

碳酸盐沉积和生物礁——国外研究现状

，奚瑾秋

刘宝珺

(地矿部地质情报研究所)

(成都地质矿产研究所)

编者按：奚瑾秋、刘宝珺同志编写的有关碳酸盐岩隆和生物礁材料包括概念、分类、结构、构造、成分、标志及演化发展等几部分，采用和吸收了国外最新资料及最近的研究成果，材料新颖，概念清楚，附图美观。本文所介绍的岩隆各种特征有利于在野外进行鉴别，介绍的一些新方法有助于野外露头的详细研究。特别值得提出的是文中收集了不少苏联学者的成果，这在近十多年来我国对苏联学者的研究了解甚少的情况下，是很有参考价值的。

这份材料是应当前开展的1:50000区调工作的要求而编写的。文中对岩隆和礁的概念、特征及进行深入研究的一些方法作了解释和描述，因此对野外工作极有参考价值，达到了预期目的。由于文章内容丰富，涉及面广，所以篇幅较长，本刊拟分三次连续载完。

——本刊编辑部

生物礁本身就是碳酸盐岩的组成部分，而且是重要的组成部分。碳酸盐岩在地壳中占沉积岩分布总面积的20%，而沉积岩占岩石圈的5%，出露面积占陆地的75%。因此，研究地壳的组成，研究沉积学，特别是对碳酸盐岩的研究是很重要的。所以对生物礁的研究具有重要的科学价值和理论意义。

生物是不断进化，不断从低级向高级发展的。组成生物礁的生物占地球漫长历史时期整个生物界的数字是很可观的，研究其发展、变化又是研究整个古生物的发展、变化的重要组成部分，因此，从辩证唯物主义的生物发展观点来看，研究生物礁的发展也是很重要的。

研究生物礁跟找矿结合起来，既有实用意义，也有经济价值。研究生物礁又是石油勘探的一个重要对象。阿拉伯地区以及世界上许多高产油田往往是在古生代、新生代的生物礁里打出来的，因此，搞石油的人都搞礁。比如，加拿大是研究泥盆系比较有成就的国家，因为加拿大的石油40%是取自于泥盆纪的生物礁。此外，愈来愈多的资料还证明，生物礁与很多金属、非金属矿产密切相关。因此，把研究生物礁与研究金属、非金属矿产结合起来，也是推动生物礁研究向前发展的重要因素。

当前国内外对生物礁研究都围绕着以下方面进行：(1)生物礁的形态、大小与围岩的接触关系；(2)生物礁的岩性特征、结构和构造；(3)生物礁的生物组成（包括造架生物、联结包覆生物、附礁生物）、生物群落以及生物群落演化；(4)生物礁的沉积相带划分和微

相研究；(5) 生物礁的发育过程和阶段；(6) 生物礁的成岩作用、成岩层序和孔隙特征；(7) 生物礁的区域分布规律。

从生物礁研究总趋势来看，基本上沿着两个不同方向开展：(1) 从古生物学、古生态学角度来研究生物礁的性质和成因；(2) 从碳酸盐岩石学和沉积学角度来研究生物礁。前者如美国和西欧以研究藻类化石为主的一批古生物学家，他们对生物礁作出了重要贡献，像特米 (D. F. Toomey)、里丁 (R. Riding)；后者如美国、加拿大从事油田勘探的生物礁研究者，以岩石学、沉积学手段来研究生物礁。他们重视礁的野外特征，礁的结构、构造，特别重视研究礁的成岩作用对油气储集的影响。

西德以弗吕格教授 (E. Flügel) 为首的一批生物礁研究者，既重视碳酸盐岩石学研究，特别是微相研究，又进行生物礁内各类生物的综合研究，因而取得了显著的成果。看来只有把两者紧密地结合起来，才能阐明生物礁的特征和发育规律。

生物礁的术语

岩隆 (Buildup) 近年来，西欧、北美广泛使用这一术语。斯坦顿 (Stanton, 1967) 首先使用了岩隆一词，他提出了三条确定岩隆的准则：(1) 岩隆是由有骨骼的生物形成的原地碳酸盐堆积；(2) 在沉积期间，它生长于地貌高地之上；(3) 包括“礁”、“生物丘”、“生物礁”、“丘”等术语。其后，海格尔 (1974) 对岩隆下了如下的定义：(1) 岩隆是正向地貌隆起，它与周围的同期沉积物以及上覆和下伏岩层在组成成分和内部组构上均有明显不同；(2) 厚度较同期沉积物要大；(3) 在沉积期间比周围的沉积物处于地势的高处。岩隆这一术语只说明一个三维空间的碳酸盐几何体，因而它完全是形态术语，而不涉及其内容。岩隆既可能是由造架生物形成的抗浪构造，也可能是水流作用形成的生物碎屑或鲕粒滩，也可能是灰泥堆积，因此它包括生物成因、水动力成因，甚至可能包括了数种成因。岩隆的大小规模并无明确规定，小的岩隆可在野外剖面上直接见到，而大型岩隆可呈为山脉，只有通过区域填图才能揭露。巨大的岩隆相当于碳酸盐台地 (Carbonate Platform) 或碳酸盐陆棚 (Carbonate Shelf)。

古代生物建隆 (Ископаемые Органогенные постройки) 在苏联第三届古生态-沉积岩石学会议 (1968) 以后，广泛使用了这一术语。它是指“大多在生长位置上被埋藏的动物 (主要是群体的) 和植物有机体的遗体所形成的地质体”。这个定义作为所有类型的古代生物建隆 (生物层、生物丘、礁等) 的总括性概念。随后 И. К. Королюк 和 М. В. Михайлова (1975) 提出了略有展开的定义：“生物建隆是一种独立的、块状的碳酸盐体，由群体和单体生物的骨骼残骸所形成。这些生物互相连生，在生长地被埋藏，营造了坚固稳定的骨架。在骨架内堆积了成因上与其有关的碳酸盐沉积物，从而形成了特殊的海底地段，这里有自己的生物群落，有特殊的沉积物组合，耸立凸起，而有别于周围地段” (图 1)。古代建隆产于层状沉积物中，骤然看来与成层地层司空见惯的情形格格不入，似乎是破坏了自然层序，因为它的岩性和生物化石组合都不同于周围的沉积层 (图 2)。生物建隆发现于自晚前寒武纪以来的老地层中，目前在现代的热带海洋中仍在继续形成。

生物丘 (Bioherm, Бютерм) 这一术语是柯明思 (Cumings, 1932) 所创立的，指生物成因的丘状构造或其它圆形构造，它们分布于其它岩性之内，或被其它沉积物所包围。奈

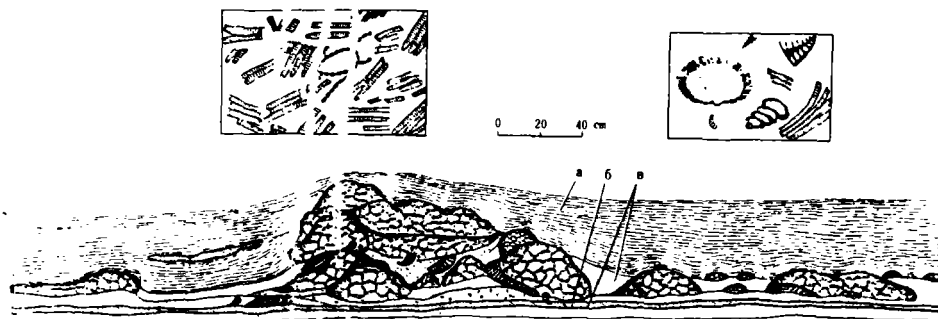


图 1 连续生长的块状珊瑚群体所形成的生物建隆（生物丘）

下志留统，Подолія (А. Я. Бергер, Н. И. Варанова)

旁边是正在生长中的，还未形成建隆的单个的珊瑚群体

周围的泥质页岩 (a)、砂岩 (b) 和碎屑灰岩 (m) 紧靠原来坚硬生物丘体上



图 2 苔藓动物生物建隆 (d) 及其产状。上第三系，亚速海岸

(П. И. Андрусов, 1961)

e-近欧特期灰质层；kr-苔藓动物灰岩上的柱状皮壳；dk-苔藓动物灰岩的碎屑；

a-坡积层；m-岩屑堆；1—7-与苔藓动物灰岩同期的层状沉积

尔逊 (Nelson, et al., 1962) 专指那些原地的生物堆积为生物丘。П. М. Задорожная 等 (1982) 认为其埋藏形态是块体、凸透镜；生长形态是海底丘。生物丘的特点是多样性，一般来说，地质体为等轴状。它可以是圆形、穹状、圆面包状、圆柱状、蘑菇状等等。生物丘的大小多为 0.5-10m (直径和厚度)，偶尔 15—20m。他们还认为，较大的建隆划入生物丘块体显然更合适一些。生物丘的组成以骨架灰岩为主。N. К. Королюк 和 М. В. Михайлова (1970, 1977) 按造丘生物的数量和分布方式把生物丘划分为：(1) 由一、二种生物组成的单一的或简单的生物丘；(2) 几种造丘生物在生物丘体内成层分布所组成的分带的生物丘；(3) 几种生物呈巢状分布所形成的斑点状生物丘。N. Т. Журавлева (1966) 把生物丘分为两类：双顶式 (дифоидный) 和单顶式 (Монофойдный) (图 3)。底平顶窄的生物丘属于单顶式，这里有穹状的、透镜状的、饼状的等等。它的厚与底部宽之比 < 1 。在平面上这种建隆往往具有弯曲的轮廓。双顶式生物丘的上、下窄，中部宽，好象有二个顶。通常它向高处伸长，厚度与最宽的中部之比或者相等，或者 > 1 ，即生物丘的厚度往往大于其直径。结核状、圆形、圆柱状、蘑菇状、柱状等建隆均属之。在平面上它具有圆形或椭圆形轮廓。有时生物丘具有复杂的形态，好象是双顶式和单顶式建隆结合在一起，例如，图 4 示出的生物丘开始发育为双顶式往高伸长 (I)，在某一个发育时期，骨架生物主要是在侧向上生长 (II—III)，建隆就有了单顶式生物丘的特征外貌。生物丘是生物建隆最常见的类型，它包括在生物丘块体和礁块体的组成之内，也常常形成独立的孤立体，在这种情况下，生物丘一般呈长链状分布，或在一个岩层内在一定面积上集聚。由于规模较小，岩石成块状，生物丘在层状沉积层中可以清楚划分出来。

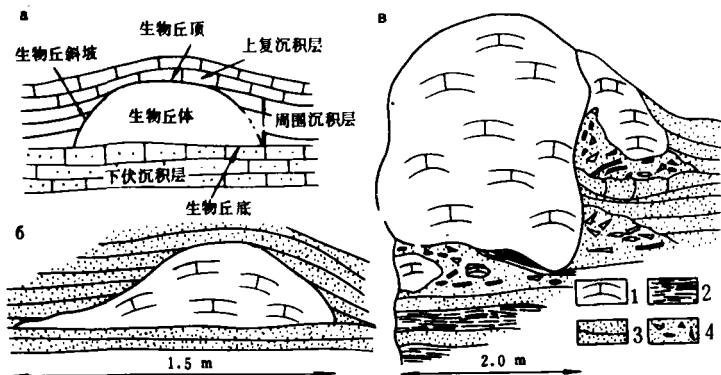


图3 生物丘构造原则示意图(a) (И. К. Фортунатова) 及单顶式(6)和双顶式(B)生物丘实例

下寒武统, 阿尔泰-萨彦区, Базанха河 (И. М. Задорожная)

1-生物丘灰岩; 2-粉砂岩; 3-砂岩和细砾岩; 4-含藻灰岩碎屑的角砾岩

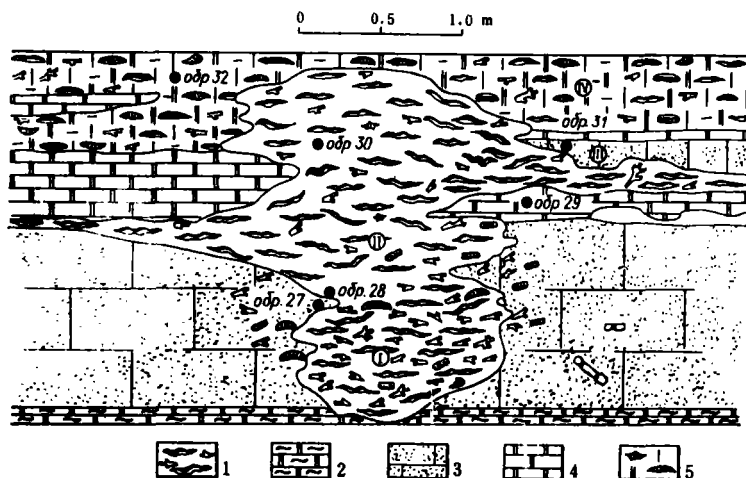


图4 珊瑚-层孔虫双顶式生物丘的复杂形态, 为端面接触和透镜状尖灭接触

志留系, Подолня (А. Я. Бергер)

1-生物丘灰岩; 2-白云质泥灰岩; 3-海百合碎屑灰岩; 4-白云岩; 5-生物层灰岩

生物丘块体 (Биогермный Массив) 这个术语是 М. В. Михайлова (1959) 提出的。它是空间上独立的块体, 由区内紧密排列, 剖面上 (时间上) 叠生的生物丘形成。埋藏形态是凸起的块体, 生长形态是海底丘, 耸立于同期沉积层之上。生物丘块体的生长高度有两个类型: 一种情况是海底丘的高度不超过单个生物丘的高度; 另一种情况是相当几个生物丘的高度, 它们叠生在一起, 形成很高的海底丘。但是在两种情况下, 这种类型的生物建隆在生长过程中都不达到水边线, 在浪蚀条件下不被冲刷。生物丘块体可有不同大小: 底面直径从几十米到几百米, 厚几十米。生物丘块体所形成的地质体, 常常是凸起的丘状, 界线简单, 但有时见到奇形怪状的轮廓。生物丘块体的内部构造一般决定于沉积堆积的古地理和古构造条件: 相环境愈不稳定, 生物丘块体的构造就愈复杂。И. К. Фортунатова (1976) 根据构造的复杂程度将生物丘块体分为单生物丘块体和多生物丘块体 (图 5)。在单生物丘块体中, “伴生的岩石数量极小, 为小透镜体和包裹体, 在块体之内很难把单个的生

物丘划分出来”。块体露头通常呈盘石般的峻陡式悬崖,很难查明内部构造细节。多生物丘块体“由几个能清楚划分出来的生物丘和把它们分隔开的伴生的层状岩石透镜体组成”。组成它的单个的生物丘在风化时很清楚地独立出来。生物丘块体的厚度多数情况下超过同时代沉积层的厚度。它们的相互关系决定于建隆的生长高度。对生物丘块体来说,端面接触和毗连接触最为常见,周围岩层可能有原始倾斜度。生物丘块体的周围沉积层中实际上没有冲刷角砾岩,这是它和礁块体的区别。

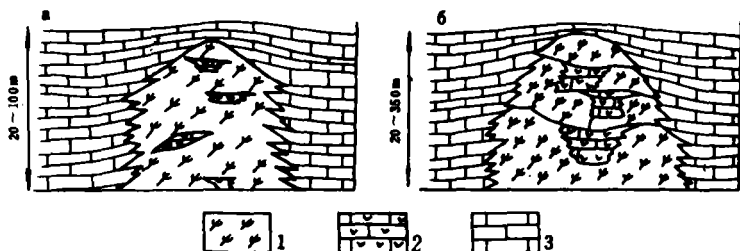


图5 生物丘块体类型 (Н. К. Фортунатова)

a-单生物丘型; b-多生物丘型

1-块状骨架灰岩; 2-3-层状沉积层 (2-伴生的生物丘间的沉积层; 3-周围沉积层)

生物层 (Biostrome, Биостром) 它是由柯明思 (1932) 所建立的术语。它不具地貌隆起, 横向伸展甚远, 它由完整的生物组成。在苏联, 对生物层的概念和定义已有相当大的修正。根据苏联第三届古生态-沉积岩石学会议的决议, 生物层是块状或层状的古代生物建隆。它的埋藏形态为透镜体、层, 生长形态是海底植丛 (1968)。И. М. Задорожная 等认为, “生物层”的这个概念与柯氏原意不同。只有那些生长时形成了原来坚硬的骨架构造的固架生物所营造的层状碳酸盐体, 才属于生物层。生物层的厚度从几厘米到几米, 长可达几千米。生物层岩层的底面一般是平坦的, 顶面常呈波状起伏, 反映了钙质群体的生长面。生物层中骨架生物的生长速度与相邻海底地段同期沉积物的堆积速度相当, 因此, 生物层的厚度相当于周围沉积层的厚度。生物层与围岩的接触, 为透镜状尖灭接触或者逐渐相变的互生接触。骨架生物在生物层岩层内可以是均匀分布, 斑点状分布, 或者具有层状分带 (见图6)。

生物层广泛发育于地台区, 长达几百公里, 是填图时的良好的标志层。例如, 在西伯利亚地台的剖面中, 在几个层位上划分了下寒武统藻类生物层 (标志层), 它们的长度从20—30km到几百公里, 厚度从1-2m到20m (Журавлева 等, 1979)。研究生物建隆中的生物时发现, 在多数情况下, 由建隆中心向边缘生物的分布有一定的规律。

生物层块体 (Биостромный Массив) 是苏联学者所建立的术语, 它是层状或透镜状碳酸盐体, 由剖面中 (时间上) 连续生长的生物层总体形成。

生物层块体只作为埋藏体存在, 因为在生长期它和单个的生物层一样, 是海底植丛, 高度与骨架生物群体的高度相应。其生长速度相当于同期松散沉积物的堆积速度, 因此生物层块体的厚度实际上等于或者略微超过同时代沉积层的厚度。与围岩的接触是透镜状的或互生型。代表生物层块体的地质体, 一般具有清晰的层状形态, 其长度 (几十米—几千米) 超过其厚度 (几十米) 很多倍。显然, 这类地质体用生物层岩层的名称会更相应一些。层状叠层石更是这样, 它的岩层延长有几十公里, 厚度有几百米。如果同一类型的相条件,

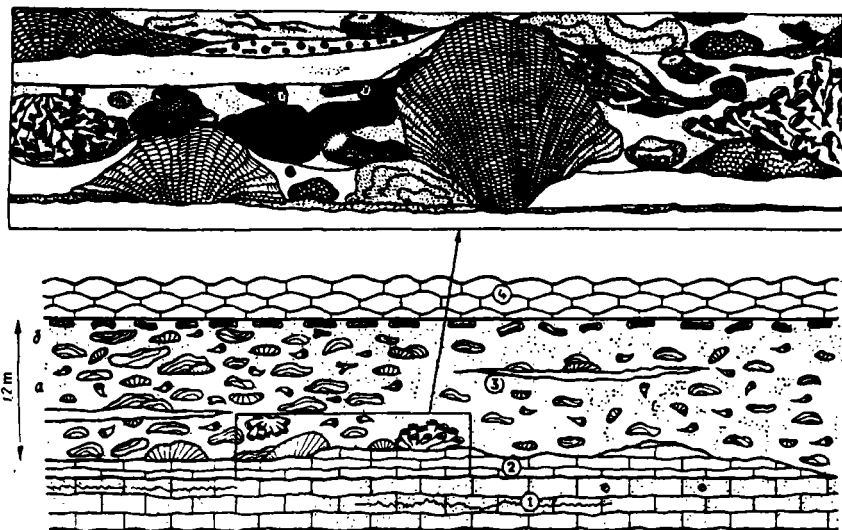


图6 层孔虫-珊瑚生物层中生物化石的分布, Венлок, 西伯利亚地台 (А. Я. Бергер, Н. И. Баранова)

1-粗屑不均匀层状石灰岩; 2-含岩屑的板状石灰岩; 3-层孔虫-珊瑚生物层 (a-层孔虫、板状珊瑚、群体和单体被珊瑚构成的部分; b-柱状层孔虫构成的部分; 4-团块灰岩

在埋藏状态中长期保存, 生物层在区内分布有限时, 则可以形成凸透镜状或不规则形状的地质体。从总的外形看, 这地质体与其他类型的生物块体类似, 完全符合“生物层块体”的概念。

生物层块体和岩层的内部构造特点是具有不清晰的生物骸层理, 反映了群体骨架生物连续生长的不平坦的表面。生物层岩层常作为生物丘块体和礁块体的基底。

帽状体 (Калиптры) Calyptra, 希腊语, 意为“根冠”。这个术语是 Лугинина В. А. 在 1971 年提出的。这是最小的生物建隆, 大小由几厘米到几十厘米。帽状体形态多种多样: 圆形、穹状、圆面包状、柱状等等。可由一种或几种类型的生物组成。生物在帽状体内的分布可以是均匀的、带状的、巢状的。相当于群体形态自然的原始生长面的帽状体表面, 常常凸凹不平 (图 7)。帽状体在生长期为凸起形态, 其高度可与全部或部分埋藏的帽状体相当 (Лугинина В. А., 1973、1975; Журавлева Н. Т., Лугинина В. А. 1977)。

这种类型的建隆一般在大量带入陆源物质的海盆地段发育 (Задорожная Н. М., 1974)。周期性的淤积显然阻碍了骨架生物连续分布, 因而独立成小的穹隆 (帽状体), 在其间隙中堆积了碎屑物质, 并杂有泥质, 结果就形成了表面上覆盖一层泥膜的小独立体 (5—50cm)。帽状体与其他类型的建隆的区别在于其中可有大量泥质杂质充填在生物遗体骨骼部分之间的间隙中。

帽状体块体 (Калиптровый Массив) 是空间上独立的块体, 由紧密生长的帽状体形成, 其次是帽状体间隙中的生物碎屑岩和化学沉积。埋藏形态是独立的块体, 主要为不规则的透镜状。古地理生长形态是海底上紧密排列的小圆丘, 其高度不超过帽状体的大小。帽状体块体的厚度实际上等于同时代周围沉积层的厚度。

有些研究者反对划分帽状体块体作为古代生物建隆的独立形态, 他们认为, 这类形成物相当于帽状体构成的生物层块体, 因为其生长高度不超过单个帽状体的高度, 这和由帽状体组成的生物层岩层中的情况一样。但是, Н. М. Задорожная 等 (1982) 把帽状体块体单

微构造, 以使地质人员注意这类岩体构造的特殊性, 因为它的构造比帽状体生物层的总和更复杂。后者可能只是帽状体块体的个别情况, 因帽状体块体一般不只是由帽状体组成, 而且也由生物丘以及伴生的生物碎屑岩组成。图瓦下寒武统帽状体块体就是一个例子 (Задорожная Н. М., 1974)。该块体长 4km, 厚 170m, 为不规则的透镜状, 系由紧密排列的藻类帽状体组成, 帽状体大小为 2—5cm 到 50cm, 由灰泥物质胶结而成。在帽状体当中分布着孤立的藻类生物丘, 主要为单顶式。在西端, 帽状体块体“分裂”为二个生物丘垅, 系由紧密排列的生物丘块体组成 (见图 8)。

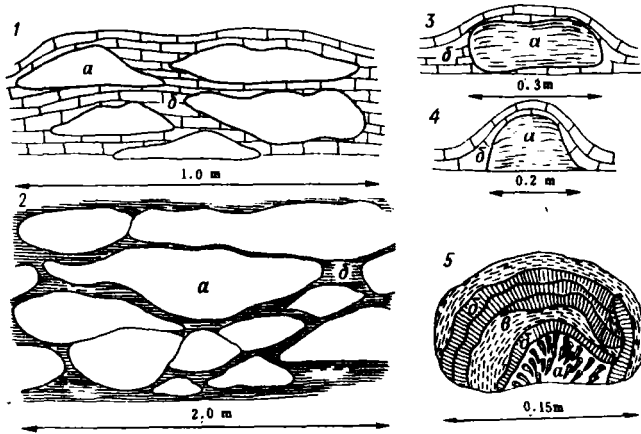


图7 帽状体

1—2—透镜状藻类帽状体, 1—层状灰岩 (6) 中的孤立的帽状体 (a); 2—帽状体块体结构细节, 帽状体 (a) 之间的间隙被泥质 (6) 充填, 中寒武统, 西伯利亚地台, Амга河 (Н. М. Задорожная); 3—4—孤立的藻类帽状体。周围的石灰岩 (6) 覆盖了帽状体 (a), 奥陶系, 哈萨克斯坦 (Жураптева И. Т., Мылкова Е. И. 1977); 5—帽状体内部构造实例 (珊瑚, a—单体的, 6—皮壳的, б—碎屑—泥质的), 上侏罗统, 克里米亚 (Л. В. Осадничая)

(Л. В. Осадничая)

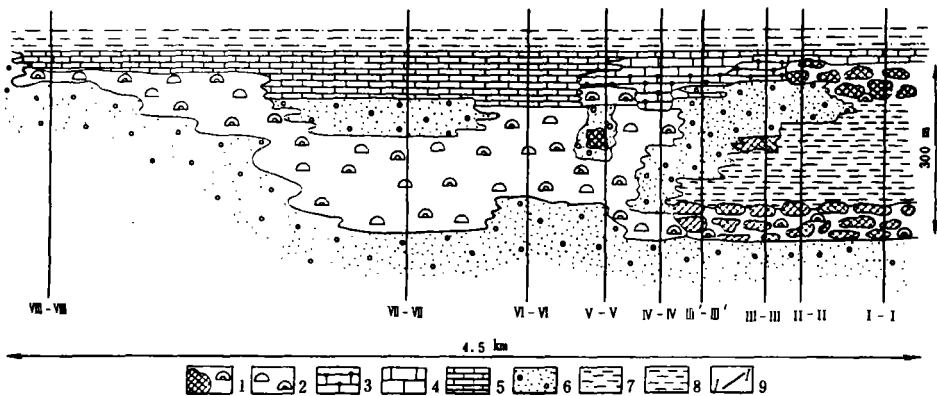


图8 帽状体块体岩相断面图, 下寒武统, 图瓦 Байн-колт 河 (Н. М. Задорожная)

1—生物丘垅; 2—帽状体块体, 帽状体之间有个别的生物丘; 3—帽状体和淡紫色的团块灰岩, 含个别的生物丘; 4—粗板状尸积层灰岩; 5—薄板状泥质灰岩; 6—灰暗绿色细砾砾岩; 7—绿色泥质岩; 8—绿色粉砂岩, 细粒砂岩; 9—断面—剖面线

滩 (Bank) 这个术语由 Lowenstam (1950) 提出。滩由不能形成抗浪构造的生物组成。由于它缺乏联结生物, 因此该构造没有固定的形状, 受波浪和水流作用的制约。一般显示

低缓的坡角。滩内生物仅能产生沉积物,但不能抗浪。如滩内生物骨屑已被胶结,并能抗浪,也称为滩。滩有时也可称为生物滩 (Organic bank)。

滩也具有一定的或微弱的地貌隆起,但显然不及岩隆那样明显。它由生物和非生物颗粒组成,生物已破碎,受到搬运和改造。如由各种生物碎屑组成的滩,称为生物滩或生屑滩;如全由鲕粒组成,或主要由鲕粒组成,则称为鲕粒滩;如由各种砂砾屑组成的滩,则称为粒屑滩。

由上面所介绍的一些术语可见,生物礁是碳酸盐岩分布区由各种生物组成的一种特殊的碳酸盐隆起构造。在欧美称为碳酸盐建(岩)隆 (Carbonate buildup)。在苏联称为生物建隆。它是一种独特的碳酸盐体,由群体或单体生物骨骼组成,彼此叠覆生长,保存于生长地,形成坚固的骨架。或为几代生物的骨架,在生长时粘连在一起,形成坚固的构造,耸立于海底之上。它具有特有的沉积组合和生物群落。因而它是古生物学、古生态学的重要研究对象。为了有别于现代的珊瑚礁,把古代礁称之为生物礁 (Organic reef)。

泥丘 (mud mound) 比利时籍华人古生物专家钱宪和博士 (H. H. Tsien) 对它有独特见解。他认为,泥丘是由藻和菌类作用形成的钙质泥晶所建造起来的穹隆状构造。其中包含有能忍受混浊水体的生物,以及适宜生活于波浪带之下以及接近波浪带的生物。

关于泥丘的成因有不同的认识。有人认为是沉积作用而成。但泥丘中许多结构构造和现象是无法用沉积作用来解释的。有人认为泥丘主要是由苔藓虫、珊瑚、海藻、海绵等枝状生物捕获灰泥的作用而成,但实际上泥丘的内部和其外围都可以有同类型的枝状大生物同时存在,它们的生态条件是相似的,这就很难解释同一类型的生物在同样的条件下有的捕获灰泥,有的又不能捕获灰泥。而且在现代的生物中,从未发现过能捕获灰泥形成泥丘的实例,何况大生物捕获超过自身体积千百倍的大量灰泥将自己掩埋而不被窒息,这也是无法设想的。近年来,经过不少学者的仔细观察和研究,发现在泥丘中普遍有类似层纹迭层,或藻丝体的构造,说明泥丘的形成主要是藻和菌类的生物作用而成。

以比利时泥丘为例,它主要发育在早弗拉斯阶 (D_3 , Frasnian) 末期一晚弗拉斯早期的海进相中,在有较多的泥质陆源物进入海盆的条件下,位于向南倾斜的平缓斜坡上的一定深度范围内建造。它主要由能忍受混浊水的一些珊瑚、海绵、藻类、棘皮、以及由微生物形成的构造组成。从不同的生物相组合的泥丘,在古地理上的分布位置看,反映了不同深度和水动力条件。(未完待续)