

蘇聯高等學校教學用書

地球化學

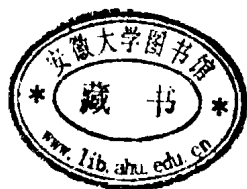
薩烏科夫著

地質出版社

地 球 化 學

薩 烏 科 夫 著

蘇聯高等教育部批准作爲
高等學校地質專業學生用教材



地 質 出 版 社

1955·北 京

本書係根據蘇聯國立地質書籍出版社 (Госгеолиздат) 1951 年於莫斯科出版的“地球化學”(Геохимия)譯出的，作者為蘇聯薩烏科夫 (А. А. Сауков)。原書是繼1950年初版的再版，內容上有若干增補。

本書是作者根據其在莫斯科大学及莫斯科地質勘探學院的多年教學經驗編寫而成，可作為大學教本和其他有志於地球化學的地質人員應用。全書共320,000字，由地質部編譯出版室陳良、徐幼先、王貴安、孔亮志、夏文豹、張予濂、韓樹榮、趙其淵、榮靈璧譯出，夏文豹、張予濂、張懷素、趙其淵、張培善、高書平校訂。

書號 0109 地球化學 320 千字

著 者 薩 烏 科 夫

譯 者 地 質 部 編 譯 出 版 室

出版者 地 質 出 版 社

北京安定門外六鋪炕

北京市書刊出版業營業證可證出字第零伍零號

發行者 新 華 書 店

印刷者 北 京 市 印 刷 一 廠

北京西便門南大街一號

印數(京)1—6000冊一九五五年一月北京第一版

定價24.000元 一九五五年一月第一次印刷

開本 31'' × 43'' $\frac{1}{2}$ 16 1/8 印張

目 錄

原書再版 序言	3
原 序	4
緒 論	5
第 一 章 地球化學思想發展簡史	13
俄國科學家對發展地球化學所起的作用	16
第 二 章 元素週期系	22
原子及其地球化學的分類	22
原子核的性質和結構	34
第 三 章 地球構造	43
地殼的化學成分	48
隕石的成因及組成	69
關於深處地圈的構造和成分的假說及整個地球的化學成分	73
大氣圈	80
生物化學成因的氣體	90
空氣成因的氣體	93
化學成因的氣體	94
放射成因的氣體	98
大氣圈中能量的平衡	100
水圈	103
大洋水與海水的成分	103
重水	115
陸地水	117
水的地球化學作用	133
水圈中能量的平衡	135

第四章 礦物構造與其成分的關係	140
矽酸鹽的結晶化學	161
晶格的能量	175
類質同像現象	189
第五章 化學元素的轉移	208
轉移的內在因素	209
轉移的外在因素	221
第六章 地殼內元素的組合	245
第七章 岩漿作用的地球化學	259
早期結晶作用的地球化學特徵	274
偉晶岩作用	279
第八章 熱液作用的地球化學	293
第九章 表生作用	315
表生作用的分類	325
岩石的表生作用	326
硫化礦床的表生作用	335
生物地球化學作用	349
第十章 個別元素的地球化學實例	362
氧的地球化學	362
鐵的地球化學	369
汞的地球化學	378
第十一章 實用地球化學的幾個問題	390
地球化學在解決礦床的成因和普查問題中所起的作用	390
地球化學在闡明新種礦物原料中的作用	400
地球化學在解決農業和保健事業的某些實際問題中的作用	401

參考文獻

附錄：本書人名俄華對照表

原 書 再 版 序 言

1950年末發行的本書第一版很快就銷售一空。根據國立地質書籍出版社的提議，作者準備將本書再版，在再版本中考慮了波雷諾夫(В. Б. Полюнов)院士(在“蘇聯書報”中，№4，1951年)和布爾克謝爾(Е. С. Бурксер)教授(在“地質雜誌”中，11期第一版，1951年)在書刊評論中所提出的批評。

1951年5月在蘇聯科學院地質科學研究所的專門會議上討論了這本書，也提供了許多寶貴的意見，在本書這次再版本中考慮了這些意見，並新添了“實用地球化學的幾個問題”一章和“地下水”一節。

作者謹向那些提供了寶貴意見並以自己的批評幫助改善了這本書的全體同志們致以真誠的謝意。

原 序

地球化學這門課程是蘇聯大學地質系及其他一些高等學校的教學計劃中所規定的課程。

到目前為止，還沒有一本地球化學的教科書。因此，學生們不得不參考各種有關地球化學方面的文獻，其中主要都是些專門性的論文，這樣便對在有限時間內學習這門科目造成相當大的困難。

本書是作者根據在莫斯科大学及莫斯科地質勘探學院多年教學經驗編寫而成的，並大致符合所規定的這門課程的教學大綱。按照作者的意見，這本書在某種程度上可以彌補以上所指出的缺點，而做為地球化學課程的教材。這本書同樣也可供對地球化學感覺興趣的其他地質課目的專家使用。為了滿足廣大讀者的要求，有些地方作者稍微離開了所規定的教學大綱，而增加了幾章，其中包括原子構造的簡述、結晶化學和晶格力學的基本概念。限於提綱和本書篇幅，在這本書中自然就不能闡明現代地球化學的全部問題。

本書主要任務是以簡單明瞭的方式來敘述現代地球化學的主要問題，幫助讀者進一步研究這門課目，以弄清本書中所沒有涉及到的其他一些問題。

在編寫準備付印的原稿時，舍爾巴科夫(Д. И. Щербаков)、斯莫里雅寧諾夫(Н. А. Смольянинов)、舍爾比納(В. В. Щербина)、波戈莫洛夫(Г. В. Богомолов)、謝苗諾娃(М. В. Семенова)給了作者極大的幫助，作者謹向這些同志致以深切的謝意。

緒 論

地球化學如其命名本身所表示的那樣，它研究地球的化學，與研究物理現象的地球物理學不同。但是這個過於一般化的地球化學定義是不夠的，因為還有許多其他科學（礦物學、岩石學、土壤學等等）在不同程度上同樣也涉及到地球的化學問題。因此給地球化學下一個比較確切的定義顯然是非常必要的。

地球化學與別的科學一樣具有幾個定義。其中最完全的要算維爾納茨基(В. И. Вернадский)的定義：“地球化學科學地研究化學元素，即研究地殼的原子，在可能範圍內也研究整個地球的原子。它研究原子的歷史、原子在空間及時間上分佈與運動的情形，以及它們在地球上的相互成因關係”。費爾斯曼(А. Е. Ферсман)的定義與上述定義非常接近：“地球化學研究地殼中化學元素——原子的歷史，及其在各種不同的自然界的熱動力與物理化學條件下的活動狀況”。

惟有研究過這些原子的性質以後，才可能了解地殼中（一般說來在地球上和宇宙中也是如此）原子的歷史，因為與化學元素在空間和時間上分佈和轉移有聯系的各種自然作用，首先就是這些性質的函數。現代的地球化學認為：各種元素的分佈情況，也就是元素在地球和宇宙中的相對數量決定於其原子核的穩定性，而原子的化學性質和移動（轉移）則與原子的外部電子軌道的特性有密切關係。

雖然地球化學的任務一般說是研究地球上原子的行為，但現在多半只是研究直接觀察所能夠達到的地殼的上部，也就是地球最表部厚度15—20公里的外殼。

然而地球化學，主要是由於地球物理學的發展，正在逐漸地擴大其研究範圍，而且現在已在嘗試（雖然是假設地）提供地球內殼——地質圈的元素分佈情況。從另一方面，天文物理學與天文化學的成就擴大了人們的眼界，並遠遠超出了地球的範圍。由於把隕石、行星、

太陽和其他星球也列入了研究範圍，因此地球化學是尋找地球上以及宇宙間原子的分佈及其活動的一般規律。從這意義上說，可把地球化學看為宇宙化學的一部分。

地球化學是一門比較年輕的科學，目前正處在飛躍發展的階段，因此它的範圍暫時很難作最後的確定。從地球化學定義本身，足以明顯地歸納出下列幾個基本問題：

1. 闡明地球各層(各地質圈)內各個化學元素的分佈規律，尤其是在地殼中的分佈規律，亦即闡明各地質圈的成分在量及質方面的情況及決定元素的不同分佈的原因。研究與這種分佈規律緊密相關的並支配一般在宇宙中，即在隕石、太陽和星體等等中元素分佈的法則。

2. 闡明化學元素在地殼內轉移的規律及其在地殼各地段分配不均勻的原因(例如一方面，金屬在礦床內集中，另一方面，又分散在岩石中)。查明決定元素共同存在，並決定它們以各種各樣礦物綜合體形狀而沉澱的順序的原因，亦即闡明決定所謂礦物和元素的共生的原因。

第二個問題可歸結為對支配着各別自然作用的原因的研究：元素從岩漿熔融體(早期結晶作用、偉晶作用等等)、熱水溶液(礦化過程)、冷溶液(鹽類等的沉澱)中的沉澱，以及生物成因、地表成因原因等。

前兩個問題是普通地球化學的內容，根據普通地球化學就可解決以下一些比較個別的具體問題。其中有：

3. 各個地區的地球化學，亦即根據年代、構造、岩石成分等等來闡明各地質系統間元素分佈的規律。

4. 各個元素的地球化學，亦即研究在不同熱動力條件下和在宇宙的及地質歷史的不同階段上各種原子在地球上的行為。

後兩個問題是對一般地球化學規律的部分解釋，組成了地球化學的專門幾章(或課程)的內容。

以上所提到的問題之間互相聯系得如此緊密，甚至解決了其中一

個問題，就能幫助解決所有其餘的問題。

可見，地球化學應當多多研究礦物和岩石，因為它們是地殼自然作用中各階段所特有的元素的自然集合體。在這方面，地球化學的對象，在頗大程度上與礦物學及岩石學所研究的對象相同，但是地球化學是從另一種觀點來研究它們的。

礦物學主要是研究分子，也就是原子的綜合體，岩石學主要是研究分子的綜合體，而地球化學則是研究各個原子的行為，礦物和岩石僅僅是地球上原子長期歷史過程中的各個階段。

地球化學和研究礦產也有密切的關係。當研究金屬礦體的形態學、礦物學和礦床的地質情況時，地質工作者越來越不得不注意造成礦床的化學作用。當然，形成各種礦床時的純粹地質因素之重要性絕對不容忽視，然而，已經很明顯，單用地質的辦法是不能解決在研究礦床時所發生的一切問題的。例如成因、元素的組合、類質同像雜質的問題等等。這些問題對於普查與勘探工作的理論與實際以及對綜合原料的技術加工等方面都有異常重要的意義。

地球化學，除了與地質課目密切有關而外，還和許多別的課目有着密切聯系，其中尤其是和物理學及化學有關，因為地球化學所研究的自然作用過程，首先決定於原子構造、原子的電子層性質、原子的化學性質和晶體力能 *энергетика кристаллов*。地球化學借用化學及物理學上許多重要的研究方法（鑠射線化學法和鑠射線構造分析法、極譜分析法、放射化學分析法、光譜分析法、定性及定量化學分析法等），有賴這些方法地球化學才能夠迅速取得成就。

最後，應當指出地球化學與天文物理學的關係，地球化學從它那裏得到有關宇宙體組成的材料，這些材料可用來更充分地、更深入地解釋地球上化學元素分佈的規律和其在地質圈上的分佈規律。同樣要指出它和生物科學的關係，因為現代的地球化學把生命物質也看成是原子轉移的重要因素之一。

上面所說的地球化學的任務及其與其他科學的血緣關係表明了這

門科學的綜合性和概括性。

如所週知，有很多的課目都在研究原子綜合體的歷史（也有時是個別原子的歷史），其中如岩石學、礦物學、礦床學、土壤學、水化學、工藝學、植物及動物之生理學等等。但是其中每一門科學都是僅僅研究原子活動過程中很固定的某一個片斷，而未能包括所有的活動過程。

由於原子的長期活動過程被分成許多單個的研究範圍，而每一個範圍又都從一種特殊的角度上來研究，因此也是用特殊的方法來研究，這就造成對原子的一種孤立的印像。

地球化學起着聯系的作用，它研究地球上原子行為的整個歷史和其存在的全部形式，同時還包括那些同其他科學也發生關係的問題。

地球化學不僅幫助確定了各種自然科學中間的關係，同時，它還以一定的觀點綜合了這些科學所積累起來的大批的實際材料和結論。這樣地球化學就促進了更深入更全面地掌握所研究的自然過程，這些過程最終造成物質，即各種原子、原子的一部分和原子綜合體的各種運動形式。

地球化學的理論價值由以上所列舉的那些問題就可完全明瞭，地球化學的使命就是要解決這些過去沒有解決的到目前還未為其他科學解決的問題。

地球化學的實用價值也是相當大的。只要提起它在解決下列複雜問題時所起的作用就足够了，例如，當解決礦床的成因、元素以及這些元素的礦床在空間上分佈情況時所起的作用。大家知道，這些就是合理地進行普查、勘探及開採工作的基礎。其次，地球化學，如像實際所證明的那樣，能够指出一些新原料，特別是對於那些常常不能形成自己的礦物的分散元素與稀有元素，並且可以擬定取出這些元素的方法。

強調指出地球化學的特殊意義時，維爾納茨基寫到：“地球化學的成就是化學家、礦物學家、生物學家、地質學家及地理學家所必須

知道的。研究地球化學一定要涉及到物理學的範圍和最普通的自然科學問題。同時還必須具有哲學思想。地球化學的原理在了解礦床學說方面的作用愈來愈大，並且開始進入農業與醫療的範疇。”

地球化學爲了解決自己的問題而採用各種不同的方法。研究岩石、礦物、水、氣體、生命物質的數量及質量組成時就採用這些分析方法：化學分析、微量化學分析、光譜分析、鑠琴射線化學分析、極譜分析、放射化學分析、發光分析等等。但地球化學對這些方法所提出的要求，要比其他科學更高。例如礦物學家、岩石學家及金屬礦床學家基本上只注意那些呈集中狀態的元素，因而他們所進行的化學分析精確度達到0.01%時就認爲非常滿意。地球化學却還同樣注意那些處於分散狀態的元素，有時這些分散元素的含量僅僅是十萬分之幾，在很多情況下是億分之幾，甚而有時是千億分之幾。

至於要選擇何種分析方法，則取決於所確定元素的既可能數量和這方法對該元素的靈敏度。

爲了確定數量特別少的元素，最好是採用光譜分析，它的靈敏度對某些元素來說可達到 10^{-6} — $10^{-8}\%$ ，極譜分析 (10^{-6} — $10^{-7}\%$)，螢光分析 (10^{-5} — $10^{-8}\%$) 等等。這些數字表示，所確定元素的絕對數量小於一個 γ ($\gamma = 1 \times 10^{-6}$ 克)。例如用發光法所確定的鈹的最小值爲 0.001%，鋁爲 0.05%，臭氧爲 0.02% 等。

有時必須綜合採用各種方法，以便提高測定的靈敏度。例如爲了確定岩石中許多極稀有的元素（銻、鎳等），就要很大的稱量（幾百或幾千克），經過化學精選，藉而使所尋找的元素集中在不大的一部分物質中，隨後再利用各種靈敏的方法（光譜分析、極譜分析等）確定其數量。

爲了解決另外一些與闡明原子轉移、原子在地殼中的自然組合、在空間上的相對分佈等等有關的地球化學的問題，地球化學又利用許多其他方法。

爲費爾斯曼所廣泛採用的許多方法中應當指出他對門德雷耶夫

(Д. И. Менделеев) 週期表所作的深刻的地球化學分析。此週期表把地球化學性質相近的元素連在一起放於一定的部位（例如，基性岩石元素、偉晶花崗岩元素、熱液礦床元素、稀土元素、惰性氣體等等），因而能對元素進行地球化學分類。

週期表同樣也能查明，那些離子在晶格中類質同像地互相替換，也就是它幫助回答了在礦物內部元素的自然組合問題。

當研究任何一個地區、火成岩體或礦床時，在野外條件下（根據所發現礦物的總合）就可以把最常作為對象的化學元素在門德雷耶夫週期表上加以確定和指出。

根據科學所擬定的自然元素族的概念，就可以推測出應該和已知元素相伴隨的其他一些元素。並且可以利用各種野外和實驗室的研究方法，充分有根據地來找出這些其他元素。

如在超基性岩石中存在有鎂和鐵，就很可能在礦物晶格內除了它們以外還會找到鎳和鈷，在閃鋅礦中和鋅一起存在的可能還會有錳、鎳、鎢和鉍等等。

在地球化學諸方法中，還有一種編製礦物或其特徵元素在各種地球化學過程中沉澱順序圖表的方法。在這些表上從左向右依次表示地球化學過程的各階段（費爾斯曼的地質相）；礦物或元素從上往下一個位於另一個下面地排列。在橫行內用一些特殊的符號（常常是用不同寬度的線條）表示某礦物的沉澱時期（或相應元素變成固相的時期）。線條的寬度符合於在該時期內沉澱作用的強度，線條的長度符合於沉澱作用的延續時間。這種圖表有助於非常清楚地表示出地球化學作用的整個過程，亦即形成礦物的相對時間，從而也就表示出組成礦物的那些元素的聚集時間，它們在空間及時間上的對比關係和它們的組合情況。

類似這種地球化學圖表的例子，在費爾斯曼及其他許多研究家的著作中都可以找到很多。

地球化學製圖法現在研究得還很差，但這並不是說此法不重要，

這種方法就是編製某區域中某一地段的圖以提出各種元素含量的概念，盡可能提供該地段任一點上的各種元素含量，例如銅礦床的銅量測量圖、錫礦床的錫量測量圖等就是如此。在這些圖上，該元素含量相同的點就用適當的曲線連接起來。這種圖表能夠幫助我們合理地進行勘探工作，並且往往可幫助我們對該礦區的金屬進行儲量計算。

除了以上那些局部的圖表以外，還可以編製一些總的圖表，圖上用一種特殊的方法繪出許多化學元素。曾經編製過這種總圖表以研究火成岩體。但這是一件非常繁重的工作，顯然這種工作，是需要大量的化學分析資料的。

因此，能表示出各種元素在剖面線上含量變化的地球化學斷面圖是比較好的。例如，沉積岩斷面圖（如果這種斷面圖能夠充分表示出化學上的對比關係的話），以及表示某些元素含量的礦床垂直及水平剖面圖。

某區域、某雜岩體或礦床的地球化學特徵可以用濃度克拉克值來很好地表示，根據維爾納茨基，這些值確定了該對象的某些元素的含量與就整個地殼已算出的同樣元素平均含量之比。

如果濃度克拉克值超過1，則此元素富集，如果小於1，則此元素很貧。例如在沉積的鐵礦床中，鐵、砷、錳和其他元素有高的濃度克拉克值，而鈉、鉀、矽等則有比較低的濃度克拉克值。

按照濃度克拉克值的大小就可以劃分出以某些元素富集為特徵的地球化學區域。這樣就可以說含錫的、含金的、含稀土元素的等等地球化學區域。

因此確定濃度克拉克值，同樣也是研究地球化學的重要方法之一。

當許多礦床的表面受到風化時，由於元素的轉移，在這些礦床的周圍就生成許多量，其特徵就是礦床某些主要元素含量的增高。這些量可以是某些金屬礦物（例如，在砂礦中）、可溶解的化合物（在水溶液中）和被吸附的離子（在高度鬆散的風化產物中和土壤中）等

等。

研究這些量亦是地球化學的重要方法之一，它能幫助我們找尋某些礦床。同時還可以用確定植物中各種元素的含量的方法來進行找礦，因為植物生長在土壤內，而土壤又是由某種岩石或礦床所形成的，所以在某些植物內某種元素含量的增加就表示該元素在土壤中，因而也就是說在形成土壤的原始本體中（岩石或礦床中）的含量是相當多的。

在許多煤和石油礦床周圍的量裏富集着碳氫化合物，在鈾礦床周圍富集有氦和射氣。研究這些氣體在土壤和岩石中的分佈有助於找尋相應的礦床。

在地球化學的研究工作中，同時還需用別的方法，其中包括礦物學、岩石學和其他地質科學的方法，因為研究的對象基本上都是在某種地質條件下存在的礦物、礦石、岩石、水和氣體。

第一章 地球化學思想發展簡史

由於礦業、冶金工業和化學工業的發展，很久以前地球化學的思想就開始以各種不同的形式產生了。我國天才的學者羅蒙諾索夫 (М. В. Ломоносов) 是非常清楚地了解到把化學和物理的方法和概念運用到地質學中去的必要性和有效性的最早人物之一。還在 1763 年他在一本名著“論地層”中寫過：“這就是礦藏；這就是地層，這就是大自然在深處造成的其他物質的細脈。讓我們仔細地觀察它們的不同位置、顏色、重量吧，讓我們在思考時應用數學、化學和物理學的忠告吧。”這些思想曾在很長時間內未被人們理解。

遠在維爾聶爾 (Вернер) 以前，羅蒙諾索夫首先提出了關於礦脈以及礦脈的年齡是與圍岩的年齡不同的正確概念（這種思想人們經常歸功於維爾聶爾）。他注意到不同年齡的礦脈帶有不同礦物的重要事實，也就是接近了近代關於礦物沉積順序和熱水溶液演變的思想。他正確地解釋了許多自然體的成因，其中有泥炭、煤和石油，認為它們是死亡的有機物，經自然改造後的產物。

羅蒙諾索夫指出一系列普查礦床的標誌。其中某些是地球化學方面的標誌（例如水的礦化、地表上礦體露頭的顏色、植物的性質、硫化礦床氧化帶上面土壤的陷落等等）。

在 1798 年，另外一個俄國學者謝維爾金院士 (В. Севергин) 在“礦物學或礦體自然史的基本原理”一書中，首先在世界科學史上造成非常重要的有關礦物自然組合和共生的地球化學概念，用俄羅斯語言表達就是“礦物的鄰接性”。他把礦物的毗鄰了解為礦物的共同存在，並指出存在於岩石之間的和其伴生礦物之間的關係，以及闡明形成各種組合時的條件，這在普查金屬礦物 and 有色石料時幫助極大。

而布列特高普特(Брейтраупт)引出類似的概念“礦物共生”還是在謝維爾金以後 50 年(在 1849 年)。

發表過個別地球化學思想的還有其他許多十八和十九世紀的學者。在古姆博爾特(А. Гумбольдт)發表的觀念中,我們找到了有關有機物對環境影響的思想。赫拉德尼(Хладни)和其他學者們在研究隕石的同時,搜羅了許多事實,這些事實使後人能答出關於宇宙間化學元素成分的總和和地球構造的結論。

水成論者(比紹夫[Бишоф])和火成論者(鮑蒙[Эли де Бомон]等)搜集了許多地球化學的材料,這些材料涉及到物質在水溶液中的轉移,以及在岩漿和火山作用中的轉移問題。在十九世紀中葉,在這些材料的基礎上已經說明了一些值得注意的地球化學思想。自然也僅能在不多的化學元素方面根據當時的化學情況加以說明。

第一次採用“地球化學”這一語彙是在 1838 年。人們把地球化學這一名詞瞭解成有關形成地球的物質的化學成分和起源的一門科學。但是地球化學作為一門獨立科學而成立,僅僅是在二十世紀當門德雷耶夫做出用元素週期系表示的天才的化學綜合和建立了原子構造學說以後。

十九世紀下葉及二十世紀的化學、物理和其他科學上的成就,已經能够在理論上解決許多在把地球化學事實綜合成經驗規律時發生的一些問題。

由於美國克拉克(Кларк)和我國維爾納茨基在許多年以前開始的研究工作(克拉克的頭幾張表在 1889 編成),在研究地球上和隕石內的化學元素的分佈方面得到了很大的成績。這些研究工作使很多傑出的學者,尤其是那些研究過精密分析方法(化學分析、光譜分析、嬗變射線化學分析、放射化學分析、極譜分析、螢光分析)的化學家和物理學家感到興趣。

隨着在這些研究時闡明地球上元素分佈的真實情況的程度,地球上各個元素原子的歷史也越發全面地、深入地揭露了。