

泥炭的基本性质 及其测定方法

(苏) И. И. 利什特万
И. Т. 科 罗 利 著

科 学 出 版 社

TQ517.3
-712

泥炭的基本性质及其测定方法

(苏) И. И. 利什特万 著
H. T. 科罗利

戴国良 马学慧 等 译校

科 学 出 版 社

1 9 8 9

内 容 简 介

本书通过大量的实际资料和统计资料探讨了泥炭物理化学特征、基本性质、组成和结构的现代概念。引用分析了现行的泥炭分类,其中包括新的泥炭原料的工业分类。

本书可供从事泥炭地质和勘测、泥炭开采工艺和开采机械化、泥炭化学加工和综合利用等专业的科研人员、工程技术人员及大学生使用,对于从事固体可燃矿物、胶体化学、分散体系物理化学、高分子化合物领域的研究人员也具有一定的参考价值。

И. И. ЛИШТВАН
Н. Т. КОРОЛЬ
ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА
ТОРФА И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
Издательство «Наука и техника», Минск 1975

泥炭的基本性质及其测定方法

И. И. 利什特万
〔苏〕 Н. Т. 科罗利 著

戴国良 马学慧 等 译校

责任编辑 吴三保

科学出版社 出版
北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

※

1989 年 4 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1989 年 4 月第一次印制 印张: 9 1/4

印数: 平 1—500 插页: 平 2 精 3

精: 1—430 字数: 242,000

ISBN 7-03-000785-9/P·136(平)

ISBN 7-03-000786-7/P·137(精)

定价: 压膜平装 11.70 元
布脊精装 12.80 元

译 者 的 话

泥炭地是大自然赋予人类的财富，是第四纪地质时代现存的自然景观。研究泥炭的分布、成因、类型、性质，是泥炭沼泽、泥炭和泥炭地开发利用的基础。泥炭地作为古环境的“情报库”，对探讨第四纪以来古地理和古环境具有重要意义；泥炭是煤形成的初级阶段，对研究煤的形成环境和机理有重要的理论价值。目前，泥炭的研究已受到许多学科科学家的关注。

苏联是世界泥炭资源最丰富的国家。许多学者多年从事泥炭的基本理论和应用研究，已取得显著成效。本书作者 И. И. 利什特万是苏联白俄罗斯科学院泥炭研究所所长，著名的泥炭学家，长期从事泥炭物理和化学方面的研究工作。他以丰富的研究成果，并引用大量文献，系统地阐述了苏联泥炭成因、结构、分类、泥炭种的分布和储量；在研究泥炭性质及其相关关系的基础上，建立了预测泥炭组成和性质的回归方程；全面地介绍了苏联泥炭的综合利用；详细地论述了泥炭性质的统一分析方法，并搜集大量的泥炭种特性的分析数据，列于附录。

我国也是世界泥炭储量较多的国家之一。但开展泥炭的研究和利用起步较晚。1982 年国家要求地质矿产部迅速组织力量查清我国泥炭资源；要求煤炭部主持开展泥炭综合利用研究。我们翻译这本书，希望它对我国泥炭勘探、研究和利用有所启发和参考。

参加本书翻译工作的有戴国良（前言，第一章 1—3 节，第二章 1, 3 节），马学慧（第二章 2, 4, 5 节，第四章 9 节和附录），唐运千（第三章和第四章 7, 8 节），孙铁男（第一章 4, 5 节，第四章 1—3, 5, 6 节），曾广骥（第四章 4 节）；全书由戴国良、马学慧和曾广骥统稿；译者相互校订，第四章由朱颜明校订；书内插图由齐秀兰、朴珠玉清绘。

ABF 09 / 0503

全书地名、计量单位及参考文献等均忠实原稿，保持原来面貌。

由于译者水平有限，加之书内涉及面较广，谬误之处在所难免，望读者批评指正。

1985年4月

前 言

苏联拥有丰富的泥炭资源，它的合理利用是一项重要的国民经济任务。

当今的泥炭生产是与泥炭在国民经济中应用领域的不断扩大同步发展起来的。除了传统的能源利用，泥炭还被广泛地用作铺垫材料、绝缘材料、泥炭肥料，以及各种化工产品的生产原料。这就需要增加评价泥炭原料指标的数目，并根据这些指标建立泥炭开采和加工的合理工业流程。因此，对勘探过程中泥炭的初步评价提出了更高的要求。这种评价应是综合性的、更加详细的，因而也是更加繁重而有价值的。泥炭勘探正在明显地扩大自己的工作范围。

泥炭属于复杂的自然形成物，是一种多成分的半胶体高分子体系，组成中含有多种有机化合物。泥炭研究的难点，首先在于它的性质复杂多样，而且每种性质的变化幅度较大。原始堆积材料（造炭植物）不同，堆积条件各异，这是泥炭性质多样化的根本原因。

有大量的可靠资料可以评价泥炭的组成和性质。泥炭种的植物分类方法的建立及其在地质勘探实践中的应用，明显地促进了泥炭的评价工作，为有计划的研究泥炭原料的证书化奠定了基础。

泥炭技术性质方面的资料，主要来自泥炭地长期勘测过程中的泥炭层研究，以及泥炭证书化研究工作和泥炭产品的检验分析。

泥炭有机部分的元素组成和组分组成，是在建立泥炭化学工艺原理、研究固体可燃矿物成因和实现化工证书化工作过程中测定出来的。泥炭在农业中的广泛应用，是与泥炭农业化学性质的研究分不开的。最后，在不断完善泥炭生产工艺流程和实现机械化过程中，终于获得了泥炭这种分散体系的各种物理性质和物理

化学性质方面的宝贵资料。

但是,对现有资料进行总结,以揭示各泥炭种的不同性质,这一课题长期以来一直未能解决。泥炭各种性质的研究,常常是以各种难以对比的方法完成的。多数研究局限在少数泥炭种内,而它们在植物分类法中仅占一小部分。

不同的泥炭性质,研究水平亦高低不一。对于所有的泥炭种来说,目前只是在分解度、灰分和酸度方面获得了系统的资料。至于其他多数特性,仅仅是在个别种、组甚至是型的范围内获得一些系统的数据。泥炭各种性质之间的相互关系则研究得更少。

勘测过程中泥炭各种性质的评价,历来主要是根据植物组成、分解度和灰分这三个方面的分析资料进行的。如果用泥炭作燃料,那么这种评价已经足够了。因为只要遵循分解度和灰分的临界指标,也就等于在发热量方面保证了泥炭矿的合理开采。但是在其他情况下(改进泥炭开采、加工工艺、泥炭化工利用、泥炭农业利用等),这种评价就不能满足要求。因此,在勘测泥炭地时必须考虑到泥炭的不同用途,尽可能全面地评价它的化学性质、物理化学性质以及其他特性。这里,首先必须研究泥炭各种性质之间的相互关系,找到反映不同堆积条件下泥炭性质变化机理的最适宜的指标。本书对这类研究工作进行了概括和总结,并以参考资料的形式进行了阐述。内容包括:一般技术性质(植物组成、分解度、灰分、含水量、酸度、发热量)、元素组成(碳、氢、氮、硫、氧)、组分化学组成(沥青、水溶物、易水解物、胡敏酸、富里酸、纤维素和非水解物的含量)、灰分化学组成(常量元素和微量元素的含量)、分散度、吸收性阳离子组成、水分形态、吸水量、堆积密度;探讨了泥炭这种地质形成物的属性及其成因特点;在当代理化分散体系和高分子化合物研究的基础上,发展了泥炭结构和性质的概念;对已有的泥炭矿和泥炭种的分类及泥炭原料的工业分类进行了评述;探讨了泥炭种的基本分布规律,提供了泥炭储量方面的资料;给出了泥炭各种性质之间相关关系的研究成果,提出了用回归方程预测泥炭原料性质的方法;总结并阐述了不同的生产利用对泥炭原料的要求,

提供了泥炭一般技术性质、化学性质和物理化学性质的室内统一分析方法。

作者对白俄罗斯科学院通讯院士、技术科学博士 В. Е. Раковский 和物理数学博士 М. П. Волярович 提出的许多宝贵建议和友好帮助表示衷心的感谢。

参加试验资料整理工作的有 Е. К. Лисицына、Н. С. Якоби 和 О. А. Зеленая, 作者在此一并致谢。

目 录

译者的话

前言..... v

第一章 泥炭及其结构特征..... 1

第一节 泥炭的属性及其成因特点..... 1

第二节 泥炭结构和性质的现代概念..... 9

第三节 泥炭和泥炭矿的分类及其结构原理..... 26

第四节 苏联的泥炭储量..... 36

第五节 泥炭种的基本分布规律..... 38

第二章 泥炭的组成和性质..... 48

第一节 泥炭的一般技术性质..... 49

第二节 泥炭的化学性质..... 67

第三节 泥炭的物理化学性质..... 84

第四节 泥炭各种性质间的相关关系..... 121

第五节 用回归方程预测泥炭的组成和性质..... 131

第三章 泥炭在国民经济中的应用..... 151

第一节 泥炭是动力和生活燃料的生产原料..... 152

第二节 泥炭作有机肥和有机-无机复合肥的生产原料..... 154

第三节 泥炭作铺垫、绝缘和包装材料..... 158

第四节 泥炭是化工生产原料..... 160

第五节 泥炭作栽培植物的营养土..... 161

第六节 确定泥炭利用途径的主要标准..... 163

第七节 按应用范围泥炭后备储量的分布..... 167

第四章 泥炭的组成和性质的统一分析方法..... 169

第一节 泥炭分析样品的采集和制备..... 169

第二节 泥炭一般技术性质的测定方法..... 171

第三节 泥炭元素组成的测定方法..... 198

第四节 泥炭组分组成的测定方法..... 304

第五节	泥炭灰分化学组成的测定方法	212
第六节	泥炭阳离子组成的测定方法	219
第七节	泥炭束缚水的测定方法	225
第八节	泥炭分散度的测定方法	229
第九节	切割泥炭堆积密度和吸水量的测定方法	237
附录		240
参考文献		278

第一章 泥炭及其结构特征

在所有的固体燃料中,泥炭是最年轻、煤化程度最低的沉积物。它是在过度潮湿、空气难以进入的条件下,由死亡植物有机体形成的[1,2]。泥炭及其加工品已被广泛应用于国民经济的不同领域。因此,一些学者想尽可能地揭示泥炭的天然属性和成因特点,阐明泥炭原料综合加工的可能性,从而制取有价值的产品和材料[1—40]。

目前,已经查明了泥炭这种自然形成物的许多特征,明确了泥炭体系在加工和利用中发生的主要过程。

第一节 泥炭的属性及其成因特点

与其他固体燃料一样,泥炭形成物的主要来源是植物有机化合物。有争议的只是:植物有机组分中的哪些化合物,以什么样的形式参加了固体可燃矿物的形成。Н. М. Караваев [41]指出,“所有固体可燃矿物都是各种不同的陆生或水生植物残体的转化物”。В. Е. Раковский [1, 42]认为,泥炭阶段在固体燃料成因中占有特殊地位。根据 Ю. А. Жемчужников [43]的意见,固体燃料的形成过程可以分为以下几个阶段:植物物质变成泥炭再变成褐煤,褐煤变成烟煤,烟煤变成无烟煤(有时变成石墨)。即可燃性生物岩成因可以用下列顺序表示:植物→泥炭→褐煤→烟煤→无烟煤。И. И. Аммосов [43]认为,可燃煤的原始物质是高等植物或藻类。从 В. И. Вернадский [44]的学说也得出这样的结论。他认为,烟煤、泥炭、沥青化页岩中的母体有机化合物起源于植物及其他有机体。在泥炭形成过程中,死亡后的植物处于过湿和缺氧的环境里。就象在土壤中那样,植物不能充分而是部分分解,其

残体便逐年堆积起来。矿床中的泥炭含有大量的水分，这是它与其他固体燃料矿物的明显区别，此外还有许多不同的特点。

泥炭干物质由已分解的产物、植物残体和矿物质组成。生物、水和空气迁移来的无机成分则是无机化合物累积的源泉。植物物质的分解是化学变化及微生物生命活动的结果。多余水分聚积强度及泥炭形成过程的发展取决于气候、地质、水文地质和地貌条件。在过湿情况下，沼泽强烈发育。沼泽的特征取决于周围温度、空气相对湿度、基岩构造、地下水位、地表形态、补给环境的矿物质状况和植被。植被——这是形成沼泽的不可缺少的要素。

不同层次的植物群落均可以成为造炭植物。它们是：藓类、草本、木本植物。在一定的条件下，它们都可以成为造炭者。在泥炭形成过程的初期，植物在矿质土上发育，随着泥炭的累积，则在有机-矿物质土上生长，由此发生植物群落的演替。因此，通过造炭植物分类可以看出一定的规律性。某些泥炭层含有几种造炭植物残体，因此从植物组成来看泥炭不是同质的。靠大气降水补给的植物，形成的是高位泥炭，而靠矿物质盐类丰富的地下水补给的植物则形成低位泥炭。如果低位植物地下水补给不足（如：植物与矿物母质被泥炭隔开），则低位泥炭地上开始发育中位和高位泥炭。

造炭植物在化学组成上各不相同，因而使不同的泥炭种各具一定的性质而互有差别 [45—49]。В. Е. Раковский 和 Е. С. Лукошко [45, 50] 研究了某些造炭植物在生长期里化学组成的变化。有些文章 [49, 51] 提供了某些造炭植物的组分组成。造炭植物在沥青含量方面没有显著差别，但是易水解物、纤维素、木质素的含量却有不同。苯萃取的沥青含量占 7%。主要造炭植物沥青含量差别不大，但不同类型泥炭之间的沥青含量却有较大差别。高位泥炭沥青含量总是高于低位泥炭，这与沥青中某些化合物不利于生物化学分解，以及泥炭形成过程的条件不同有关。

木本、草本和藓类植物含有大量 (20—60%) 由简单的和复杂的碳水化合物组成的水溶物和易水解物 (BP + ЛГ)。最简单的

碳水化合物可溶于水。果胶物质可溶解在热水中。半纤维素属于水解后可溶于水中的化合物。

造炭植物的纤维素是多糖,它是微生物活动的能量来源,在泥炭形成过程中起着重要作用。造炭植物中木质素含量占有机质的10—30%。

在揭示包括泥炭在内的固体可燃矿物属性时,确定原始植物体中某些化合物在燃料组分形成过程中的作用,是一个十分重要的问题。由此看来,腐殖化合物具有最重要的利用价值。关于腐殖质的合成,观点各不相同。这些观点可归纳为以下四种[51]。

第一种观点认为,腐殖酸是木质素转化的产物。木质素理论由 Фишер 和 Шрадер 首先提出来,后来由 Фукс 和 Г. Л. Стадников [1; 2, 32, 36] 进一步发展。认为腐殖酸的形成过程与木质素的腐殖化有关的概念,是这一理论的基础。Фишер 认为,木质素的变化是从失去甲氧基与甲烷*,形成新的羧基开始的。随着腐殖化作用的增强,羧基含量逐渐增加[52]。

С. Ваксман 发展了木质素理论[53]。他把由土壤微生物再合成的蛋白质同木质素一起纳入了腐殖酸的形成过程。这一学说从此被叫做木质素-蛋白质理论。И. М. Курбатов 认为泥炭腐殖质是由蛋白质及其生物化学分解物组成的,并与木质素氧化产物结合在一起的聚合系列体系[43, 54]。这就使能与酶相互作用的官能团与外界隔离,从而使它在有氧条件下具有相当的生物稳定性,以及在泥炭矿嫌气条件下不发生变化。

И. М. Курбатов 认为,大部分腐殖酸的最可靠的前身,是真菌对木质素氧化分解的产物——木质素酸。根据 М. М. Кононова 的意见,木质素通过结构单元的分解和析出参与腐殖质的形成[52]。在适宜的条件下,腐殖质可以与氨基酸或蛋白质缩合,形成初级形式的腐殖酸。通过分析泥炭形成过程的物料平衡试验,В. Е. Раковский 及其同事[1, 42, 43, 45, 47, 51]指出,木质素理

* 原文有误,应为甲基——译者注。

论的拥护者们的观点是相互矛盾的。

第二种观点认为,植物中为数不多的酚、鞣质及芳香族化合物对腐殖酸的合成有特殊作用。例如,Фляйг 提出了用二元酚和三元酚合成腐殖酸的方案,但却不能解释羧基与聚合物的形成机理[32]。М. М. Кононова [52] 将木质素和鞣质分解时释放的结构单元及其前身、微生物生命活动和代谢产物均列为酚型芳香族化合物的来源。她从参与腐殖质合成的芳香族产物中分离出了多元酚。多元酚的氧化是在许多微生物(纤维粘液菌、放线菌、霉菌)分解出来的氧化酶参加下进行的。多元酚和以后的氧化产物缩合的各种形式,在 Фляйг [52] 的文章中已作过探讨。Цихман [55] 将腐殖酸的形成机理归结为酚衍生物的反应系列。酚衍生物之所以有反应能力,是因为有基团出现。这种观点有其先进性。但同时应当指出,他对自然对象的实验研究,范围有些狭小。根据 М. М. Кононова [52] 的资料,鞣质,不论是简单的还是缩合的,其参加腐殖质的形成,都是从多元酚的释放开始的。后来,所生成的产物又与氨基酸和蛋白质继续氧化和缩合。С. С. Драгунов [48] 在泥炭腐殖酸分组分析的基础上得出这样的结论:腐殖酸是造炭植物芳香族及杂环物质与微生物生命活动产物之间的缩合反应形成的,尽管泥炭藓并不含有高等植物所特有的木质素。С. С. Драгунов 把缩合产物称作杂多缩合物[43]。

第三种观点认为,造炭植物的碳水化合物复合体——纤维素与半纤维素,在腐殖酸的合成中起着特殊的作用。这里需要指出的有两个方面:其一,碳水化合物并未直接参加腐殖酸的合成,它仅仅是微生物的能量来源[43, 48, 52, 56]。其中,粘液菌将纤维素水解成葡萄糖,进而又被微生物当作能源加以利用。微生物的代谢及再合成产物可以作为形成腐殖酚分子的结构单元。М. М. Кононова 在含糖(作为碳的唯一来源)的、被霉菌侵染的合成介质中发现了暗色类腐殖质的生成物。从性质来看,这种物质接近于土壤胡敏酸和富里酸。但是 С. С. Драгунов 通过元素组成及官能团含量分析证明,二者之间存在着本质的差异,而且仅从人造类

腐质的颜色和含芳香族化合物来判断，也不能证实这种物质与天然腐殖酸完全相同。同时，他引证 Н. М. Беликова 的试验指出，只要培养基中含有木质素的物质，就存在合成与泥炭腐殖酸相类似的物质的可能性。从这个观点出发，С. С. Драгунов 专门提到了 П. А. Костычев, А. Г. Трусов, Н. М. Беликова, И. М. Курбагов 等人的工作。他们的文章表明，“腐殖酸的形成与细菌及低级真菌的生物化学活动有关，而主要与它们对木质素及其前身的作用有关”[43]。至于碳水化合物，它们只是间接地参加了腐殖酸的形成。因此，Е. В. Кондратьев [43] 指出，在细菌分解具有氧化还原性质的植物残体时，耗尽了多糖复合体。在泥炭形成的初级阶段，消耗能量的主要是聚糖醛酸复合物及含果糖的植物残体的半纤维素。但是，Е. В. Кондратьев 并不排除木质素参加了固体燃料的形成。А. Г. Трусов [43] 认为，“木质素的腐殖化，在于含有醌基或酚基的木质素组分的氧化，因此生成了各种具有羟醌性质的缩合物”。В. Е. Раковский 认为，不是木质素而是腐殖酸更易于被空气中的氧气直接氧化，从而证明关于木质素氧化生成腐殖酸这个概念是错误的。基于许多土壤学家 [52, 56] 的研究工作，Т. А. Кухаренко [2] 得出如下结论：腐殖酸通常是在植物有机化合物分解之前形成的。所以，腐殖酸结构也许并不能反映出植物各部分结构的基本特点，在微生物原生质转化的情况下尤其是这样，因为微生物是利用植物作为能量来源的。

另一方面，碳水化合物在腐殖质形成过程中起着决定性的作用。В. Е. Раковский 及其同事 [32, 42, 45, 47, 51, 57] 成功地发展了这一观点。已经查明的泥炭形成过程物料平衡表明，环状化合物即原生胡敏素，与其他的酚衍生物一样，也是在植物酶的作用下由碳水化合物形成的。这种化合物主要在活的植物体内合成，后来在泥炭中发生变化，可能与微生物的参加或者与植物脱氢酶作用有关。所有这些变化只能导致脱水，形成芳香族化合物单体，再进一步缩合成腐殖酸的高分子 [51]。原生胡敏素单体——环己六醇物质的存在形式，是它与氨基酸的复合物。在造炭植物

中发现的那种物质,原本不是腐殖酸,而是它的前身,即在元素组成及侧链基团数量上与泥炭腐殖酸相类似的物质 [50]。这就驳斥了仅靠微生物就可以由碳水化合物合成腐殖酸的概念。Е. С. Лукошко 和 В. Е. Раковский [45] 没有发现腐殖酸的增加与微生物原生质有什么联系。就此 М. М. Кононова [52] 指出,具碳水化合物性质的物质主要是在植物残体腐殖化的初期阶段被分解的,因此能够在微生物的代谢和再合成的各个转变过程中成为合成腐黑物(氨基酸、蛋白质、多元酚型芳香族化合物)结构分子的主要来源。

根据 В. Е. Раковский 及其同事 [45, 50] 的资料,只有易水解物参加了腐殖质的形成。纤维素不是形成腐殖质的直接参加者,而是微生物的培养基。与原生胡敏素合成同时进行的,是在有碳水化合物参加的木质素的形成过程,不过这类聚合物在细胞中的合成与积累机理各不相同。可燃性生物岩中腐殖酸的形成伴随着氮含量的减少(与活植物不水解物中原有氮含量相比)。同时,在生长期易水解物含量减少,而难水解的原生胡敏素及木质素数量却增加。К. К. Лебедев [43, 58, 59] 认为,在泥炭形成过程中,合成的不仅有腐殖酸,而且有不水解物。差别在于,不水解物中的碳、氢、甲氧基的含量较高,而羧基含量较低。

许多因素影响有机质的分解程度,其中植物属性具有重要意义 [60]。在 Е. С. Лукошко 和 В. Е. Раковский [45] 所研究的造炭植物中,分解最强烈的是棉花莎草,六个月内干物质失掉 67—72%。在同一时间里,泥炭藓仅失掉干物质 4%,这与它的酚防腐剂含量有关。去除部分水溶性酚,可以使分解速度提高 1 倍。加钙同样可以促进泥炭藓的分解——使干物质的损失增加到 16%。这是防腐剂难溶性盐的形成及酸性中和条件下微生物生命活动的提高造成的。

植物在泥炭层内有氧分解过程中,化学组成发生了本质的变化,碳水化合物复合体含量减少。腐殖质及不水解残体数量与其在死亡植物中的含量相比,没有发生根本的变化 [45]。在这种情

况下,微生物的作用并不是定向形成腐殖质,而是迅速完成合成过程[46—48, 50]。与腐殖酸结构单元有密切关系的,是某些含氮化合物[50]。

根据泥炭形成过程的特点,В. Е. Раковский 对腐殖质的合成提出了这样的假想:“沼泽植物,当腐殖质把它与矿质土分开,并有生长调节剂(春季里的刺激素和结果期的抑制剂)合成时,能从溶液中提取多余的生长调节剂,以保持其最适浓度。提取方式是将其转化成不溶解状态。这就保证了氨基酸和蛋白质不溶性复合物的形成,通过相应的变化,就可以提供腐殖质”[61]。

某些文章[62]认为,糖醛酸在腐殖质形成中有着特殊作用。这种物质是在植物同化器官中合成的,并以果胶质及多糖醛酸半纤维素形式累积起来。腐黑物糖醛酸的第二个来源是土壤微生物体。糖醛酸可以看作是形成胡敏酸和富里酸的结构单元。糖醛酸之所以能在这类化合物中固定下来,是因为在微生物参加的条件下它们与蛋白质及氨基酸的相互作用,在植物细胞内形成了糖醛蛋白质复合物。碳水化合物可能与周围链的大分子核结合在一起[63]。

第四种观点认为,植物中任何原生有机物都能合成腐殖酸。而原生有机物则力图把自己的结构变成更加稳定的腐黑物结构,以抵御细菌作用和氧化作用[2, 52]。首先阐述这种观点的是 Н. А. Орлов。诚然,如果机械地综合所有的观点,那么很明显,植物中各种化合物均参加了腐殖酸的形成。Т. А. Кухаренко [2] 认为,碳水化合物、木质素、蛋白质分解产物等等,均有可能形成腐殖酸,但是由于原生物结构和腐黑物形成条件不同,参加反应的植物化合物也有所不同。例如,腐朽树木产生的腐殖酸,其组成与这种树木的木质素极其相似,而泥炭腐殖质则很象碳水化合物腐殖化所生成的化合物。后来生成的腐殖酸经过有规律的变化,形成了褐煤和烟煤的有机物。Т. А. Кухаренко 采用不同种类的煤研究了个规律。他指出,随着煤化过程的加深,芳香环缩合程度加强,其含量也由于侧链的减少而增加。同时,碳含量、C/H 比值、