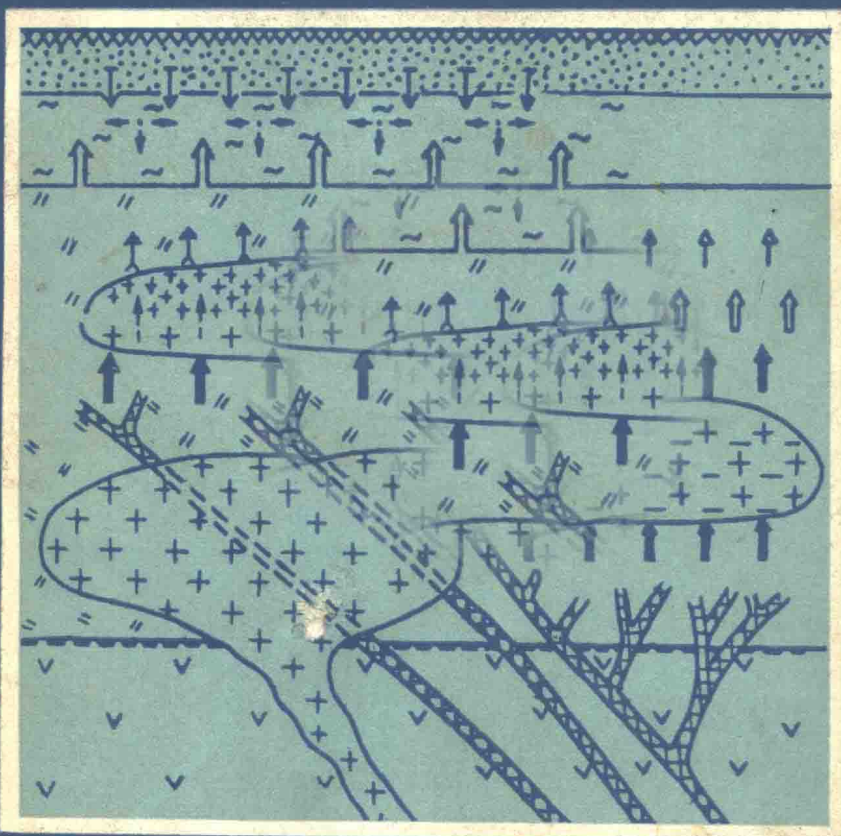


构造圈 水文地质学

[苏] E. C. 加弗里连科 著



地质出版社

构造圈水文地质学

[苏]E.C.加弗里连科 著

孙 杉 译

汪 熊 麟 校

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书对于在地幔水和水溶液参与下,发生在地壳深部层中的一系列现象进行了分析。作者根据现代星原学研究成果,阐述了地幔的高富水性,并认为这种高富水性决定于地球形成过程中的许多作用。书中还讨论了地球水文圈演化的早期各个阶段,及其对目前地球上水的分布状况的影响。本书还论证了深成水在有用矿产(其中包括石油与天然气)形成中的重要作用问题。

本书可供地质、地球化学和水文地质人员以及高等院校地质专业的学生阅读与参考。

ГИДРОГЕОЛОГИЯ ТЕКТОНОСФЕРЫ

Е.С.ГАВРИЛЕНКО

«НАУКОВА ДУМКА»

1975

构造圈水文地质学

[苏]Е.С.加弗里连科 著

孙 杉 译

汪熊麟 校

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑:沈树荣

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: 6¹/₈·字数: 172,000

1981年9月北京第一版·1981年9月北京第一次印刷

印数1—3,280册·定价1.20元

统一书号: 15038·新676

译者序

近二、三十年来，由于基础地质理论与技术方法的进展，在地质学研究领域中正呈现一个新的飞跃局面——即地质学研究向地球深部、向海洋、向极地、向宇宙空间发展的总趋势的形成。这无疑对地球内部层圈中地下水的研究提供了广阔的可能性。当前，地下水的研究已经逐渐从对一系列水文地质现象的直观描述、归纳和分类的传统方法中解脱出来，而力求抓住事物发展的基本矛盾。通过分析地球运动的各种形态、地球应力场、物理场、化学元素以及生命活动的历史来揭露地下水形成的全部历史过程的规律。

E·C·加弗里连科以现代星原学研究成果为基础，阐述了分布在地壳下带及其以下层圈中深成地下水的形成机理问题及其在有用矿产矿床（包括石油与天然气矿床）形成中的巨大的水文地球化学作用问题。这正是在上述背景下提出的一个崭新的课题。使从事深部地质、地球化学、水文地质学的研究者们广开视野。实际情况是近代矿床学、地热学、火山学等都以不断地丰富起来的资料证实着：在地球深部层圈中发生的一系列地质作用中不但均有深成地下水参与，而且它起着重要作用。

目前，已经确认深成地下水是自然界中一种独特的地下水成因类型。对深成地下水成因，其与含水介质的相对运动形式、动态、均衡及资源状况的研究是研究自然界整个水交替系统的形成历史及演变过程的重要内容，具有重要的理论意义与实践意义。

作者援引了苏联及国外大量研究成果及资料，对地幔的富水性问题提出了新的见解，并进行了较充分的论证，精辟地阐述了地幔带是地球表面水和地下水的唯一原生源域。并对构造圈中的地球水文现象进行了比较完整的描述及定量评价，这在目前的有

关著述中尚是罕见的。

深成水在金属元素迁移和集中过程中具有重要作用。首先，深成热水溶液不断供给熔浆必需的水分，使熔浆补充体积不断形成，创造接受新的外源金属物质的必要条件。而其本身作为载体从软流圈携带给熔浆新的金属组份，而后这些组份重新进入水溶液运移，在一定条件下从水溶液中离析出来形成单一型条状矿带。在一定热力条件下，热水溶液对原生沉积岩及深变质岩进行深熔作用，襄助熔浆的形成，赋予熔浆新的外源物质组份。在深熔过程中对花岗岩化作用起促进作用，而花岗岩类岩石在成因上与区域变质作用密切相关。虽然，目前对变质成矿过程中热水溶液搬运与堆积金属元素作用问题尚有争论，但是深成热水溶液运移多种金属组份供给变质成矿作用的发生是符合内生成矿理论的，似无疑义。它作为地壳深部热迁移的媒介给深成作用的发生创造充分的热力条件。从区域变质相在空间展布的范围来看，显然不是岩浆侵入活动所能完成的，而只有深成热水溶液可以保证变质岩相具有巨大的热流效应。目前，已发现的大量非岩浆侵入成因的热液金属矿床、矿带的形成以及巨厚的超基性岩蛇纹石化岩层的存在，已经无可辩驳地证明初生热液的这种作用。近年来成矿理论的进展提出了关于地壳以下层圈内生金属矿床形成及地壳浅部金属局部集中的新的见解，从根本上动摇了W·林格仑的内生矿床“岩浆一元论”的统治地位。著名的北美银矿带可为例证，它形成在延伸很大距离的深大断裂系统中，带内具有明显的各种金属元素聚集、交替的地球化学分带现象。若把这种成矿作用完全诉诸于岩浆依次侵入活动等作用，当然是不能理解的。显然银矿带的形成是由于含金属热水溶液从地壳下部沿底辟性深大断裂在很大范围内上升形成的。

另外，研究深成水在热液矿床形成中的水文地球化学作用问题，首先应考虑金属元素的来源范围、性质、形态及迁移量以及在漫长的地质时期内受古水文地质条件及地球化学环境控制的承压含水系统的作用，还必须研究含金属水溶液多方面的性质，在

不同热力条件下的性状及其在成矿过程中的复杂作用。这些重要的理论问题作者在本书中虽有所涉及，但是基本上未作较为系统的分析与阐述。另外，书中没有主要研究方法方面的内容，实为很大的缺陷。尽管如此，本书仍不失为广地质、地球化学、水文地质研究者及高等院校地质专业师生有价值的参考书。

译者 1979年12月

目 录

导 论.....	1
第一章 地球形成过程中地幔富水的星原条件.....	8
第二章 地幔物质分异中水的析出.....	25
第三章 地球的内部层圈及层圈间的地球水文联系.....	44
第四章 上地幔带地球水文活动的表现.....	65
第五章 地壳深部带的全球地球水文模型.....	88
第六章 地球水文圈深成水溶液的物理化学特征.....	119
第七章 深成水在有用矿产形成中的作用.....	150
结 论.....	176
参考文献.....	183

导 论

В·И·维尔纳茨基 (Вернадский) 曾写道：“……现在，深成水几乎全然被摒于研究者的视野之外。”（参阅维尔纳茨基，1954—1960，第 297 页），看来在水文地质发展的现阶段情况仍然如此。迄今，仅有寥寥无几的研究者从事水圈深部的研究工作，而且通常漫无计划（应该说明，这里作者仅就苏联研究者的工作而言）。在地壳沉积圈以下的层圈中所发生的一系列水文地质现象，目前尚未建立起表征它们的十分确切的概念。然而，在许多地球科学的分科中（诸如理论岩石学，矿床成因学、火山学、地热学等）业已公认，发生在地球深部的许多地质过程中均有地下水参与。例如，在花岗岩化作用、变质作用、火山喷发作用、地核热迁移和金属矿床形成作用等许多地质过程中，初生水均起着重要的作用。但颇感遗憾的是，至今在水文地质学中对于初生水的成因、运动规律及其化学成分等方面尚无明确的概念。何况什么叫“初生水”尚无确切的定义。某些水文地质学家认为“初生水”的概念根本不能采用。因此，在研究一系列深成作用过程时，研究者们总是试图查明参加深成作用过程的水的成因问题。

鉴于本书采用“初生水”术语，现在简要讨论它的涵义。“初生水”一词最早为鸠斯 (Зюсс) 提出。鸠斯把从岩浆源初次流溢地球表面的水溶液称为初生水。上述概念主要是根据对热矿泉的研究建立起来的。所以，鸠斯断定初生水最基本的特征应是具有高温和特殊的可溶组份，诸如氯、二氧化硅、硫、硼、磷、砷等以及某些重金属、稀有金属、贵金属元素等。而上列可溶组份显然均非沉积岩溶解的产物。

本世纪二十年代，鸠斯的观点曾被广泛地承认。当时，在所有的地下水分类中，初生水与其它起源的地下水并列作为一种地下

水的类型。尽管 В·И·维尔纳茨基 (1933—1936) 曾指出, 纯初生水在自然界中是不存在的 (因为初生水在自身运动过程中多与大气降水发生混合), 但是当他研究地球天然水的复杂循环过程时, 却认为初生水本身在全球范围内, 包括从岩石圈上部至深部岩浆源的各种地下水类型在内的水化学分带中具有特殊重要的作用。

从事高加索矿水成因研究的一些水文地质学家的观点与 В·И·维尔纳茨基的见解是吻合的。А·П·格拉西莫夫 (参阅 Гера-симов, 1926), А·П·奥吉尔维 (参阅 Огильви, 1935) 等研究者认为, 热矿泉水具有混合起源——渗流起源和初生起源; 其化学成分中属于初生起源的为二氧化碳、硫化氢、铵、氟、硼、砷、某些氯化钠盐、钡盐及一些金属 (以重金属为主) 盐类。当时, 由于这些立论尚缺乏严格的科学根据, 所以曾一度受到严厉的批驳, 致使地下水初生起源假说的发展在较长时间内停滞不前。无疑这种情况恰恰影响了深成水水文地质学的理论与实践问题的研究, 以及地下水形成问题的解决。例如, Г·Н·卡明斯基 (参阅 Каменский, 1955, 莫斯科) 在阐述该问题的一次会议论文中已明确指出这个问题。

Г·Н·卡明斯基曾在详细分析各种地下水成因假说和总结苏联水文地质学探讨地下水成因问题经验的同时, 还十分详细地阐述了当时公认的渗入水与沉积水的作用问题。但是, 尽管他在论文的导论中亦指出, “在岩浆源地区, 岩浆起源和变质起源的地下水和气体混入早期形成的渗入成因循环和沉积成因循环的地下水中, 所以在这些地区可观察到更为复杂的成因过程的序列” (参阅卡明斯基, 1958), 但是, Г·Н·卡明斯基却回避了关于第三种起源的水——内生水如何参与形成地下水过程的问题。

在苏联最初几个五年计划期间, 为了解决许多国民经济任务而大规模地发展起来的水文地质研究工作, 其特点是没有阐述内生作用对地下水性质影响的著述。仅在最近十至十五年内, 以不同观点对深成溶液在水文地质剖面沉降部位形成高矿化氯化

物-钠-钙型卤水中的作用问题进行评价的著作才陆续问世。而一般地说,这方面的先驱大多不是水文地质研究者,而是其他专业的地质研究者。后来,水文地质研究者才逐渐注意了从矿物学、火山学及其它边缘学科领域获取研究成果。本世纪六十年代前期出版了一些著作〔参阅克罗托娃(Кротова), 1960; 古列维奇(Гуревич), 1961; 特卡楚克, 托尔斯齐欣(Ткачук, Толстихин), 1961; 托尔斯齐欣, 1961〕, 其中论述了内生溶液参与深部高矿化地下水形成的可能性。В.Ф.杰尔普戈尔茨(参阅Дерпгольц, 1962), Л.Н.卡普钦科(参阅Капученко, 1962), Е.С.加弗里连科(1963), Е.Е.沃罗内伊(参阅Вороний, 1964) 等研究者的著作中均对高矿化的氯化物-钠-钙型水的内生性质做了确切的论述。

其后, 在列举的研究者中要推 В.Ф.杰尔普戈尔茨在研究水参与地球内部发生的作用方面最为积极和始终如一。杰尔普戈尔茨提出了氦水圈的概念, 并为崭新的知识领域——地球水文学的建立奠定了理论基础。部份内容已刊载在他的论文及《地球深成水圈》专著中(参阅加弗里连科, 杰尔普戈尔茨, 1971)。

在水文地质学领域内, Ф.А.马卡连科(Макаренко)的著作在推动内生理理论发展方面具有重要意义。马卡连柯早在1948年就提出了关于热水与深部因素有关的见解。在其后来的一系列著作中, 又以许多新的资料证实了上述见解。在最新出版的著作〔参阅马卡连科, 伊林(Ильин), 科纳诺夫(Кононов), 波利亚克(Поляк)1972〕中, 认为地下水圈从地球最上部的水文带起, 直到下地幔带与地核之间的界限止, 是一个完整的统一体。Ф.А.马卡连柯曾对“初生水”作出较明确的定义。他认为, “从原意来讲, 初生水仅产生于莫霍面下的地壳以下的层位中”(参阅马卡连科, 1961, 第4页)。稍后, 马卡连科(1966)曾论证了地幔带充水条件的特点。并指出, 地幔分异出的、并进而溢流于地表的水, 虽仅占其总体积的0.0002%, 但仍得出关于地幔带尚非很“干涸”的结论。

地球内部作用的研究成果有力地促进了这种思想的发展，即来自地球深处的含水的易挥发组份参与水圈的形成。А·П·维诺格拉多夫 (Виноградов) 的著作《地球的化学演化》(1959) 的发表，是研究阶段的一个重要标志。书中十分精辟地阐述了地幔带是地球表面水和深部水的唯一物源区。

А·П·维诺格拉多夫的假说既然是基于在水的参与下地球深部作用的研究，那么首要的任务就必须立足于阐述地幔物质富水的条件是什么？而且这种富水程度应足以形成现代海洋水的巨大体积，而地幔本身又富有更多倍的储量。为解决这一问题，必须再造地球发展历史中上地幔带的形成过程。为此，首先要研究太阳系星体的形成问题的某些方面。

本书第一章将援引一些关于判断地球地幔带富含挥发物质的星原条件的资料的分析。现代地幔带物质富含挥发组份是地球形成的最近阶段发生的一系列作用的结果。对从巨星区运行进入地球轨道的小行星型天体^①的研究具有重要意义。虽然，小行星体形成在类地行星带中，但含水量仍很高，根据含碳球粒陨石^②的研究资料，含水量可达20%。

为了给上述结论寻求根据，我们利用了Б·Ю·列文 (Левин)，В·С·萨弗罗诺夫 (Сафронов)，Е·А·柳比莫娃 (Любимова) 等研究者的著作，其中论述了上述见解，并且发展了О·Ю·施密特 (Шмидт) 关于冷却弥散物质形成太阳系行星的假说。为此有必要借此追述一下О·Ю·施密特的看法，即整个星原理论必须将地球的天文历史和地质历史联系起来。星原学的概念实为推进地球水文学研究发展的基础。地球水文现象应理解为地球水圈范围

① 指运行在火星与木星之间的小行星。——译者注

② 迄1969年7月20日阿波罗11号在月面静海着陆并将月球样品带回地球以前，只有陨石是可供研究的地球外来物体。陨石是小块的宇宙物质碎屑，可按其成分及结构分类〔参阅马逊 (Mason), 1962〕：铁陨石、石陨石、石-铁陨石、还有些陨石有含碳物质，叫含碳陨石。其中石陨石再分为：球粒陨石和无球粒陨石，而所见陨石的百分之八十五或石陨石的百分之九十五是球粒陨石。球粒陨石由橄榄石、辉石、奥长石、陨硫铁及镍-铁微粒构成，其中含碳球粒陨石在纹理和挥发性组份含量上变化很大。——译者注

内在深成水参与下发生的现象。“地球水圈”概念强调全球规模，它与“水圈”概念不同。大多数研究者仅将现代海洋水看成“水圈”，而“地球水圈”却包括了大气水、海洋水和地球内部各个层圈中的水。

上地幔B带的软流层，是地球水圈下部最活动的层位。根据B·Г·邦达尔楚克（参阅Бондарчук, 1972）的见解，软流层是构造圈的活动性基底。软流层的地球水文作用决定于它的馈给水的性能。初生水呈深成含矿溶液-饱气的高矿化热水溶液出现。深成含矿溶液是地幔物质分异的产物。对初生溶液产生的机理问题，目前存在有几种不同的假说，对此，我们将在后面简要地进行探讨。软流层易熔物质与挥发物质的分异作用过程决定于地球深部层圈的活动性因素，但这些物质流溢地表或进入地壳层中，仅在适当的通道（始于地幔带的深大断裂）时才能发生。

本书援引许多资料反驳了某些研究者关于地幔物质呈弥散状进入地壳岩层的可能性的见解。这种作用甚至在相当薄的海洋型地壳发育区亦不可能发生。因此同样不能认为，海洋底是一个“热表面”。同时却有许多资料证明：大量初生水（水溶液、深成含矿热液）沿深大断裂运动。许多与侵入活动无关的热液金属矿床带和全球性蛇纹石化岩带系统的形成均证实了上述情况。

地幔水进入地壳的花岗质岩层中会产生一系列复杂的作用过程——区域变质作用、交代作用和花岗岩化作用。这些作用的总趋势是，水是最活跃的参与者，当作用终止后，水则脱出，形成变质成因的和岩浆期后的“再造”溶液，不断向上运移至地壳沉积圈，并与水文地质剖面下带的地下水发生混合作用。这种见解是将地壳花岗岩层看成产生深成水的次生源域。可见深成水从性质上看是多成因的，而不能认为是初生的。因此无怪乎地质学家和水文地质学家们在深成水成因问题上经常莫衷一是了。

遵循B·И·维尔纳茨基的原意，笔者仍采用“深成水”这一术语，但赋予它以广义的涵义。深成水包括向地壳层和地表运移的初生水，从岩浆源离析出的水和在前进变质作用过程中产生的

变质水。

深成水在矿床形成中起很大作用。有关热液成矿的资料能最确切地证实这种作用。目前，石油碳氢化合物成因问题尚未彻底解决，故深成水参与石油和天然气形成的作用特性尚难确定。但是，本书较详尽地研究了地球形成阶段产生的水与含碳化合物的关系，论证了软流层物质中水与碳的高含量问题，并且证明上地幔带条件下碳氢化合物矿物合成中，水作为氢的来源的作用问题。

深成水在形成石油碳氢化合物中的作用，在很大程度上决定于它从形成源域（软流层）运移的条件。许多地球水文学概念与油气无机成因论者的观点是吻合的。尽管目前在石油与天然气形成机理问题上尚有不同见解，但石油与天然气的向上运动是沿深大断裂系统发生的则似无疑义。从地球内部运移来的水、石油和天然气，在地壳沉积层中一定的构造条件下，按其重力性质分成层次而形成矿床。环绕矿床周围经常出现水化学异常。查明这种水化学异常具有实际意义，因为常借以评价局部构造的含油性远景。

本书中涉及的许多概念作者力求做到最大限度地论证，为此援引了许多天文学、海洋学、地球物理学、岩石学、矿床成因学、火山学及其它地球科学的有关资料。但在分析材料中基本上以近年来的新材料为主。而某些现象是根据一些研究者的观点加以阐述的，虽然他们对我们涉及的地球水文方面的作用过程持有不同的观点。对地球深部几十甚至几百公里处发生的许多作用在见解上存在争论，这是十分自然的事情，不足为怪。

在本书的准备出版过程中，承蒙赐教和建议的有：地质矿物学博士Ф·А·马卡连科，Н·И·托尔斯齐欣，Е·А·巴斯科夫（Басков），В·В·伊凡诺夫（Иванов），地质矿物学副博士С·А·博鲁西洛夫斯基（Брусиловский），地质矿物学博士Н·В·罗戈夫斯卡娅（Роговская），地质矿物学副博士В·И·别兹罗德内伊（Безродный）以及本书的审阅者地质矿物学副博士В·В·科洛季

(Колодий) 与 И.Ш.拉希莫娃 (Рахимова), 他们曾为审阅手稿而付出辛勤劳动, 为此作者谨致深切谢意。

作者怀着感激之情指出, 苏联乌克兰科学院通讯院士 Г.Н.多连科 (Доленко) 的支持有力地促进了本书课题的研究。多连科是研究地幔及地壳深部过程的有权威的专家之一, 他同样对全球水文地质学问题造诣很深。

作者虽力求给予构造圈中地球水文现象最完整的描述, 但是毫无疑问尚会遗留许多悬而未决的问题, 其中包括本书中发展了的一系列原则, 仍会在不同程度上导致有理由的异议。作者认为, 这种局面在刚踏入一个新的科学研究领域——构造圈的水文地质学的过程中是难免的, 尽管这个科学领域的基本思想早为 В.И.维尔纳茨基阐明过。在水的参与下发生在极深部的一系列过程的研究还是本书未竟的任务, 为了更有成效地继续这项研究工作, 吸取广大读者的宝贵意见是极为重要的。请将意见寄至: 里沃夫-290047, 科学大街 3 号, 乌克兰科学院可燃矿产地质与地球化学研究所。

第一章 地球形成过程中

地幔富水的星原条件

许多自然科学家均推崇 A·П·维诺格拉多夫的假说，认为地幔是地球上水的唯一源泉。但迄今仍有许多与这种说法有关的问题未获解决。摆在作者面前的任务是：阐明什么过程会使地幔物质具有这种性质，产生如此巨大的水体积以至形成现代海洋以及保存非常可观的储量。

在解决这项任务中，很自然地将注意力集中到地球形成前的历史和对地球形成过程的分析。作者虽非星原学领域的研究者，但确信本文所援引著作的作者们的天体物理概念的正确性^①，所以敢于冒昧引证以下材料。

本章的基本观点的根据是 O·IO·施密特假说。施密特假说在苏联不仅成为行星起源学的理论根据，而且是对所有地球科学的发展来说的星原学基础。B·И·维尔纳茨基早些时候就在研究地球化学理论过程中，一再阐明过类似的思想。

O·IO·施密特的最亲密的助手和同道者 Б·IO·列文在一篇简述中曾谈到，施密特假说的实质在于地球与其它星体一样是由冷却的弥散物质形成的。这种空间弥散物质呈有向度的条带状的气体——尘埃云雾（气-尘云）环绕太阳旋转，并充满整个现代太阳系的空间。

原行星云的最远离太阳的部分，由于受热作用微弱，具有负温，而靠近太阳的那部分受热达300—400℃，故导致行星体间在

① 作者这种认识是从物理-数学博士B·C·萨弗罗诺夫的评论中获得的，在评论手稿的星原学部分写道：“论文中较全面地叙述了关于固态物质凝聚形成地球以及巨星体在形成地球时巨大作用的现代概念”（加重号是B·C·萨弗罗诺夫加的）。书评中指出了手稿中的错误。完稿时已作勘误。——原注

成分、密度和质量上的差异。地球基本上是由这样一些化合物组成的，它们处于 0°C 温度和原行星云内带控制的分压条件下，并能凝聚为固体的粒子（参阅列文，1953，1954）。

虽然O·Ю·施密特假说的主要思想较快地被公认，但是假说的某些原理尚需进一步探讨。Б·Ю·列文在一篇与O·Ю·施密特合写的简评——《地球的起源和成分》（1957）中曾指出，根据现代星原学研究观点来看，行星体由冷却气-尘云形成已被广泛地承认。但是对于同一状态的原行星物质，研究者们对其产生的过程却持有不同的看法。

O·Ю·施密特提出太阳捕获星云的假说，埃德沃尔特支持这种说法。另一些研究者[维茨泽克尔(Вейцзеккер)，科佩尔(Копер)，费森科夫(Фесенков)]则认为，星云产生于太阳形成的过程之中。尽管对太阳捕捉星云的机理或太阳与原行星云同时起源有各种说法，但可以断言，星云形成过程的历时是以几千或者可能是以几百万年计算的。

鉴于目前尚无完整和成熟的原行星云形成理论，星原学者们不得不拟定某些理想化的星云模型。根据这种模型不断发展了关于真正星云进一步演化趋向的概念。

应该承认，没有相应的基础不可能对不同研究者的观点做出评价并产生有关的构思，本文作者尽可能完整地以O·Ю施密特思想为基础。施密特思想在下列研究者著作中得到进一步发展：诸如Б·Ю·列文（1949—1969），Л·Э·古列维奇，А·И·列别金斯基（Лебединский，1956），В·С·萨弗罗诺夫（1951—1969），Е·А·柳比莫娃（1955—1968），Е·Л·鲁斯科尔（Рускол，1960—1965），С·В·玛叶娃（Маева，1960—1968）等。根据上列研究者的著述，作者绘制下面的地球形成示意图。

Б·Ю·列文将原行星物质从气-尘云到形成太阳系行星的演化过程划分为两个阶段。第一阶段初期原行星云中的气体与埃尘几乎均匀地充满星际空间的各部位。列文认为，这种情况在太阳捕捉冷却气-尘物质和从原太阳离析的冷却炽热气体中埃尘凝聚

时均能发生。在这个阶段星云物质呈围绕太阳旋转的近平面圆环（参见图1-A）。

由于分子的不规则运动速度很大，气体组份能继续保持在星云之中。由于气体摩擦及相互的无弹性碰撞，尘屑的不规则速度的消减，结果使微尘粒沉降于星云的中心平面，形成具有物质密度较高的薄盘（参见图1-B）。

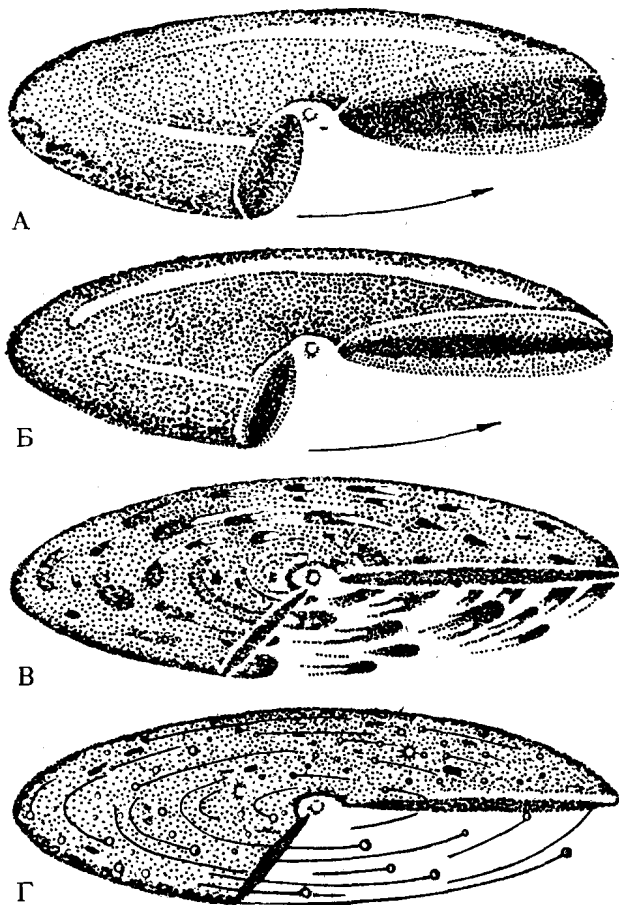


图 1 第一演化阶段：原行星云星尘的削平作用和由星尘组成许多中间型（小行星型）星体

（引自 Б·Ю·列文，1967）