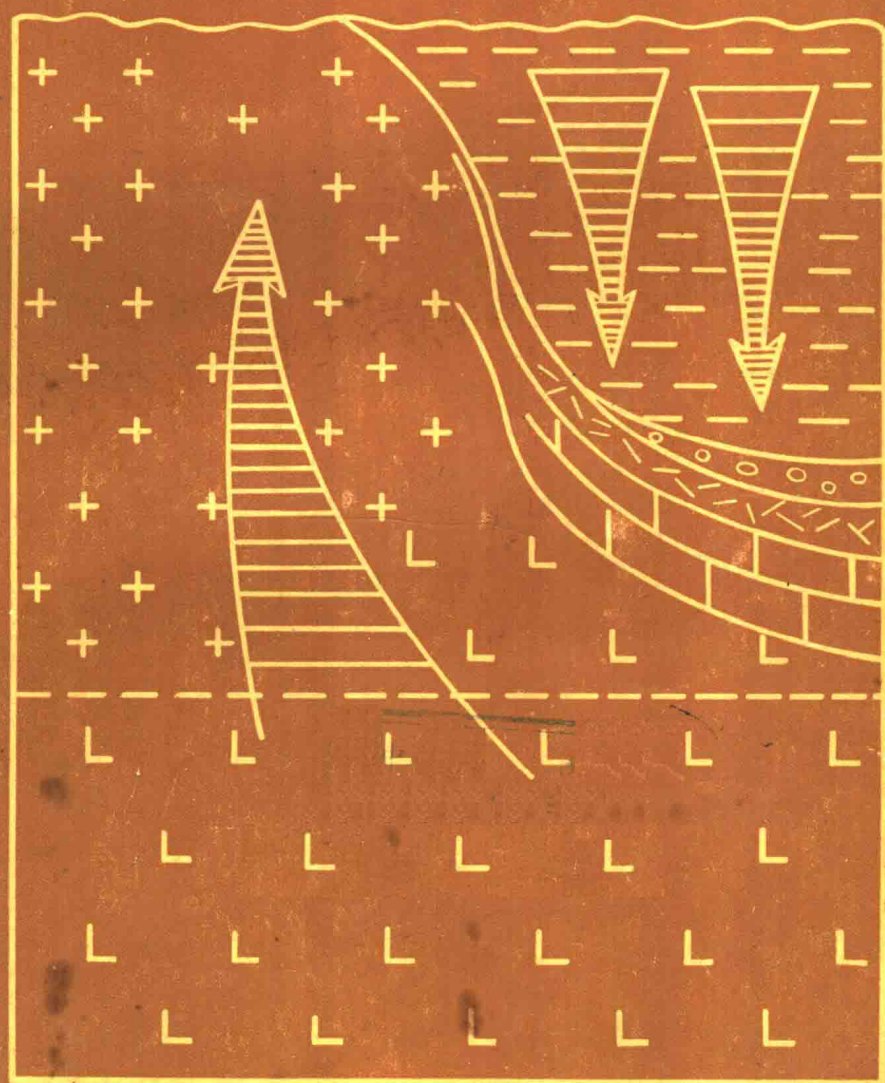


内生矿床的矿质来源

В. И. 斯米尔诺夫等 著



570311

ME

地质出版社

内生矿床的矿质来源

В. И. 斯米尔诺夫等 著

秦国兴 张国容 译

地质出版社

内 容 简 介

本书是1974年12月举行的一次矿床问题讨论会的文集,共收集二十二篇论文。主要讨论内生金属矿床的矿质来源及有关问题。作者们对这些问题作了理论上的探讨,还提供了一些实际资料。本书论述了地壳不同构造单元、不同发展阶段矿质来源的特点和演变;分析了若干矿床的成因特征和矿质的可能来源;提出了花岗岩的稀有金属地球化学分类及各类的潜在含矿性;阐述了含矿溶液产生的物理—化学条件和识别矿质来源的同位素研究方法。

应该指出,研究内生金属矿床的矿质来源问题,对发展内生成矿理论,指导找矿评价实践都有重要意义。作者们对矿质的深部岩浆来源给予了很大的注意,但对其它来源的作用却有些估计不足。内生金属矿床的矿质来源问题,是成矿作用中最复杂的问题之一,迄今为止这一问题还远未解决,仍然是今后应予广泛关注的重大课题。

本书可供我国野外地质工作者、有关科研人员及地质院校师生参考。

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО РУДООБРАЗОВАНИЮ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПЕТРОТРАФИИ
МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ИСТОЧНИКИ
РУДНОГО ВЕЩЕСТВА
ЭНДОГЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1976

内生矿床的矿质来源

В. И. 斯米尔诺夫等 著

秦国兴 张国容 译

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: $787 \times 1092^{1/16}$ • 印张: $12^{5/8}$ • 字数: 298,000

1981年3月北京第一版 • 1981年3月北京第一次印刷

印数1—2680册 • 定价2.40元

统一书号: 15038 • 新591

前 言

1974年12月，在莫斯科召开了全苏关于《内生矿床的矿质来源》问题会议。会议是按照苏联科学院地质机构和苏联地质部的联合工作计划举行的。

参加会议的有代表地质科学各个领域的 500 多名专家。本论文集就是这次会议上所听取的各篇报告的汇编。参加讨论的有：A. A. 科瓦列夫，Г. М. 查里捷，И. Н. 戈沃罗夫，Л. И. 戈尔热夫斯基，М. Г. 鲁布，Б. Л. 弗列罗夫，В. Н. 沃尔科夫，М. П. 沃拉罗维奇，И. П. 伊卢平，И. Ф. 罗曼诺维奇，В. Н. 柯特利亚尔，Л. А. 米罗什尼钦科，А. М. 查谢达捷列夫，В. А. 涅夫斯基，Ю. А. 多尔戈夫，Т. Н. 沙德隆，И. Н. 基加依，А. А. 奥博连斯基，Л. Н. 格里年科等。会议对内生矿床的矿质来源问题提出了一些建议，并指出了进一步研究的途径。

会议材料表明，大多数研究者认为存在着好几种矿质来源。向读者推荐的这些论文探讨了不同类型的矿质来源在地壳的地质历史过程中所起的相对作用，阐明了大洋地区、大陆上和过渡带中，在地壳发展的不同阶段（地槽阶段、造山阶段、过渡阶段、地台阶段、构造-岩浆活化阶段）矿质来源的特点。对于含矿溶液从岩浆熔融体中分离的条件、岩浆流体和含盐渗流热液从岩石中汲取矿质以及岩石变质时矿质的运移活化等问题均极为注意。文章中列举了对裂谷带中的现代热液及其含矿性和矿化现象进行研究的结果，以及研究现代火山区喷气活动和热液流活动的结果。此外还阐明了对于查明矿质来源有重要意义的硫、氧、碳、铅、锶、氢和其它一些化学元素的同位素组成的变化。

本书援引的揭示具体矿床及其成因类型的物质来源的资料，具有重要意义。此外，必须指出，这些问题还远未解决，为此，今后还需要作很大努力。

会议决议中提出了关于这一问题今后进一步的研究方向，主要有以下几点。

1. 对查明不同地质条件下矿质和含矿溶液与某一类来源之间关系的各种方法的可靠性和适用性作出评价，并且制定新的方法。

2. 查明各种成因类型的内生矿床的矿质和含矿溶液的来源。

3. 查明地幔来源的矿床在内生矿床形成中所起的作用。

4. 查明岩浆熔融体作为内生矿床可能的矿质来源所起的作用。

5. 查明矿质从火成岩和沉积岩中带来的可能性。

6. 研究地下水在矿质富集和搬运过程中所起的作用。

7. 对矿质从熔融体和岩石中的浸出作用、矿质的搬运作用以及在金属矿床中的富集作用进行对比研究。

8. 查明大陆上、大洋地区和过渡带中内生成矿物质来源的特点，确定大陆范围内地槽和地台阶段及其各个时期（包括地槽期、造山期、过渡期、地台期和活化期）成矿物质来源的特征。

会议决议强调指出，关于内生矿床矿质来源问题的所有这些研究以及研究结果的综合，必须严格地根据历史发展过程来进行，因为这样才有可能查明矿质和含矿溶液来源在地

球的地质发展不同阶段上的演变规律。

顺利解决上述有关“内生矿床矿质来源”的一些问题，能为进一步发展内生成矿理论作出重大贡献，也能为评价个别地区的潜在含矿性揭示崭新的可能性，从而有助于扩大苏联的矿物原料基地。

目 录

内生金属矿床的矿质来源在地壳发展历史过程中的演变	B. И. 斯米尔诺夫 (1)
论矿质的地幔来源及其在某些矿床的形成和分布中所起的作用	B. Л. 巴尔苏科夫, Л. В. 德米特里耶夫 (6)
岩浆作用及其与内生成矿作用的关系	Г. Д. 阿法纳西耶夫 (17)
花岗岩类岩浆是内生矿床的矿质来源	Л. В. 塔乌松 (24)
构造-岩浆活化区中的矿质来源	А. Д. 舍格洛夫 (32)
变质成矿过程中的矿质来源	Я. Н. 别列夫采夫 (36)
△ 论某些矿床物质的非岩浆性质	Ф. В. 丘赫罗夫 (47)
△ 内生矿床的矿质来源及其判别准则的可靠性	Л. Н. 奥甫钦尼科夫 (55)
· 同位素和矿质来源	А. И. 图加林诺夫 (68)
△ 含矿溶液产生的物理化学条件和矿质来源问题	А. А. 马腾库舍夫 (84)
△ 对含矿溶液从花岗岩浆中分离条件的物理化学分析	И. Д. 里亚布契科夫 (97)
某些内生矿床与火山-深成建造关系的岩石-地球化学准则	А. М. 博尔苏克 (104)
△ 根据热液流的热平衡估计热液来源的深度	Г. О. 皮洛扬, А. А. 彼克 (120)
△△△ 元素在岩浆作用和热液作用过程中的聚集顺序和强度—矿质来源的标志	В. И. 列哈尔斯基 (134)
内生铀矿床矿质来源的演变	В. И. 卡赞斯基, Н. П. 拉维罗夫, А. И. 图加林诺夫 (144)
铬铁矿矿床的矿质来源	Н. В. 巴甫洛夫, И. И. 格里戈里耶娃 (150)
论岩浆期后磁铁矿矿床的成矿物质来源	Г. А. 索科洛夫, Л. И. 巴甫洛夫 (154)
论内生矿床中稀有元素的来源	А. И. 金兹堡 (160)
△ 层状低温铅锌矿床中金属的可能来源 ...	Ф. И. 沃尔弗松, В. В. 阿尔汉格尔斯基 (169)
最重要的内生非金属矿床的物质来源	В. П. 彼特罗夫 (175)
内生金矿床的矿质来源	Н. В. 彼特罗夫斯卡娅, Ю. Г. 萨弗诺夫 (181)
▽ 论远成热液矿床矿质的可能来源	В. П. 费多尔丘克 (189)

内生金属矿床的矿质来源 在地壳发展历史过程中的演变

В. И. 斯米尔诺夫

摘要 本文指出, 内生金属矿床的矿质来源分为三大类: (1) 与玄武岩类岩浆有关的壳下原生源; (2) 与花岗岩类岩浆有关的地壳同化源; (3) 非岩浆的渗滤源。在地壳演化过程中, 各类来源的比重发生了显著变化。本文对大陆上、大洋中和过渡带内的成矿物质来源分别作了详细说明。

到目前为止, 内生金属矿床的矿质来源问题只是在评价来源的类型方面进行过研究。内生金属矿床的矿质来源目前公认有三类。第一类是与玄武岩浆有关的壳下原生源, 第二类是与花岗岩浆有关的地壳同化源, 第三类是非岩浆渗滤源 (斯米尔诺夫, 1969 年)。现在已到了探索这几类内生来源在地壳发展历史过程中演变情况的时候了。这方面的研究表明, 内生金属矿床这三大类原始物质的比例, 无论对于不同类型的矿床来说, 还是对于地壳及其最主要的全球性单元的形成历史的各个阶段来说, 都是不同的。

内生成矿物质来源在地壳发展 历史过程中的演变

在地壳及其含矿性的发展历史中可以划分出九个与地质旋迴一致的成矿期, 它们是: (1) 太古代成矿时期 (距今 35 亿—25 亿年), (2) 早元古代成矿时期 (距今 25 亿—18 亿年), (3) 中元古代成矿时期 (距今 18 亿—16.5 亿年), (4) 晚元古代成矿时期 (距今 16.5 亿—9 亿年), (5) 里菲成矿时期 (距今 9 亿—6 亿年), (6) 加里东成矿时期 (距今 6 亿—4 亿年), (7) 海西成矿时期 (距今 4 亿—2.25 亿年), (8) 基米里成矿时期 (距今 2.25 亿—1 亿年), (9) 阿尔卑斯成矿时期 (距今 1 亿—0 亿年)。

众所周知, 在太古代形成了原始地壳, 它主要是在区域变质作用和交代作用的影响下形成的, 原始地壳没有地槽和地台之分, 而且不存在明显的典型岩浆作用。

此时, 主要由变质作用造成的同化和渗滤来源的矿产占有优势。

到元古代, 区域变质作用仍然起着重要作用, 但已经产生并发展了地槽, 地槽中出现了玄武岩类和花岗岩类的岩浆活动。成矿物质来源的种类扩大了, 而且变得比较多样化。这一时期的重要特点是在地槽内和地台上产生了特殊的层状沉积岩系和火山-沉积岩系, 其中含有大量的分散状成矿物质。于是便形成了最早的陆源硅酸盐岩系, 其中含有巨大数量的分散状的铀、金、铜和钼, 稍后则出现溶液沉积和生物成因的碳酸盐岩系, 其中含有

亦呈分散状态的铅以及一部分锌、钨和氟的庞大资源（克罗斯科普夫，1971年；特瓦尔契列利捷，1970年；图加林诺夫，1956年）。此后，这些广泛分布的含矿岩系便成为形成一系列同化和渗滤成因的矿床的重要基础，尤其是成为形成铀、铅和锌、铜矿床，可能还有铝、金和其它一些金属矿床的重要基础。从里菲期开始，成矿物质的来源发生进一步的分异。起初，玄武岩类来源所起的作用逐渐增大，然后，从基米里期开始，花岗岩类成矿来源明显地超过了它。

如果要确定内生矿床各类矿质来源所起的相对作用的话，那末关于这点可以提出以下一些看法（图1）。在太古代和元古代初，地壳的花岗岩有一部分尚未发育成熟，玄武岩类岩浆产物在金属矿床的成分中理应占有优势。但奇怪的是，在这些早期阶段，它们很少出现。造成这种情况的原因可能是由于地质历史早期阶段玄武岩类分异很差的缘故，没有分异作用就不可能形成包括金属矿床在内的任何岩浆派生物。以后，随着玄武岩类分异程度的增高，金属矿床中原生的玄武岩类来源的物质也逐渐增多，而且到海西期达到最大数量，而往后则又减少。

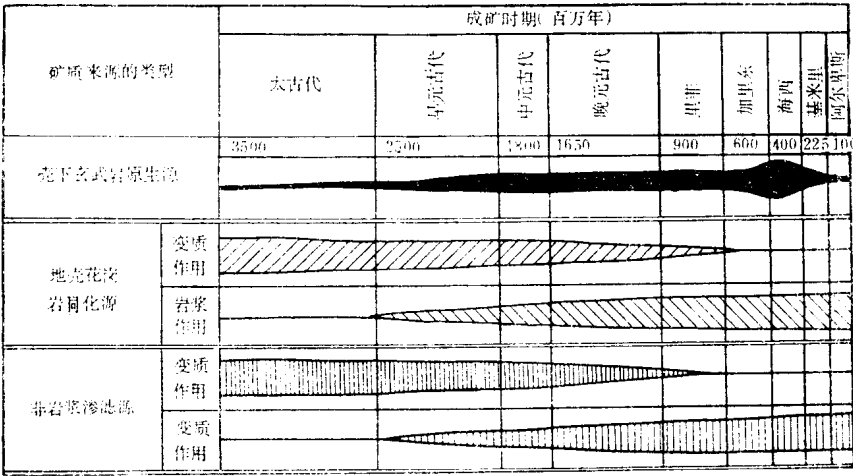


图 1 内生成矿物质来源在地壳发展历史过程中的演变

整个太古代和元古代，同化源最初在很大程度上与全球性变质作用形成的深熔花岗岩和再生花岗岩有关，以后一直到阿尔卑斯期，岩浆花岗岩（包括地槽型和地台型花岗岩）在其中起着越来越大的作用。

在地质历史的早期阶段，渗滤源中以变质源为主，而在晚期阶段，则主要是非变质源，后者是由于不同成因的热水溶液渗滤过包括未变质岩石在内的各种岩石时从其中提取了成矿物质而造成的。

大陆、大洋和过渡带中内生矿床的物质来源

对地壳三大全球性构造——大陆、洋底火山岩以及它们之间的过渡带——中成矿物质的来源的研究，揭示出这些构造中各种矿质来源的比例关系有很大不同。大陆上内生矿床的成矿物质来源最为多种多样（图2）。这种比例关系可以在一个成矿旋迴范围内加以确

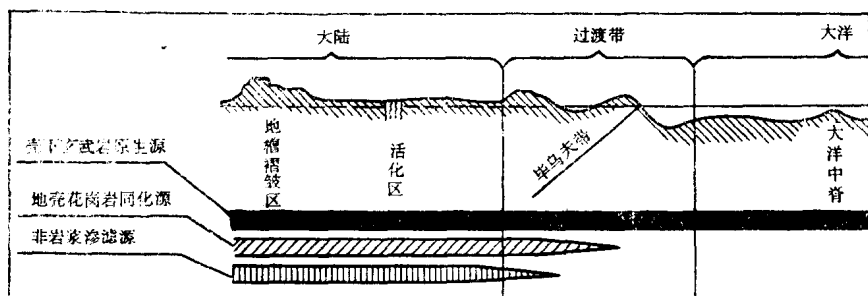


图 2 地壳全球性构造中的内生成矿物质来源

定，成矿旋迴分为地槽和地台两个阶段，而后者又可分为一系列地质发展和成矿作用期。

在地槽阶段早期产生四种岩浆建造和与其共生的岩浆矿床：(1) 含岩浆型铬铁矿矿床的橄榄岩建造；(2) 含岩浆型钛磁铁矿矿床的辉长岩建造；(3) 含矽卡岩型铁、铜矿床的斜长花岗岩建造；(4) 含黄铁矿型铜、锌、铅矿床的海底火山细碧角斑岩建造。对上述矿床的物质来源进行多方面研究表明，它们都是原生的并且与壳下玄武岩浆有关。

在地槽阶段的中期形成两种岩浆建造（亚建造）和与其有关的标型矿床：(1) 含矽卡岩型和热液型钨、钼矿床的花岗闪长岩建造；(2) 含伟晶岩型、钠长岩型、云英岩型和高温热液型锡、钨、锂、铍矿床的花岗岩建造。与地槽阶段早期不同的是，这些物质都只是地壳花岗岩浆的派生物。

在地槽阶段晚期，也形成两种主要的岩浆建造和与其有关的内生金属矿床：(1) 含有深成热液型有色金属、稀有金属、贵金属和放射性金属矿床的浅成小侵入体建造；(2) 含有火山热液型有色金属、稀有金属、贵金属和放射性金属矿床的安山-英安岩地面火山建造；这一时期形成的矿床含有所有三类来源的物质。

地台阶段的活化期能形成所有三类来源的金属矿床。与下列地台阶段岩浆岩建造有关的矿床，其矿质均来自壳下玄武岩原生源，这些建造是：(1) 含金刚石的金伯利岩建造；(2) 含碳酸岩的超基性碱性岩建造；(3) 含岩浆型铜-镍硫化物矿床的暗色岩建造。据推测地壳花岗岩同化源形成以下两种建造：(4) 含稀有金属和稀土金属矿床的碱性岩建造；(5) 含热液型锡、钼、钨、萤石等矿床的花岗岩建造。非岩浆型层状铅、锌、铜、重晶石、萤石矿床具有渗透源。

这样，在地槽阶段早期和地台阶段活化期的玄武岩类岩浆活动时期，依靠壳下原生物质形成了许多很特殊的内生矿床。在地槽阶段中、晚期的花岗岩类岩浆活动时期，以及在地台阶段活化期的花岗岩浆活动带中，在有地壳岩浆同化物质供给的情况下，也形成了一些十分独特的内生矿床。作者以前曾经指出，玄武岩类矿床产生于地壳的引张阶段和引张环境下，而花岗岩类矿床产生于地壳的挤压阶段和挤压环境下（斯米尔诺夫，1969年）。

渗透来源在地槽阶段早期表现得不明显，但以后它们所起的作用逐渐增大，而到地槽阶段末期、由地槽向地台转化时期以及在地台状态下，它们对于深部成矿作用具有最重要的意义。

如果说，地台上内生金属矿床的形成利用了一切可能来源的成矿物质，那末，大洋底部内生金属矿化的产生则仅仅是依靠了地幔玄武岩类原生源的物质。

在大洋中可以划分出三个主要的构造单元：(1) 大洋板块，(2) 大洋中脊，(3) 横向

转换断层。在这些构造中都不存在可靠的老于中生代中期的大洋岩。所发现的较老的岩浆岩乃是大陆的沉没地段。因此，在大洋中不象在地球的大陆部分那样能对岩浆活动和成矿作用从老到新的演变情况进行考察，而只能说那里存在着唯一的年轻的阿尔卑斯岩浆作用时期以及可能与其有关的含矿性。

大洋底部和大洋内部岛屿上发育的岩浆岩只是一些年轻的玄武岩类岩浆的产物，这与大洋地壳剖面中缺乏花岗岩层这样一种情况是完全一致的。在火山岩中占明显优势的是玄武岩——从暗色橄榄拉斑玄武岩到不含橄榄石的浅色碱性变种。在深成岩中以斜辉辉橄岩为主，有的地方它们与纯橄岩、辉长岩和粗玄岩共生。因此，在洋底可能有的内生金属矿床中，不存在成矿物质属岩浆同化来源的所有亲花岗岩的金属矿床。到目前为止，在洋底岩石中尚未发现内生金属矿床。在大洋和岛屿上的玄武岩类岩石中，只发现了黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿、钛铁矿、磁铁矿、多水硼锡铁矿和锡石的一些局部的浸染体。这些矿物中硫同位素的变化符合于陨石的标准并且证明硫来源于地幔。有趣的是，大量洋底矿石结核中包含的一些主要元素，如铁、锰、铜、镍、钴，所形成的组合，也正是玄武岩类岩浆的典型元素组合。

由大洋到大陆的过渡带从划分成矿物质来源的角度来看是很有意义的。决定过渡带地质构造、岩浆活动和成矿作用特点的最重要的区域性单元是毕鸟夫带。众所周知，毕鸟夫带伴随有前缘深海沟、高出毕鸟夫带之上的火山岛弧，在岛弧后面分布着褶皱带。前缘构造发育于洋壳上，而后边的构造则发育于陆壳上。前缘构造上出现与优地槽发展早期阶段相当的玄武岩类岩浆活动和成矿作用，而在后边的构造上出现与地槽发展阶段的构造-造山运动时期相当的冒地槽型花岗岩类岩浆活动。在过渡带的前缘部分，形成岩浆型铁、铬、钛和黄铁矿型矿床，它们属于地幔原生矿质来源的玄武岩类系列。随着向过渡带的后部转移，出现和发育了矿质来自同化花岗岩类的岩浆期后有色金属和稀有金属矿床，例如锡和钨矿床。

在探讨大洋和大陆之间过渡带的成矿物质来源问题时，不能不谈谈“板块构造”说对内生金属矿床产生条件所作的解释，因为许多人正是针对这种环境才提出“板块构造”说的（新全球构造，1974年）。大家知道，持板块构造观点的人认为，大洋与大陆边界上发生的所有岩浆活动和内生成矿作用都是由洋壳从毕鸟夫带下盘朝陆壳下面不断倾没而造成的，是由于“俯冲消亡”，沉没的物质随后发生重熔以及这些物质以水下、地表和地下岩浆作用（深成岩浆作用、次火山作用、火山作用）的形式出现的结果，在岩浆作用下产生了过渡带所固有的一整套金属矿床。大家知道，对过渡带中的火成岩和岩浆矿床提出这样奥妙的形成机制并没有实际材料作为依据，它完全是想象出来的。这种观点与一系列资料是矛盾的。

1. 对作用的能量方面根本没有进行详细研究。据认为，为毕鸟夫带下面岩浆熔融所需要的能量可以由洋壳向陆壳下面移动时出现的摩擦力而产生。但是对此并没有进行任何认真的计算。

2. 完全没有深入研究作用的岩石学特点。它没有考虑到呈玄武岩、辉长岩和橄榄岩出现的玄武岩类物质，插入到陆壳下部实际上同样也是玄武岩成分的物质中（含有水化物的蛇纹岩可能除外）。这些物质的相互作用不能产生岛弧上的安山质火山作用，而且也不能产生后带内存在的英安岩和流纹岩成分的岩浆岩。

3. 没有仔细研究作用的成矿方面。据认为，过渡带中岩浆矿床的金属来源是俯冲消

亡时被带入大陆底下的含铁锰结核的洋底薄薄的沉积层。但是，第一，这种现象是没有被证实的，其次，洋底沉积层的物质不能形成过渡带所有的各种各样的金属矿床，尤其是不能形成沉积层成分中不存在的那些亲花岗岩金属的矿床。

4. 根本没有详细研究作用的地质方面。连续和单调的俯冲消亡机制无论如何不能导致过渡带的岩浆作用和成矿作用具有旋迴性发育的特点，不能引起岩浆作用和成矿作用的演变及其定向发展。

5. 利用板块构造观点来解释成矿规律时，根本无法说明从大洋到大陆的过渡带范围之外的内生金属矿床的形成作用，例如，无法说明地台发生构造-岩浆活化时内生金属矿床的形成作用。

根据上述各点，对于板块构造假说是否能用来说明过渡带和其它地区的成矿特点以及金属矿床的成矿物质来源，是值得怀疑的。

论矿质的地幔来源及其在某些矿床的形成和分布中所起的作用

В. Л. 巴尔苏科夫, Л. В. 德米特里耶夫

摘要 本文根据对阿尔卑斯型超基性岩的研究指出, 原始地幔中金属元素的浓度很高, 并且推测, 在地幔物质发生选择性熔融的过程中, 大量金属会转移到液体中。文中指出, 这种现象在岛弧范围内表现最为明显, 而且古岛弧(后来已与扩张的大陆合并)的存在可以作为预测金属矿床分布的重要准则。

切割大洋中脊的转换断层中出露的大洋超基性岩主要代表地幔浅部和中深部的尖晶石岩相, 对此种超基性岩的相应资料进行对比研究, 可以获得关于地幔成分和含矿性的概念; 此外, 通过对玄武岩和金伯利岩(它们把地幔物质从深部带到地表)中所含超基性岩包裹体的有关资料进行对比研究, 也能获得这样的概念。

按照目前的认识, 上地幔由一套超基性岩组成, 其成分相当于纯橄岩、斜辉辉橄岩、二辉橄榄岩、各种辉石岩和榴辉岩。通常把二辉橄榄岩当作原始地幔物质, 二辉橄榄岩按其成分最接近于假设的地幔岩(пиролит), 而斜辉辉橄岩和纯橄岩则被看作为二辉橄榄岩熔离出玄武岩组份后的残余物。辉石岩成分变化很大, 毫无疑问, 它包括了不同成因的岩石。

下表列出构成地幔的各种岩石中一些金属元素丰度的资料。根据这些资料的分析, 可以作出一系列重要结论。首先, 与原始地幔岩(二辉橄榄岩)最近似的地幔超基性岩中, 亲石和亲铜金属元素的含量水平比以前根据阿尔卑斯型超基性岩中的含量所作的推测平均要高出1—2个数量级。这就大大增加了地幔作为矿质(其中也包括对基性和超基性岩浆来说一般并不具代表性的亲石元素)来源的潜在可能性。第二, 不能不指出, 在地幔的各种熔离后的残余岩石(纯橄岩、斜辉辉橄岩和顽火辉石岩)中, 相同的一些金属元素的含量有着重大差别。例如, 对于Sn、Cu、Zn和Hg来说, 它们在斜辉辉橄岩中的含量明显地高于在纯橄岩中的含量, 而对于W、Mo、Pb和Ag来说, 情况则刚好相反。这证明, 由于原始岩石和残余岩石成分的比例不同, 从地幔中熔离出来的玄武岩将在不同程度上富含这一类或那一类金属元素。第三, 在各种地幔岩石中, 石榴辉石岩最富含锡、铜、锌、汞和金。自然会产生这样的问题, 地幔所具有的成为矿质来源的潜在可能性能否实现或者这样的条件不会出现?

发生现代火山作用的大洋中脊和岛弧(至少是处于早期发展阶段的岛弧)为我们研究从地幔中熔离出来的没有受到硅酸盐地壳复杂影响的玄武岩类的含矿性提供了唯一的可能性。大洋中脊裂谷带中产生的玄武岩主要是拉斑玄武岩和高铝质玄武岩, 它们是地幔在不

各种地幔岩石中金属元素的含量

(以 $n \cdot 10^{-4} \%$ 计)

岩 石	Sn	Cu	Zn	Hg	W	Mo	Pb	Ag
二辉橄榄岩	3.8	47	124	0.075	2.8	—	4.6	0.076
斜辉辉橄岩	2.0	53	140	0.024	0.8	0.7	4.2	0.012
纯橄岩	0.6	24	6	0.012	1.2	2.0	6.8	0.035
石榴辉石岩	8.0	104	160	0.120	1.2	0.8	4.6	0.030
顽火辉石岩	0.2	11	—	0.068	—	—	—	0.003
超基性岩中的平均含量 (根据A.И. 维诺格拉 多夫, 1962年)	0.5	20	30	0.010	0.15	0.2	0.1	0.050

太深的地方(根据实验资料和地球物理资料估计为20—60公里)发生局部熔融而形成的。大洋玄武岩中金属元素的含量往往普遍很低,明显地低于它们在原始二辉橄榄岩和大陆玄武岩中的含量。例如,大洋玄武岩中Sn的含量(克/吨)只有0.5—1.0, Pb—2, Zn—40, U—0.2, 等等(德米特里耶夫, 1973年)。

似乎必定会作出这样的结论:当大洋中脊中熔出玄武岩时并没有从地幔中带出金属元素。虽然这样的结论实际上对于整个大洋中脊的裂谷带系统来说大体上是正确的,可是情况并非全然如此。

在毗邻岛屿和大陆的次大陆型地壳或大陆型地壳的不太长的裂谷带地段上,这种千篇一律的规则便受到破坏。例如,沿着从南、北两面与冰岛相连的雷基亚内斯和科耳本塞海岭分布的玄武岩,对其成分和含矿性进行研究表明,在这些海岭(为大西洋中脊的组成部分)与冰岛次大陆型地壳连结的地段,玄武岩中 K_2O 的含量增高,而Sn的含量甚至增高4—5倍(巴尔苏科夫等人, 1975年)。但是,看来,大洋中脊与次大陆型地壳连结地区的最有特点的特点是:中脊附近火山—沉积岩中的火山灰夹层金属含量异常之高。其中Sn的含量(克/吨)达到20以上, W—6, Mo—12, Cu—100, 等等。从雷基亚内斯海岭偏南部直到吉布斯东西向断裂系统所采集的火山灰物质经分析未发现其中存在偏高的金属含量。

由此可见,在一定的地质构造条件下,至少是在大洋中脊与次大陆地壳块段连结的狭窄地带中,地幔成为矿质来源的潜在可能性得以部分实现,而且金属元素主要是由次碱性玄武岩熔出时出现的气体—蒸汽相从地幔中浸出的,同时,浸出的不仅有亲铜成矿元素,而且还有一般来说并非基性岩浆所固有的亲石成矿元素。至于矿质的这种分离是否能导致形成金属矿床,目前还很难说,不过,在这些条件下矿质被带出的规模是十分可观的。

大洋盆地另一个极其重要的构造和构造—岩浆单元是岛弧。岛弧的地质发展历史,特别是岩浆发展历史,更为复杂和多样化。岛弧在其发展过程中的演变大致可以分为三个阶段。在第一个海底火山作用阶段中,通常喷出次碱性玄武岩和拉斑玄武岩。

第二阶段为地面火山作用和伴随其出现的海底火山作用阶段。在此阶段继续喷出拉斑玄武岩,但同时还出现安山玄武岩和安山岩。

第三阶段已是成年期阶段,除了继续发生安山玄武岩和安山岩性质的地面和海底火山作用外,还侵入了辉长—闪长岩、闪长—花岗闪长岩和英安岩成分的次火山岩体和侵入体。

岛弧发育过程中岩浆作用性质发生的基本变化大致便是如此，这种变化的原因可能是：岩浆形成部位逐渐向上转移；由于从被烤热较轻的岩浆的围岩中发生热扩散作用，在长期活动的壳下岩浆源中越来越多地聚集起水和其它挥发组份。

上面指出的岛弧发育过程中岩浆作用的变化仅仅是一般性的，对成年期岛弧上（千岛群岛、阿留申群岛等）实际观察到的现象进行分析后发现，这里岩浆作用的变化与该基本程式之间存在着十分有规律的差别。岛弧侧翼、大洋地壳向大陆地壳过渡的地段以及岛弧

内带沿着横切岛弧的深断裂，在岛弧发育的各个阶段上都发生了次碱性玄武岩的喷出作用（图1）。

如果考察一下玄武岩熔体沿着岛弧产生的部位和深度的话，那末在其后带向着震源面（Фокальная плоскость）倾斜方向）以及在其侧翼，随着接近次大陆的边界，这一深度将比在岛弧其它部分显著增大。

根据地球物理资料，在岛弧与次大陆地壳的连结地段，玄武岩类熔体产生的深度下降到100—150公里，也就是说甚至在岛弧发育的成年期阶段，这种深度仍然保持在以辉石岩成分为主的地幔深度上（格林，林格伍德，1968年^{1,2}；杰克逊，赖特，1970年）。看来在岛弧发育的开始阶段，次碱性玄武岩的形成也与这种深度上发生的熔融作用有关，例如在夏威夷群岛和裂谷带与次大陆地壳连结地带所见到的那样。但是，如果次碱性玄武岩是从辉石岩地幔中熔出的话（地球物理资料、实验资料和计算资料证明，看来这是可能的），那末这就不可避免地会导致在岩浆源中聚集起堆积岩（Кумулянт），后者在成分上与二辉橄榄岩熔出了玄武岩之后的残余物有所不同。如果说从二辉橄榄岩中熔出玄武岩之后的残余物是斜辉辉橄岩和纯橄岩，那末当次碱性玄武岩从辉石岩中熔出时，象计算所表明的那样，堆积岩将是成分与石榴辉石岩相当的岩石，其中顽火辉石和橄榄石的含量高于原始含量。夏威夷群岛上石榴辉石岩的团粒只出现于碱性橄榄石玄武岩中，而在其它玄武岩类岩石中没有发现（杰克逊，赖特，1970年），这一事实直接说明次碱性和碱性玄武岩形成的机制是类似的。从实验资料来看（贝尔，戴维斯，1964年，栲代，1974年），次碱性和碱性玄武岩的出现可能与在常压下温度增高时透辉石中硬玉分子及其含钾类同物溶解度的减小有关，不过，有一部分次碱性和碱性玄武岩

固定在所形成的堆积岩中，而且发生熔融的深度越大，压力越高或者离岛弧翼部边缘越远，那末次碱性玄武岩类熔出得越多。

因此我们有充分根据推测，在岛弧上（在其翼部以及在其内部的个别地段，沿着横切岛弧的断裂），在火山作用发育过程中，在深部发生着石榴辉石岩的大规模聚集，这一点对于我们来说有着重要意义，因为这种岩石的含矿量大大高于其它地幔产物。石榴辉石岩中

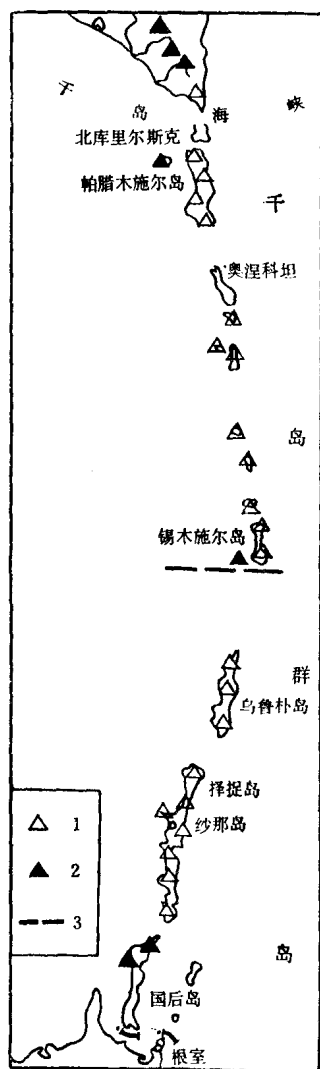


图1 千岛岛弧上火山的分布和火山作用的性质
1—拉斑玄武岩和安山玄武岩；
2—次碱性玄武岩；3—横断裂

Sn 的含量 (以克/吨计) 达到 10—12, Cu—150, Hg—0.12, Zn—160, Au—0.029 和 B_2O_3 —120。岛弧上形成的玄武岩类的含矿性, 明显地是硫化物型和多金属型的 (Cu 和 Zn 的含量为 75—85 克/吨), 实际上已知有许多夏威夷型、别子型、黑矿型等的块状硫化物矿点和矿床, 其形成与这类岩石有关。在岛弧发育的第三阶段, 主要在其翼部, 还发现一些与闪长岩和英安岩次火山岩体有关的铜、汞、金和锡矿点 (密阿斯赫罗, 1974 年)。但是大型的金和锡矿床通常形成于地壳这些地段地质发展的较晚期阶段, 即在这些地段与大陆结合之后, 当发生断块作用和构造-岩浆活化作用时, 这些作用导致了闪长二长岩类和英安流纹岩的岩浆活动 (舍格洛夫, 1968 年)。金矿床与英安流纹岩岩浆作用, 而硫化物-锡石矿床与闪长二长岩类岩浆作用和英安岩岩浆作用存在着时间和空间上的联系, 这是众所周知的事实。

岩石化学图上代表这些岩浆岩成分的点, 分布在彼列安山英安岩杂岩和圣弗兰西斯科粗面安山岩杂岩的标准曲线之间, 这表明它们的原始熔融体具有粗面安山岩成分 (巴尔苏科夫, 德米特里耶夫, 1972 年)。安山岩和粗面安山岩熔融体的成因仍然是最复杂和最 有争议的问题之一, 尽管目前实际上大家都公认它们来自地幔。近年来格林和林格伍德 (1968 年) 所提出的碱土质熔融体形成的双阶段模式 (由于沉没到地幔中的榴辉岩块体发生部分熔融) 已广泛地被人们所接受, 虽然他们所提出的榴辉岩块体从地壳中脱离并且由于密度的微小差异 ($\Delta\rho=0.15$ 克/厘米³) 而沉降的机制经常引起怀疑和遭到反对。

同时, 实验数据 (格林, 林格伍德, 1968 年 1, 2) 和岩石化学计算证实了当成分相当于榴辉岩的岩石发生部分熔融时, 有可能产生安山岩浆和粗面安山岩浆。如果注意一下 A—S 图 [图中 $A=Al+Ca+Na+K$, 而 $S=Si-(Mg, Fe')$, (图 2)], 那末可以看出, 石榴辉石岩的成分落到橄榄榴辉岩成分区中。正如我们已指出的那样, 石榴辉石岩可以在次碱性玄武岩熔出过程中形成, 而且对于它们存在于古火山带翼部的地幔深度上, 不需要再引入任何补充的机制。此外, 闪长二长岩浆作用有规律地发生于古火山带的翼部, 也就是

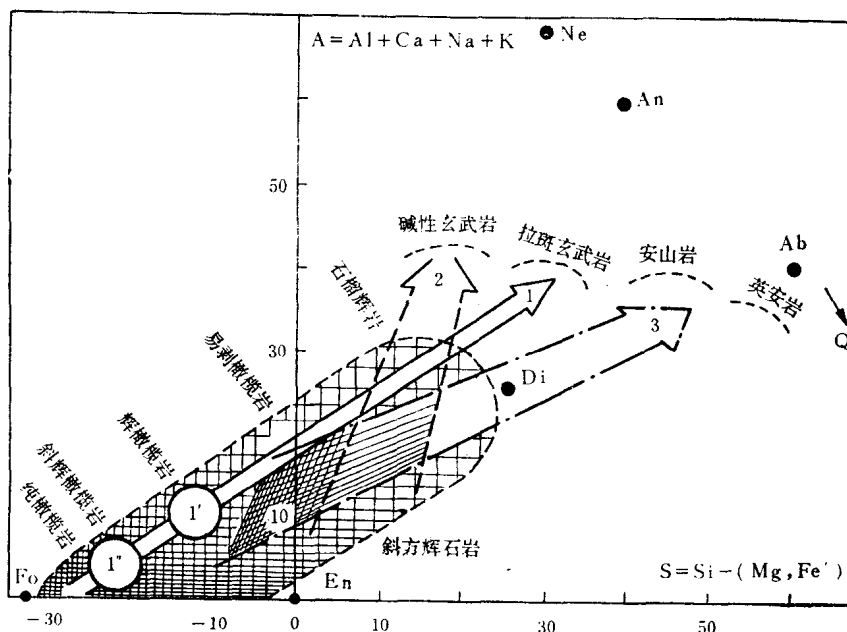


图 2 A—S 坐标上 (原子%) 主要岩石类型的成分区
注: 图中辉橄榄岩应为二辉橄榄岩

发生在古火山弧发育过程中聚集石榴辉石岩的地幔地段，由此可以看出它们的因果关系。

岩石的化学计算结果示于图 2 中，这些结果证实石榴辉石岩发生部分熔融时原则上有可能形成二长岩类。编制图 2 所根据的材料，实际上包括了有关大洋、大陆超基性岩的成分，金伯利岩和玄武岩中包裹体的成分，以及玄武岩、安山岩、英安岩和二长岩类的平均成分的所有资料——几千个单独成分和平均成分（博布里耶维奇等人，1959 年；博布里耶维奇等人，1964 年；布罗夫，1965 年；捷尼索夫，1970 年；德米特里耶夫等人，1972 年；伊佐赫，1964 年；基谢列夫，密德维捷夫，1969 年；库托林，弗罗洛夫，1974 年；马拉霍夫，1960 年；皮努斯，柯列斯尼克，1966 年；萨尔萨德斯基，1970 年；索博列夫 B. C.，索博列夫 H. B.，1964 年；索博列夫，库兹涅佐娃，1965 年，1966 年；索博列夫，1974 年；索博列夫等人，1969 年；弗兰策松，1968 年；阿维阿斯，1955 年；比森，杰克逊，1970 年；查利斯，1965 年；科尔曼，1966 年；卡斯韦尔，道森，1970 年；道森等人，1970 年；德宁弗布格，1969 年；福布斯特，久野，1965 年；格林，1963，1964，¹1967 年；霍姆斯，1937 年；哈奇森，1971 年；杰克逊，赖特，1970 年；久野，青木，1970 年；栉代，青木，1968 年；克鲁科夫，1966 年；库托林，弗罗洛娃，1970 年；朗格等人，1971 年；希林，1973 年；威廉斯，1932 年）。在连接二长岩类和超基性岩区的部分中，分布着石榴辉石岩的成分，一部分石榴辉石岩可以作为熔出安山岩、二长岩的原始物质，而另一部分则是这一作用的残余物。在下面两幅图上表示了对石榴辉石岩和二长岩类中 Al（图 3）和 Ca（图 4）的分配情况进行统计分析的结果。显然，这两种元素的比例可以作为确定岩石成因关系的指示标志。在辉石岩中，这两种元素的比例为 0.2—2.5，而在二长岩类中则达到 5 以上。在 Al—S 图上，这些岩石的成分区划分为四部分，在这四部分范围内，岩石成分中 Al 的含量是互补的。按照相同原则也编制了划分 Ca 含量的图解。对同名部分内的同一些点的数目的计算表明，在已知的石榴辉石岩、二辉岩、异剥岩和其它辉石岩的成分中，Al 含量可以增高 30%，而且在成因上与二长岩类有关（这一类的原始岩石位于空白区内，而残余岩石位于斜线区内）。在所有情况下，石榴辉石岩和橄榄榴辉岩与二长岩类都是互补的。富含斜方辉石的岩石，参加这一作用的可能性实际上等于零。

辉石岩——二长岩类系列中的互补性可能受到另一种限制（关于这一点还需要进行检查），这就是钾所必需的原始浓度，钾在二长岩类岩石中含量显著增高。所进行的计算表明，为了保证二长岩类中钾含量有必要的增高，原始辉石岩和残余辉石岩中钾的浓度差在二长岩类熔离 15% 体积的情况下不应小于 0.5 原子%。有关石榴辉石岩和橄榄榴辉岩实际成分的资料表明，它们之中钾的浓度差达到 1% 以上，这样就足以保证所推测的作用的进行。因此，岩石化学计算证实了从石榴辉石岩中熔离出粗面安山岩熔融体的现实可能性，此种熔融体产生了二长岩类系列的岩石。那末发生这种作用的条件是什么呢？

图 5 是 PT 图，在这张图上的古火山带侧翼地段的地壳和地幔的剖面上，表示了岩相界线，干地幔岩相的固相线，水饱和状况下的花岗岩和安山岩的固相线，不同成分的玄武岩的榴辉岩化区，此外还表示了根据近年来实验资料所得出的透辉石中硬玉溶解度极限的等值线（格林，林格伍德，1968 年；卡季克，希塔罗夫，1965 年；贝尔，戴维斯，1964 年；栉代，1974 年；穆森等人，1974 年；小贯，1965 年）。

这里表示的地幔岩石成分随深度发生的变化，与杰克逊、赖特对夏威夷群岛所获得的资料一致（杰克逊，赖特，1970 年），而且符合于 H. B. 索博列夫根据金伯利岩中包裹体

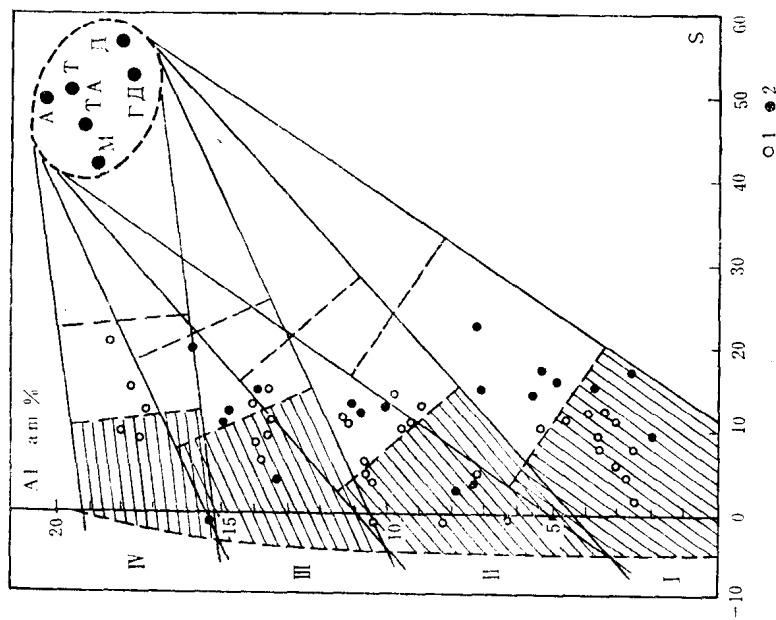


图 3 辉石岩和«二长岩类»的Al—S图
椭圆中为岩石的平均成分(根据戴利的资料)
A—安山岩, M—二长岩, T—粗面岩, TA—粗面安山岩,
ΓД—英安岩, ΓД—花岗岩闪长岩

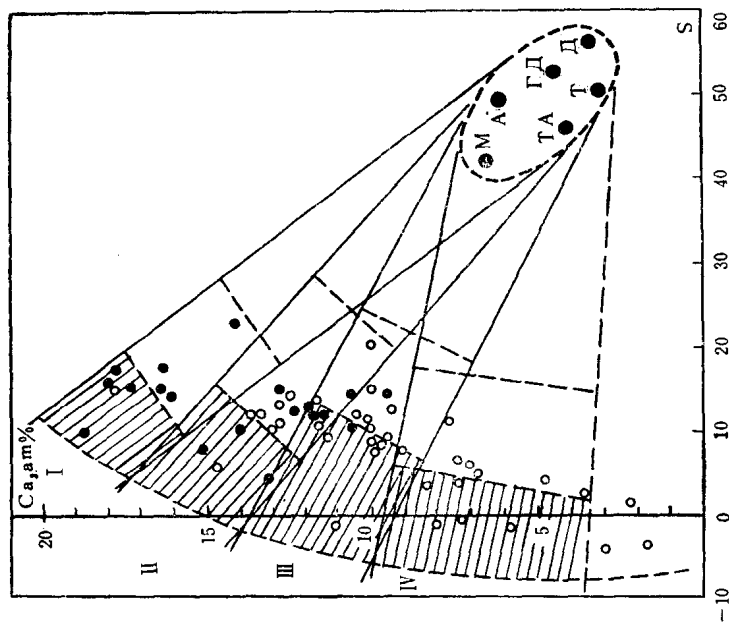


图 4 Ca—S图
(图例见图 3)