

岩石化学找矿法

(内生金属矿床岩石化学普查方法)

[苏]叶·米·克维亚特科夫斯基 著

地质出版社

岩石化学找矿法

(内生金属矿床岩石化学普查方法)

[苏] 叶·米·克维亚特科夫斯基 著

张 国 容 邱 郁 文 译

秦 国 兴 校

地质出版社

内 容 简 介

本书探讨了金属矿床岩石化学普查方法的理论基础,地质勘探的各阶段中岩石化学研究结果的解释原则。分析了地壳中化学元素存在的矿物形式与非矿物形式之间、集中形式与分散形式之间的数量关系。证明了利用岩石中杂质元素的原生分散特点评价区域潜在含矿远景的可能性。讨论了金属矿床原生和次生分散晕的形成理论、研究方法以及定量解释问题。

本书带有方法指南性质,可供在矿区从事地质普查和勘探工作的广大地质、物化探人员使用。亦可供大学师生在钻研“矿床地球化学普查方法”这一课程时参考。

Е. М. Квятковский
ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ПОИСКОВ ЭНДОГЕННЫХ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ленинград «Недра» 1977

岩石化学找矿法

(内生金属矿床岩石化学普查方法)

[苏] 叶·米·克维亚特科夫斯基 著

张 国 容 邱 郁 文 译

秦 国 兴 校

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本, 850 × 1168¹/₃₂ · 印张, 6 · 字数, 156,000

1981年1月北京第一版·1981年1月北京第一次印刷

印数 1—4,110 册 · 定价 0.90 元

统一书号: 15038·新561

前 言

当前，人们几乎普遍认为，找矿问题日趋复杂，单纯增加地质勘探工作量，而不去研制和改进新的、比较先进的普查勘探方法，要保证完成国家的储量增长计划是不可能的。正因为完善了整套普查勘探方法的理论和技术手段，才使得战后年代在掩盖地区的找矿工作，在经济开发区寻找盲矿和深埋矿床的工作卓有成效。这些方法中，岩石化学方法占有重要地位。近几十年来，在苏联及其他国家的许多矿区发现了大量的有色金属和稀有金属矿床，便是这种方法效果的佐证。

本书探讨了地壳中化学元素分配和迁移的基本规律，确认岩石圈中元素的克拉克值与矿石中元素的平均含量及储量之间有密切关系。这种关系可以用来对不同大小级别矿床的矿石储量进行总的预测评价。

本书以大量实例证明，杂质元素在岩浆岩、沉积岩和变质岩中的分配特点，可以用来成功地解决形形色色的填图和找矿问题。

本书分析了内生矿床分带性产生的可能原因，探讨了普查勘探深埋矿床时查明和利用矿体及其原生晕分带性的方法。以“共青团”锡矿区为例，说明了矿带截面深度和深部金属预测储量的各种估计方法的优缺点。

本书列出了次生岩石化学分散晕的分类，研究了其在不同景观中的形成特点。阐述了计算分散晕的理论问题，并以实际资料表明，根据矿床的次生分散晕找矿，效果甚佳。作者提交的这部著作，从实质上说，是本人从1950年起在列宁格勒矿业学院讲授“矿床地球化学普查方法”这一课程的主要章节。

目 录

第一章 概 论	1
一、岩石圈的化学成分	1
1. 岩浆岩	3
2. 沉积岩	6
3. 沉积岩和岩浆岩中化学元素克拉克值之间的数量关系	7
二、岩石圈中化学元素存在的主要形式和形态	9
1. 矿物形式和非矿物形式	9
2. 集中形式和分散形式	15
三、地壳中化学元素迁移的基本规律	32
1. 化学元素某些迁移形式的特点	32
2. 成矿元素分散和集中的成因分类	35
第二章 化学元素的原生(同生)分散及其在解决 各种地质问题中的用途	38
一、利用岩石地球化学特征解决地质填图问题	39
二、利用岩石地球化学特征作为找矿标志	43
第三章 内生金属矿床的原生晕	54
一、基本概念	54
二、原生晕形成理论的要素	59
1. 单元素矿带	59
2. 矿化的分带性	64
三、实例	78
1. 概述	78
2. “共青团”地区的锡矿床	81
第四章 金属矿床的次生分散晕	107
一、次生分散晕的分类	107

二、次生分散晕在不同景观中的表现特点	113
1. 土被的作用	114
2. 疏松盖层的作用	118
3. 地貌条件的作用	120
4. 按岩石化学普查工作条件的区划	122
三、元素在次生分散晕中的存在形式	130
四、次生分散晕形成理论的要素	135
1. 残余分散晕	135
2. 迭加分散晕	151
五、实例	156
1. 概述	156
2. 普查性岩石化学测量	159
3. 详细（普查-勘探）岩石化学测量	164
结 语	180
参考文献	182

第一章 概 论

一、岩石圈的化学成分

物质的物理状态是将地球分成若干圈的基础。地球的三个外圈（气态、液态和固态的），被分别命名为大气圈、水圈和岩石圈。根据对弹性波传播速度的观测，地球内部分为地核、下地幔和上地幔。莫霍面被当作地壳的下部界面。地壳占地球半径1%稍多一点，然而就是这样一层薄薄的表皮，也还研究得远远不够，尤其是岩石圈，加上构造作用和侵蚀作用，揭露深度仍未超过15—20公里。

在解决有关地球的内部结构和成分问题的时候，研究陨石拥有重大的意义，因为据推测，地球的平均成分，大体上相当于整个人类历史上在地球表面所发现的陨石的平均成分。

地球各外圈的质量估计为^[70]：岩石圈 2.4×10^{19} 吨；水圈 1.6×10^{18} 吨；大气圈 5.1×10^{15} 吨；生物圈 10^{13} 吨。元素在地球各圈中的平均含量，通常称为克拉克值。“克拉克值”这个术语，经常用作元素在任何地质体中的“平均含量”这一概念的同义语，无论岩石还是矿物都是如此，并且还有说“世界性”、“区域性”，和“地方性”克拉克值的。在各种地球化学手册和指南中^[7、9、45、70、79、85、105、106]，都载有元素克拉克值表。

表1中列出的是用十进制表示的岩石圈中元素的克拉克值。

头十种元素占99.58%，其中15.12%是铝、铁、镁、钛和锰。其余全部有重要工业价值的金属的总和，不超过0.05%。如果把元素以其原子序数为序排列，就大体上会出现随着序数增大，克拉克值降低的现象。偏离这种依从关系的元素，可以归入

岩石圈中元素的克拉克值
(根据A. И. 维诺格拉多夫的资料^[9])

表 1

十进制 制编 号	克拉克值 (重量%)	元素 种数	元素 (以克拉克值降低为序)	Σ (重量%)	
				按十进制	累 计
I	10	2	O, Si	76.5	76.5
II	1	6	Al, Fe, Ca, Na, K, Mg	22.53	99.03
III	10 ⁻¹	2	Ti, Mn	0.55	99.58
IV	10 ⁻²	9	P, F, Ba, S, Sr, C, Cl, Zr, Rb	0.377	99.957
V	10 ⁻³	18	V, Cr, Zn, Ce, Ni, Cu, Nd, Li, Y, La, Nb, N, Ga, Co, Pb, Th, B, Sc	0.0685	100.025
VI	10 ⁻⁴	20	Pr, Sm, Gd, Dy, Tb, Be, Cs, Er, Sn, Ta, U, Br, As, Ho, Ge, Eu, W, Mo, Hf, Tl	65.2 × 10 ⁻⁴	100.032
VII	10 ⁻⁵	7	Lu, Sb, I, Yb, Tu, In, Cd	26.8 × 10 ⁻⁵	
VIII	10 ⁻⁶	4	Hg, Ag, Sc, Pd	21.6 × 10 ⁻⁶	
IX	10 ⁻⁷	3	Bi, Au, Te	14.3 × 10 ⁻⁷	
X	10 ⁻⁸	1	Re	7 × 10 ⁻⁸	
总 计		72			100.032

过剩元素 (O、Si、Ca、Fe 等) 或短缺元素 (Li、Be 等)。偶数元素的克拉克值, 一般都比与其相邻的奇数元素克拉克值高 (奥多-加尔金斯定理)。元素的这种分配总的看来是元素在宇宙中分配的再现, 可从核稳定性的观点加以解释。元素在地球各圈形成过程中的再分配, 原则上不违背上述普遍规律。按照 B. И. 维尔纳茨基的形象说法^[7], 地面上的每一点滴或每一微粒物质, 无一不是宇宙总成分的反映。物质的这种性质, 有充分理由叫做元素无处不有定律, 或称克拉克-维尔纳茨基定律^[8]。现在都坚信这一定律的正确性了, 以致对在某些地质体里“元素不存在”或“元素偶见”之类的术语的错误性, 不会再引起疑义了。使用“元素未被发现”这一术语比较正确, 届时务必指出分析灵敏度的障碍就可以了。

在 A. 波耳迪尔瓦尔特^[70]、A. Б. 罗诺夫和 A. A. 雅罗舍夫斯基^[79]、A. A. 别乌斯^[2]的著作中, 列举有岩石圈中各类岩石分

布程度的最完整的资料。16公里深以内的大陆地壳成分资料列于表 2。

16公里深以内的大陆地壳中各类岩石的分布程度 表 2

(重量%)

岩 石 类 型	据克拉克 和华盛顿 (1924年)	据恩格耳- 加 尔 特 (1936年)	据波耳迪 尔瓦尔特 (1957年)	据别乌斯 (1972年)
沉积岩:				
页岩	80	79.6	55.4	53.0
砂岩	15	11.9	23.2	25.4
碳酸盐类岩石	5	8.5	21.4	21.6
总和/在岩石圈成分中占的比重:	100/5	100/5	100/7	100/6
岩浆岩:				
花岗岩和花岗闪长岩	64.0	39	100	85.2
闪长岩	7.4	39	—	4.5
辉长—斜长岩, 玄武岩	20.0	18	—	9.0
正长岩, 纯橄岩, 橄榄岩	8.6	4	—	1.3
总和/在岩石圈成分中占的比重:	100/95	100/95	100/93	100/94

对灰岩和各种酸性岩浆岩所占比重的截然不同的估计是引人注目的。考虑到沉积岩在岩石圈成分中占的比重较小, 以及考虑到基性程度不同的岩浆岩所占的比例, A. П. 维诺格拉多夫^[9]把由两份酸性岩(花岗岩)和一份基性岩(玄武岩)构成的混合物的成分, 当成岩石圈的平均成分。

对于表 2 中所指出的主要类型的岩浆岩和沉积岩来说, 不同作者^[9, 108]所计算出的化学元素的克拉克值, 都是由大量分析中得出的算术平均值。应当指出, 计算克拉克值时在岩石的分类上困难很大, 因此, 所得数据带有近似性质。但通过分析不同类型岩石中元素的克拉克值, 可以做出某些具有实用意义的结论。

1. 岩浆岩

全部元素按其在岩浆岩中的分配特征可分为七种类型(图1)。属于第一种类型的是 O、Si、Ge、Se、Te、Au, 它们在全

部四种主要类型火成岩中的克拉克值彼此差不多。就氧尤其是就硅而言，当然，它们的克拉克值是随着岩石基性程度的降低而降低的，因为在此种情况下，岩石分类本身就是按其中 SiO_2 的含量来作的。至于说第一种类型的其余四种元素，则锆具有其克拉克值随着岩石基性程度降低而降低的趋势，而金则具有其克拉克值随着岩石基性程度降低而升高的趋势。硒和碲在全部四种类型岩石中的克拉克值均相等，这可能是因其估算不够精确所致。属于第二种类型的元素有 B、C、N、S、Cl，它们的克拉克值随着岩石基性程度的增大而作规律性降低。属于第三、第四和第五种类型的是这样一些元素，总的说来，它们的最高的克拉克值分别出现于酸性、中性和基性火成岩中。属于第六和第七种类型的元素，其最高的克拉克值出现于超基性岩和基性岩中。

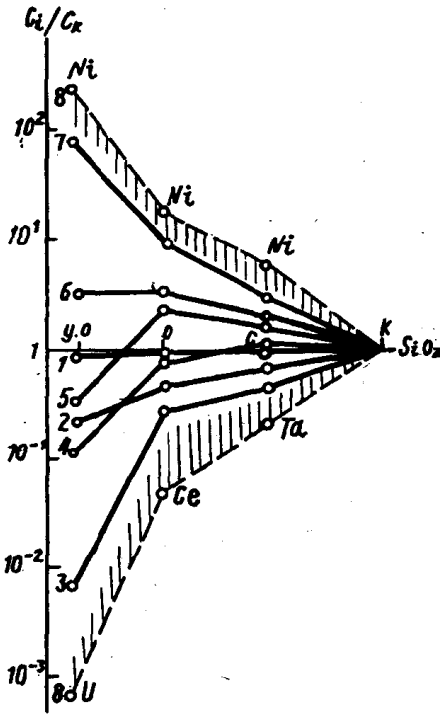


图 1 超基性 (y·o)、基性 (o) 和中性 (c) 岩浆岩相对于酸性 (k) 岩浆岩的元素克拉克值平均变化曲线
元素类型：1—主要造岩元素 (Si、O) 和弱分异元素 (Ge、Se、Te、Au)；2—岩浆射气元素 (B、C、N、F、S、Cl)；3—酸性岩浆元素 (Li、Be、K、Rb、Y、Cs、Ba、TR、Ta、Tl、Pb、Th、U)；4—中性岩浆元素 (Na、Al、Ga、Zr、Mb、In、Sn、Hf、W、Hg、Bi)；5—基性岩浆元素 (P、Ca、Sc、Ti、V、Cu、Zn、As、Br、Sr、Mo、Ag、Cd、Sb、I)；6、7—基性岩浆元素 (Mn、Fe) 和超基性岩浆元素 (Mg、Cr、Co、Ni)；8—克拉克值最大相对变化区的界线

所分出的七类元素，它们在周期表中的排列是很有规律的，虽然也有个别“异常”，但那可能是因相邻类型之间没有明显界线而使元素分类显得困难所造成的，

或者是因对一系列元素在个别类型岩石中的克拉克值估算不准确而造成的。看来，应当对中性岩和酸性岩重新审查Sc、Sb、W的克拉克值，对基性岩和超基性岩重新审查Be、Sr、I的克拉克值。

下述普遍规律是引人注目的：一定元素的内生矿床与这些元素克拉克值最高的岩浆岩有成因联系。换句话说，内生矿床形成于岩浆源形成的结束阶段，而且矿质的析出似乎使岩浆分异过程从此告终。

当然，主要类型岩浆岩中化学元素分配的上述普遍规律，若使用更详细、更复杂的岩石分类，就会使其变得更确切、更详细。这可以举例说明，如可举阿尔泰-萨彦岭褶皱区火成岩中钛的性状为例来说明（根据И. И. 阿勃腊莫维奇、Е. Б. 维索科奥斯特罗夫斯卡娅的资料，⁽⁹⁸⁾）。正如从图2中所看到的那样，在不同建造的基性岩和超基性岩中钛的分配是截然不同的。

对喷发岩和侵入岩中元素含量分布的对比研究，到目前为止仍然不太受到重视。

根据Ф. Ю. 列文生-列星格和А. Н. 查瓦里茨基的资料，钛在基性喷发岩中的含量比在相应侵入

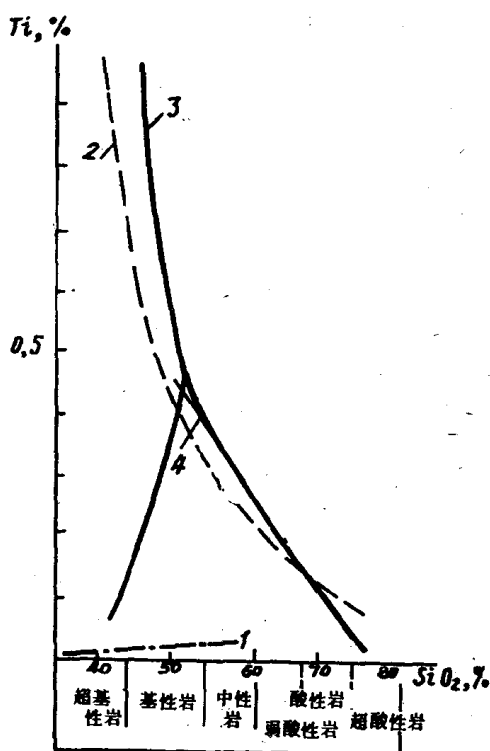


图2 岩浆岩——不同岩浆的派生物中钛的含量

岩浆：1—橄辉岩浆，2、3—在很深（2）和中深（3）部位分异时的玄武岩浆，4—花岗岩浆。（根据И. И. 阿勃腊莫维奇、Е. Б. 维索科奥斯特罗夫斯卡娅的资料⁽⁹⁸⁾）

岩中的高，而在中性和酸性喷发岩中的含量，则比在相应侵入岩中的低。根据戴利的资料 (T. Φ. 巴尔特, 1956 年), P、Mn、Mg 和 Ca 也具有类似性状。

根据 Φ. И. 维基洛娃的资料^[6], 镍和钴在中性和酸性喷发岩中的含量比在相应侵入岩中的高, 而在超基性和基性岩中情形则相反, 这是因为侵入岩比喷发岩分异程度高的缘故。看来, 在一般情况下, 喷发岩中微量元素的分异程度应当比侵入岩中的低, 也就是说, 酸性喷发岩同酸性侵入岩的区别, 就在于前者基性岩元素的含量较高而酸性岩元素的含量较低。对于基性喷发岩来说, 情形应当相反。

不同类型岩浆岩中杂质元素的含量, 取决于岩浆岩的时代。就花岗岩类岩石而言, 有关于这一问题的最大量的资料。例如, 根据 K. 兰卡姆的资料^[78], 在从古老的前寒武系到年轻的新生界的花岗岩中, Li、Rb、Cs、Be、Ba、TR、Pb 的含量不断增高。比较年轻的花岗岩较之古老的花岗岩, 其放射性更高, 这也是人所共知的事实。根据 B. C. 科普捷夫-德沃尔尼科夫等人的资料^[20], 比较古老的侵入杂岩体中的花岗岩类岩石, 富含铁族元素 (镍、钴) 和铜, 而比较年轻的侵入杂岩体中的花岗岩类岩石, 则富含稀有金属-多金属族元素 (铍、钼、铟、铅、锌)。这一规律在某种程度上证实了“分带熔化说”^[6]。“分带熔化”作用可以在地壳的同一些地段多次重复出现, 因而越是年轻的花岗岩类岩石, 含二氧化硅和酸性岩浆所特有的元素就应越富。基性岩的情形刚好相反 (T. Φ. 巴尔特, 1956 年); 基性喷发岩 (玄武岩) 的酸度随着时间的推移不断降低, 而其中基性岩浆所特有的元素 (镍、钴、铁、钛、磷) 的含量则相应升高。

2. 沉积岩

三种主要类型沉积岩中杂质元素分配的一条普遍规律是: 杂质元素的克拉克值, 从砂岩到泥质页岩增高, 而在灰岩中剧减。砂-泥质颗粒的分选性表现得越明显, 混入灰岩的泥质越少, 砂岩—粉砂岩—泥岩—灰岩系列中杂质元素含量的差异也就越大。

泥岩中杂质元素的克拉克值，在时间上是不稳定的。拿陆源岩系来说，从古老的元古界到年轻的新生界，钾、铝、钛、铁、镍和钴的克拉克值普遍降低。比如镍和钴，据 Ф. И. 维基洛娃的资料^[6]，其克拉克值降低了三分之二。对于其它元素来说，则出现相反的规律。比如钠和钙，其克拉克值增长了1—2倍。看来，泥岩化学成分在时间上的演变过程，与生物圈环境总的演变过程有关。

淡水沉积物和海相沉积物中元素的克拉克值，当然也是不同的。例如，在滨里海洼地和西西伯利亚低地的侏罗系和下白垩系陆源岩系中，在从淡水泥岩向海相泥岩过渡时，硼和锶的克拉克值大致增长了3倍。

3. 沉积岩和岩浆岩中化学元素克拉克值之间的数量关系

任何一种化学元素在沉积岩形成过程中，大体上都应遵循下列等式：

$$P_{\Sigma\Sigma}C_{\Sigma\Sigma} + M_{\Sigma\Sigma} + M_{\Sigma\Sigma} = P_{\Sigma\Sigma}C_{\Sigma\Sigma} + M_{\Sigma\Sigma} + M_r \quad (1)$$

式中， $P_{\Sigma\Sigma}$ 表示整个岩石圈中已遭到剥蚀的结晶岩石的总重量； $C_{\Sigma\Sigma}$ 表示岩石圈结晶岩石（岩浆岩）中某种元素的克拉克值； $M_{\Sigma\Sigma}$ 表示已遭到剥蚀的原生（内生）矿床中某种元素的全球总储量； $M_{\Sigma\Sigma}$ 表示进入含火山物质或热液的沉积岩系的某种元素的总数量； $P_{\Sigma\Sigma}$ 表示整个岩石圈中沉积岩的总重量； $C_{\Sigma\Sigma}$ 表示岩石圈沉积岩系中某种元素的克拉克值； $M_{\Sigma\Sigma}$ 表示沉积矿床中某种元素的全球总储量； M_r 表示整个水圈中某种元素的总含量。

作过一些变换以后，就能求出沉积岩和原始结晶岩中某种元素克拉克值的相对差异：

$$K_i = \frac{C_{\Sigma\Sigma} - aC_{\Sigma\Sigma}}{C_{\Sigma\Sigma}} = \frac{(M_{\Sigma\Sigma} + M_r) - (M_{\Sigma\Sigma} + M_{\Sigma\Sigma})}{M_{\Sigma\Sigma}} \quad (2)$$

式中
$$a = \frac{P_{\Sigma\Sigma}}{P_{\Sigma\Sigma}}, M_{\Sigma\Sigma} = P_{\Sigma\Sigma}C_{\Sigma\Sigma}$$

设 $a=0.95$ ，以及 $M_r \ll M_{\Sigma\Sigma}$ 和 $M_{\Sigma\Sigma} \ll M_{\Sigma\Sigma}$ ，对于很多元素来说，（2）式就可简化为：

$$K_i = \frac{C_{\text{xn}} - 0.95C_{\text{on}}}{C_{\text{xn}}} = \frac{M_{\text{on}} - M_{\text{xn}}}{M_{\text{xn}}} \quad (3)$$

就是说，沉积岩和原始结晶岩中某种元素克拉克值的相对差异，决定着沉积矿床的存在概率（当 $C_{\text{xn}} > 0.95C_{\text{on}}$ 时）或沉积岩系中火山物质的存在概率（当 $C_{\text{xn}} < 0.95C_{\text{on}}$ 时）^[72]。

按照（3）式计算的结果列于表3，表中，元素按 K_i 值递减顺序排列，并划分为四种类型。

元素按其在沉积岩 (C_{on}) 和岩浆岩 (C_{xn}) 中克拉克值的比例的分类

表 3

$$K_i = \frac{C_{\text{xn}} - 0.95 C_{\text{on}}}{C_{\text{xn}}} \times 100\%$$

K _i 值 区 间 (%)		元 素	元素类型
从	到		
+ 100	+ 50	Ta, Ga, Na, In, Sc, Nb, Ge	I
+ 50	+ 20	Ti, P, Co, Sr, Y, Ba, TR, V	
+ 20	+ 10	Au, Si, Mg, Al, Cu, Fe, Mn, K	
± 10		Th, Ag, Hf, Zr, O, Tl, Ni, Zn, Cr	II
- 10	- 20	Bi, Rb, W, Ca	III
- 20	- 50	F, Pb, U, Cd, Cs,	
- 50	- 100	Be, Mo, Li, La	
- 100	- 200	Sn	
- 200	- 500	Hg, I, Sb, As	IV
- 500	- 1000	S, Se, B, Cl	
	- 1000	Br, C	

第一种类型的元素在沉积岩系中短缺，但或者因有沉积成因的大型矿床存在，或者因聚集在水圈之中，而应当得到补偿。后一种推测仅仅针对钠和镁才在某种程度上可以证明是正确的，而就其余元素而言，前一种推测则更有依据。的确，这种类型的许多元素主要是沉积矿床特有的。分散元素（Ta、Ga、In、Nb、Ge、Y）和稀土元素在这种类型中所处的位置稍微有点不寻常。

这可能是因为，在测定岩浆岩或沉积岩中一些元素的克拉克值时出现了误差，使其中的某些元素落入了第一种类型，但这未必是主要原因。看来，最好在准确测定克拉克值的同时，进行关于在沉积建造中寻找这些元素的矿床方面的研究。

第二种类型是弱分异元素，其 K_1 值处于 $\pm 10\%$ 之间。氧在这种类型里居中，其数量的95%组成结晶岩石和沉积岩。从实质上说，正因为氧处于这样的位置，才能够用“克拉克值法”来估计不同化学元素迁移当中的平衡。

第三种类型的元素在沉积岩系中的克拉克值较高，这在某种程度上可能是因为，最富含这类元素的岩石圈花岗岩层的上部层位，其中包括主要在侵入岩体内接触带发育的内生矿床，遭到了剥蚀。也不排除这种可能性，即这类元素被岩浆期后溶液或者火山物质带入沉积盆地的沉积岩系中。这种类型的多数元素（14种之中的10种）属于酸性和中性岩浆的元素，这一事实便是这种推测的最好注脚。

第四种类型的元素明显聚集在沉积岩系中，而这可能是由于火山物质带来所致，能够证明这一点的，就是落入这种类型的元素的清单本身。值得注意的是，对于这类元素来说，随着 K_1 的绝对值增大，典型沉积矿床的作用也增大。

二、岩石圈中化学元素存在的主要形式和形态

在岩石圈中化学元素存在形式和形态异常多样化的情况下，从金属矿床地球化学普查方法的实际出发，最好从两个方面，即从元素性状的定性特征和定量特征方面来对这一问题进行研究，为此必须相应地区分矿物形式和非矿物形式、集中形式和分散形式。

1. 矿物形式和非矿物形式

矿物形式

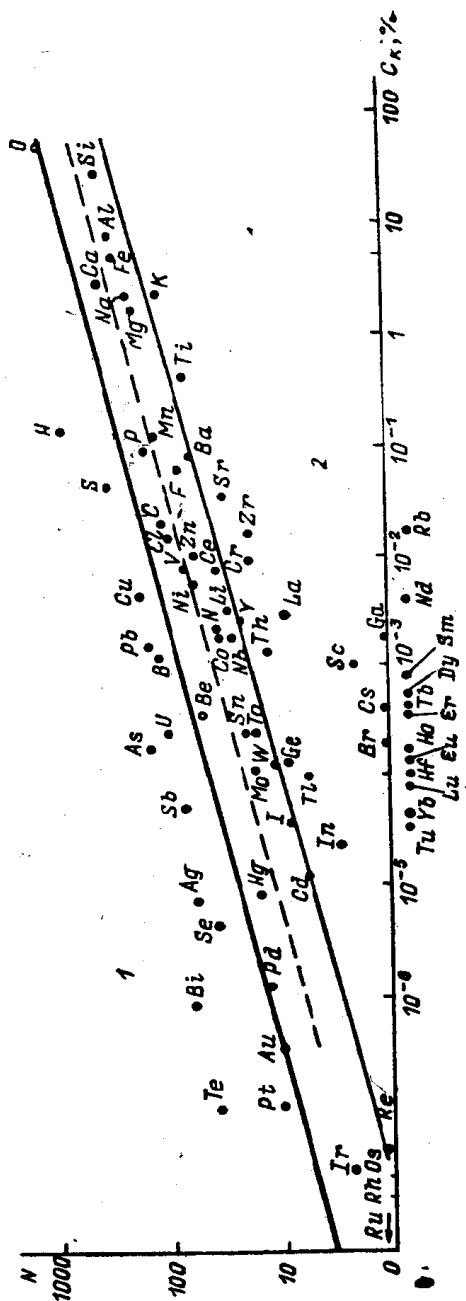


图 3 元素的自身矿物数 (N) 与岩石圈中元素的克拉克值 ($C_K, \%$) 的关系

1—亲矿物元素 (Bi, Sb等); 2—疏矿物元素 (Sc, Ga等)

目前已知有 3000 种左右不同成分的矿物。与人造化合物相比，矿物界的种类要少得多。其原因之一，是很多元素的克拉克值很低。许多作者，如 A. A. 萨乌科夫、A. Г. 别捷赫琴等，都注意到了某种元素形成矿物的能力和它在岩石圈中的克拉克值之间的直接关系。

图 3 反映的是元素的自身矿物数同岩石圈中元素的克拉克值之间的相关区。只要作相应的处理，就能说明存在下列形式的密切的相关关系：

$$N = 200 \sqrt{C_x} \times 1.5^{\pm 1} \quad (4)$$

能形成比从 (4) 式中求出的数目更大的矿物种数的元素，可以称为亲矿物元素，而能形成比从 (4) 式中求出的数目小的矿物种数的元素，则可以称为疏矿物元素。元素的亲矿物性或疏矿物性决定于很多因素，其中起主要作用的是元素的化学性质、类质同像和矿物形成作用的物理化学条件。

性质相同、离子结构相似的而在原始的熔融体或溶液中浓度不同的元素，具有类质同像现象：浓度较低的元素将进入由浓度较高的元素构成的晶体格架。而如果此种元素在周围介质中找不到离子大小和结构均与其相似的“主要元素”，那么它在结晶时就会形成独立的化合物。

各种矿物在岩石圈中的丰度，可用以下数据加以说明：岩石圈 98.7% 是由氧的化合物组成的，其中 80% 为硅酸盐，17% 为氧化物，1.7% 为碳酸盐。其余 22 类矿物（硫化物及其类似矿物、卤化物等），总共只占岩石圈重量的不到 1.5%。

A. Г. 别捷赫琴从成因角度对矿物的分布做了分析（1951 年），他指出，在高温高压条件下生成的火成岩中矿物种类数最小，岩浆期后产物中的矿物数目要大得多，而外生条件下生成的矿物数目最大。

非矿物形式

岩石圈中化学元素存在的非矿物形式分布非常之广，而对于一系列元素来说它是唯一的形式，因为这些元素的自身矿物在自