該英譯本轉譯。

書號0036 地球化學探礦法 150 F字

著者	謝爾蓋耶夫
翻譯者	中央人民政府地質部化探室
出版者	地質出版社 (北京安定門外六鋪炕)
經售者	新華書店
印刷者	北京市印刷一廠

印數(京) 1—4,000 一九五四年一月北京第一版
定價7000元 一九五四年一月第一次印刷

譯 者 的 話

“地球化學探礦”是蘇聯於1930年前後首先提出的。其後，北歐國家（瑞典，挪威等）也開始了這方面的工作。美國則直到1945年前後才予以注意。這些1946年以前的蘇聯論文，美國地質調查所在1950年才翻譯成英文作為內部刊物出版。現有英美地球化學方法探礦的論文中，還缺乏如同本書所選輯那樣的文章。

從這幾篇論文中，可獲得地球化學探礦法的初步概念。尤其謝爾蓋耶夫的“地球化學探礦法”，在理論和實用方面都敘述得非常詳細，可以說是第一篇有系統敘述地球化學探礦法的論文。這些論文發表後的十餘年來，蘇聯在地球化學探礦方面的進展，由於我們缺乏資料，知道得很少。只知道地球化學探礦已構成爲地球化學在實際應用上重要的一部分。同時蘇聯科學院把研究“分散量探礦法”，列爲地球化學研究重點之一。對穩定礦物（金、鉑、錫、鎢、鉬、汞等）利用機械分散量進行探礦，則已廣泛的應用。對於鹽量及複鹽量，近年來還在研究另一種型式的量——吸附量。對利用原生量（生因量）來探礦的工作也有了發展。利用水量不但可以勘探重金屬，而且還可勘探鉀、溴、硼等礦床。利用水量和氣量來勘探石油的工作，則更具有實際的意義。但截至現在爲止，除了石油而外，在金屬礦床方面完整的綜合性的地球化學方法著作還沒有見到過。本書內謝爾蓋耶夫的“地球化學探礦法”直到今日，仍不失爲這方面的有價值的著作。

在祖國大規模經濟建設中，蘇聯先進勘探方法必會引起各方面的注意。本書的出版可以幫助地質工作人員對這種勘探方法有適當的了解，因而在綜合性地質勘探中，將更有效的發揮此種方法所應

起的作用。

由於我們還沒有找到原文，同時本文的英譯者在譯文方面或多或少雜有某些錯誤，因此中譯者儘可能加添了一些註譯。但是譯者的業務水平很低，錯誤在所難免，希望讀者提出疑問，指正錯誤，以便討論和修正。

目 錄

譯者的話	(1-2)
一、地球化學探礦法	謝爾蓋耶夫 (1)
緒言	(1)
(一)方法的來源	(1)
(二)分散	(3)
(三)地球化學分散量	(8)
1. 氣暈	(8)
2. 機械分散暈	(10)
3. 鹽及複鹽暈	(18)
(四)分散量在勘探中之應用	(22)
(五)野外工作中的問題與方法	(28)
1. 截線的分佈與形式	(29)
2. 採樣層	(30)
3. 樣品種類與量	(31)
4. 採樣	(33)
5. 分析	(34)
(六)快速分析方法	(35)
1. 光譜分析	(36)
2. 斑點試驗及其他方法	(45)
(七)生產量	(47)
1. 採樣	(48)
2. 樣品準備	(48)
3. 分析	(49)

(八)地球化學方法的應用.....	(50)
1. 方法的綜合使用.....	(50)
2. 結果的解釋、以及勘探的可能結論.....	(51)
3. 野外勘探計劃.....	(52)
(九)結論.....	(56)
註釋.....	(58)
二、勘探隊的野外分光化學實驗室.....	拉特新保 (61)
三、水分析——一種勘探金屬礦床的方法.....	謝爾蓋耶夫 (67)
四、野外用新型螢光鏡.....	謝爾蓋耶夫 (73)
五、地球物理勘探的離子法.....	謝爾蓋耶夫 蘇洛夫夫 (75)
六、北巴爾卡什湖區半沙漠氣候帶中勘探鉬的 物理化學方法.....	契柯米洛夫、米勒 (83)

一、地球化學探礦法

謝爾蓋耶夫⁽¹⁾

緒 言

本文擬對一種新的勘探方法的原理，試作有系統的討論。此法不久以前，由全蘇地質研究所⁽²⁾的地球物理組首先提出，目前仍在繼續改進中。

更多的勘探機構都在使用地球化學方法，而關於這方面可參考的書籍，完全缺乏，這是寫作本文的主要目的。目前已很明顯，爲了引導這個方法繼續發展，並在工業上加以應用，就亟需給它以適當的評價。

我們的問題比預期的更爲困難，可由下列原因中看出：

此種方法的發展主要是爲了解決當前的實際問題。方法中個別部分在演進過程中常缺乏任何理論根據。這類缺陷如沒有特殊的研究工作，就很難彌補；而組織這類研究工作又非常困難，因此某些很重要的問題，在這裏祇能作綱要式的介紹，特別是關於本法野外勘探應用的一章。大多數野外工作報告中，對地球化學方法的地質背景都敘述得不够，工作中的細節，也說明得非常不够。

儘管有這些缺陷，作者還是希望本文所提出的一般化的敘述將會對讀者有一些實際用途，並希望給地球化學方法理論方面的發展打下一定的基礎。作者對地質工程師伯蘇斯基，工程師米勒，尤其是後者，給本文的極有價值的幫助，謹致謝意。

(一) 方法的來源

在已知的礦化區域勘探新礦體，對開發礦物資源特別重要。在

普查的第一階段，就必須取得有關礦物的具體的勘探指示。所有方法中，露頭的調查可說是最可靠的勘探方法。但在為近代岩層所覆蓋的地區，就需應用費用較昂貴的操作方法找尋礦體。地球物理勘探的發展（在勘探和普查中很專門的一個領域），乃是這方面的主要成就。凡受阻礙而不能直接觀察的物質，根據其物理場的特性，可以用地球物理方法去加以判斷。雖然這些方法在勘探某些特殊礦物（石油）時，具有決定性作用，且具有無限的發展前途，然而露頭仍為探礦的最可靠的指示。因各種勘探方法有一基本缺陷，從下面的討論，即可以很明顯的看出。

根據地質假設以及物探數據綜合資料所得的勘探指示，大多是一種間接的或者是假定的證據，對這些證據的最後解釋，多少具有不同程度上的不肯定性。因此在同一勘探問題上常使用數種地球物理方法，其原因之一就是由於上述的顧慮。在合適的條件下，幾種不同的間接指示，可以增加最後解釋的肯定性。同樣理由就可以說明地質勘探工作人員常在尋求直接指示礦體的新方法。也因而發展了一些特殊的勘探方法。例如對重的和耐風化礦物（錫石、鎢、鉬、鉍、鉻、鎳、金、鉑等）中的元素已採用了沖積物探礦法(Alluvial Methods of prospecting)⁽³⁾，即在普查過程中，對地表礦床用簡單的海洗或者相當詳細的礦物分析，利用這些資料的引導，可一步步逐漸接近漂砂礦床或原生礦體。最近，在美國（懷特1922年）發展了一種新的銅的勘探方法，稱為銅量測量(Cupro-metric Survey)⁽⁴⁾。此法是對勘探區域內的生根岩石，以及岩屑作肉眼或用吹管鑑定。用銅的等量綫勾出強烈的礦化區域，以與浸染礦化的一般背景加以對比。這個方法在蘇聯科恩拉德地區也應用過。

上述這些方法，以及另一些其他方法，他們的理論根據都比較簡單：即在地表物質中找出礦化指示，進而確定礦體位置。

這些已使用過的方法，在經濟上和技術上的作用，還是有限

的。這些方法不能與地球物理方法的水平相提並論。其中在技術上發展得最完善的方法，也祇限於應用在重的以及穩定的礦物，並要受顆粒大小的限制。顆粒太小，則礦物無法鑑定。換句話說，這些方法並非到處可用。

最近在地球物理勘探的大規模發展中，迫切要求一種可廣泛利用並直接指示礦化存在的方法。

一個直接原因是地球物理在某些勘探問題上遭遇了困難（錫、多金屬礦床），往往得到不良的結果。野外工作中不斷提出，如何用較鑽探價廉的方法來確定地球物理變異的來源（由於礦體，抑其他地質原因）。從1932年開始，地球物理變異與其經濟意義的問題，已引起地球物理家們的注意。1932年索柯洛夫建議使用氣量法（Gasometric Methods）勘探油田。大約在同時，中央地質勘探科學研究所⁽⁵⁾的一個組，提出了勘探硫化礦床的離子方法，以及一些其他方法。這些方法在實驗室及野外檢查過，現已開始應用到工業上。對於各種特殊問題所發展的方法⁽⁶⁾，不同之處祇在於指示元素的選擇，而它們已有了各種特殊的命名。現在可把它們都歸入一個簡單的範疇之內，統稱謂“地球化學方法”（Geochemical Methods）。

（二）分散（Dispersion）

地圈上層露出地表而可以直接觀察得到的部份，就我們所知，是一個不超過15—20公里厚的帶。此帶百分之九十五以上由酸性花崗岩——二長岩所組成。地殼這一部份的平均化學成份，用著名的克拉克值（Clarke Numbers）來表示。有經濟價值元素的克拉克值列入表1第一行。第二行是這些金屬在有經濟價值礦床中濃度因次。第三行是這兩個數值之比值。從此比值可約略看出礦床中有價值金屬對於圍岩中金屬含量的集中程度。如圍岩是沉積岩，此比值一般比表上所列者為高。並且用克拉克的分析方法在岩石中未能普遍檢出

的元素⁽⁷⁾，如錫、鎢、鉬及其他，此比值可能比表中所列者為高。後者在表中比例數字是根據世界上已知的儲量算出的。

表 1. 元素在經濟礦床內之濃度與在地殼中濃度之比較

元 素	K(在地殼內的百分率) (根據克拉克)	P(在經濟礦床) 內的百分率)	P : K
鉬	8.080	10x	<10
鐵	5.030	10x	~10
鎳	2.090	10x	~100
磷	0.157	~10	10至100
錳	0.124	10x	~100
硫	0.030	10x	~100
鉻	0.068	10x	~100
鈳	0.041	1x	~100
鎳	0.031	1至10	~100
銅	0.010	~10	~1000
鋅	0.004	~10	~1000
鉛	0.003	~10	1000至10,000
銻	0.003	1至10	~1000
硼	0.001	~10	~10,000
鉬	0.0001x	~10	~10,000
錫	0.0001x	1至5	~10,000
砷	0.0001x	5至10	10,000至100,000
銻	0.0001x	5至10	~100,000
鎘	0.0001x	0.5至1	10,000至100,000
汞	0.00001x	1至5	~100,000
銀	0.00001x	0.0001	100至1000
鈾	0.000001x	~1	~1,000,000
金	0.0000001	0.0001	~1000

x為一因數，在1與10之間。

金屬在地殼中的平均量，與它們在經濟礦床中局部含量之間顯著的差別，並非偶然，乃是在地殼循環的發展中各種物質特性的表現。

地質作用的循環性，是近代地質學指導原理之一。維爾納斯基

認為地殼的發展可用一封閉循環表示，即可用物質在一個以上的地質圈範圍內的循環移動來表示。

圖 1 為基本循環的圖解，此循環的基本原理以及其個別相(Phase)的存在已確立無疑。必須指出此封閉循環有一假定，即在第二相內沉積岩被岩漿同化。上述概念，在原則上雖無人反對，但在量方面的研究則毫無發展。在基本循環上，各種化學元素之行動很不相同。例如在地球化學上有一類重要的元素，在移轉過程中產生的化合物，具有可循環性。此種現象又與濃度的規律變化同時進行。這種特點，使他們發展了地球化學變異(Geochemical Anomalies)。而在特殊的情況下，這種變異就形成了有經濟價值的礦床。

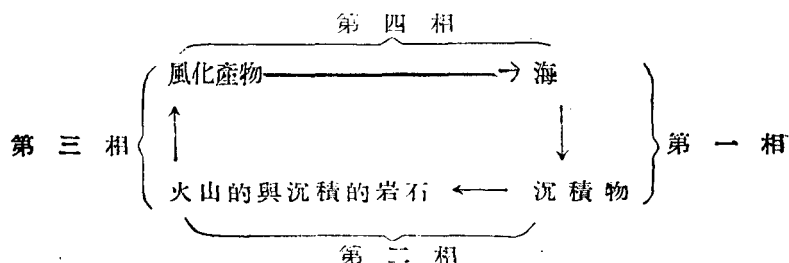


圖 1. 風化循環(根據維爾納斯基)

非金屬類元素所造成的經濟礦床，一部份是在基本循環的第一相(圖1)。極多的礦床是岩漿活動的結果(基本循環第二相)。在風化條件下產了很重要的聚集帶，在基本循環第三相。就在此相內，可引致前述第一、第二相內所產生的礦床的消失。對於所有已形成的礦床的消失過程，在基本循環第四相中格外明顯。

金屬富集帶濃度降低的現象，最後會引致地球化學變異的全部消失。這種現象可以簡稱為分散作用(Dispersion Process)。分散作用進行時期，叫作分散相(Dispersion phase)。

因此，研究富集與分散的交替所產生的週期性，極為重要。

富集作用，即成礦或礦化作用，久已被認為是頭等重要問題，並已發展到今日詳盡的程度。只有在研究同一現象兩方面的顯明的相互關係時，始涉及聚集元素的分散問題。近年來，大量分散相的具體材料，已開始引起各種專門問題研究者的注意。在討論本問題時，某些規律性必需提及。自然界物質任何物理或化學狀態的變化（特別在聚集和分散過程中的變化），都可認為是在變化着的物理化學條件下，一種想達成平衡的趨向。

在某一地質時期的過程中，石圈內某一定位置的礦床，在空間內逐漸接近風化帶時，仍繼續存在於同樣的物理化學環境中。這一段時期，可認為是在發展過程中的一個停滯相。在此時期內進行的作用，一般對礦床無影響，亦即不影響有價值元素的局部聚集帶。

經過一定時期，礦床受到風化因素的影響，其發展過程進入一新的相。在新的相中，原先聚集的元素羣遭遇了分散。沿着分散的主要趨勢，雖然由於化學與機械的作用，使部份礦床發生了顯著的局部循環，因而引致次生富集，但總的說來，礦床是在基本循環第四相過程中進行分散。在物質移轉的總方向中，除個別例外，基本循環分散相的局部次生循環中，只有元素濃度的週期性改變。

作用方式很多，一般特徵是變異與環境之間的相互作用。作用進行的空間自礦體向外展開，其物理化學性質與四周一般的空間很不相同。此空間可名為分散場 (Field of dispersion)。由於礦化帶礦物成份不同，以及其他條件，此空間可用不同的參數 (parameter) 確定出來。例如在有利條件下，即由於礦床內某些礦物的散熱與吸熱作用，可以確定出熱分散場。此種熱分散場 (Thermal Field) 已由實驗證實。但因缺乏足夠的實驗工作，此原理尚未在勘探中加以應用。某些硫化礦床在風化帶的放熱氧化反應，根據礦物特性，可以發生某種電場。這些電場的研究，已在地球物理勘探中廣泛應用（此種方法稱為自然電流法）。

最普通分散的例子，是某一礦床內有關物質，特別是此礦床內有價值元素在四周環境內富集所造成的場。本文所採用的地球化學分散場一詞，比上述條件所定義的作用區意義更廣。地球化學分散場包括下列兩個概念：

(1) 基本分散現象。

(2) 分散型式和原因的指示。

同時考慮這兩個概念，就足以確定討論題目的範圍。

分散量(Dispersion halo)是物理化學(地球化學)分散場的具體表現。它主要是由疏鬆物質組成的一個帶，內有一系列的變異，從礦體的最高值到圍岩中的最低值。前文已提過局部變化的循環，可形成特徵元素週期性的暫時聚集，有個別情況聚集成有經濟價值礦體，此種循環可以而且也的確在基本循環的分散相內進行。濃度的連續變化，從礦體開始(不論它是何種成因型式)通過他的分散量，通過各式移轉的道路，到達海洋大循環中的最終擴散。這個過程是在時間空間中發展着。這個一般化的概念，使我們可以辨認出另一種特殊型式的分散場，即一個局部相分散量，與另一個局部相的富集帶相連繫地區的空間因素。這種空間因素可稱之謂分散帶(Dispersion train)。如果在定義分散量時，是着重指出濃度趨向的漸變特性，則分散帶就可與之相區別。分散帶對它的來源——分散量(亦可以說就是礦體)之間的空間關係，對觀察者比較不顯著。在野外工作中，分散帶與礦床之間有時缺乏連繫，這樣就給了人一種“假量”的概念。這種“假量”的來源由於次生作用，包括與礦床初生分散無關的人為作用在內。

因此，特別是在局部相內，有下列三個連續的作用階段：

(1) 聚集相，這裏在適合的環境條件下形成了礦床。

(2) 分散量。

(3) 分散帶。

但作用並非都按照上述程序進行，根據礦床礦物組成以及其他地質與岩石環境的特徵，作用可能有各種不同方式。下文中將討論一些分散量發展規律性的簡單例子。

(三) 地球化學分散量

1. 氣 量

氣體礦床或含氣礦床分散量的性質與其他礦床不同。氣量性質特殊，我們對他的了解也較多，因此在這裏首先討論。氣體礦床一般含有大量氣體，封閉於不透性地層下的適合地質構造中。氣體所受壓力大於大氣壓，其大小與深度有關。此壓力使氣體向低壓方面移動，一般說來即移向地表，此即公認為基本的分散作用。若其他條件相同，他的強度可由覆蓋於礦床上全部物體的穿透性決定，氣體通過具有微毛細管 (Subcapillary pores) 的物質時，須符合擴散定律 (Law of diffusion)。這些具有微毛細管的物質，稱為不滲透物質 (Impermeable)，包括濕的黏土、含水砂以及其他。石灰岩、砂岩及類似的岩石具有毛細管孔道，氣體穿過它們須符合滲漏定律 (Law of effusion)。

$$V = KP/d\%$$

V = 滲漏速率;

P = 氣體壓力;

d = 氣體密度。

事實上，氣體從岩石內通過時，擴散與滲漏都會發生，則計算可根據達爾蘇 (Darcy) 對單成份氣體所建立之實驗式 (Single component gas)。

$$K = \frac{n Q L}{A (P_1 - P_2)}$$

Q = 氣體通過之速率，單位：立方厘米/秒；

K = 滲漏率，單位：達爾蘇；

A = 截面積，單位：平方厘米；

L = 通路長度，單位：厘米；

P_1 和 P_2 為壓力，單位：大氣壓；

m = 黏度係數，單位：泊 (Poise)。

設有一簡單情況：礦床與正規形狀的穹窿構造有關，覆蓋岩石的性質完全均勻，即可假設在氣體移動通路上濃度隨來源距離的平方而變化。地表上穿過分散暈的截線上的濃度曲線形狀會很規律，如圖2。

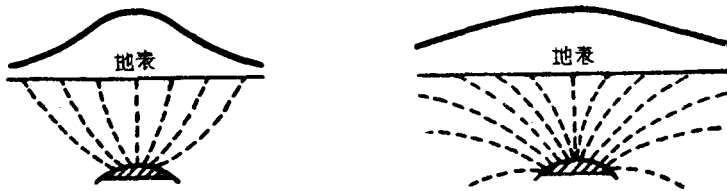


圖 2 地表附近氣體分佈；不同密度的氣體圖（根據索珂洛夫）

根據上述假設，利用在地表所測定的氣體濃度值，索珂洛夫和安東諾夫用稍不相同的方式，解決了氣源深度，及礦床等品位線的勾出等問題，兩法結果都很一致。數學分析的應用到現在還是有限制的，由於氣暈的實際特性，要受許多因素影響，包括所有構造上的因素，成份的不同，氣壓與溫度的變化，氣象及生物化學上的因素等等。對礦床正常分散的最大擾亂，是當覆蓋體的孔道相當大，可讓氣體自由通過而直達地表時，因而造成的一股相當強的氣流。裂縫也會造成同樣結果。這樣就不能觀察到氣體濃度漸變的規律，而這種現象祇能歸入於分散帶一類中去。

岩石對氣體選擇性的吸附作用，在氣暈的應用上極為重要，這

種特別複雜又研究得較少的現象，並不是單純的物理性的吸附，同時還伴有氣體中的化學變化發生（特別是碳氫化合物）。

2. 機械分散量 (Halos of Mechanical Dispersion)

假設礦床內有價值元素的化合物，在風化帶是穩定的，則該有價值元素參與礦體在風化環境中的連續變化時，它本身祇限於物理狀態的變化，或者與四周物質（脈石與圍岩）間相對散佈的變化。

此種量（機械分散量）的發展，基本上有兩種作用決定。第一、露頭遭到連續物理性的破壞，有價值元素直接進入了殘積層 (eluvium)；第二、疏鬆物質不斷移開。普通總是兩種現象同時進行，在他們之間造成一種動力平衡。礦床及圍岩中，部份風化碎塊，結果就被較近代的不同厚度的疏鬆物質所掩埋。分散量就在這些疏鬆物質中形成。

在疏鬆物質的正常發展中，可以在洞穴內觀察到岩層構造的某種次序性 (orderliness)。大塊的圍岩逐漸由肉眼可看見的裂縫層，變到很清楚的破碎帶。破碎帶的裂縫體積小於大塊圍岩的裂縫。裂縫內普通都填滿易碎的 (friable) 物質，其中一部份來自上層。越靠近地表碎塊的顆粒越小，沒有顯著的界限。直到最後都成為極細物質。在此情況下，碎塊的相互位置變動很大，不像較下層那樣容易找到它們的固定位置。在底土層 (sub soil) 內，主要的物質是疏鬆的砂和黏土的混合物，其中帶有分佈還算均勻的小碎石。

上述形式的疏鬆層某些移動的特徵，值得注意。疏鬆物質可用一種很慢的速度向下坡移動。如果坡度超過安息角 (Angle of Repose) $35^{\circ}-45^{\circ}$ ，疏鬆物質就會很快的下坡，這種情況不予討論。疏鬆物質移動最可能的原因是：

(1) 周期性濕潤以及雨、雪、霜、雹的影響，減低了顆粒之間的附着力（最嚴重情況是水洗）(Water-wash)；