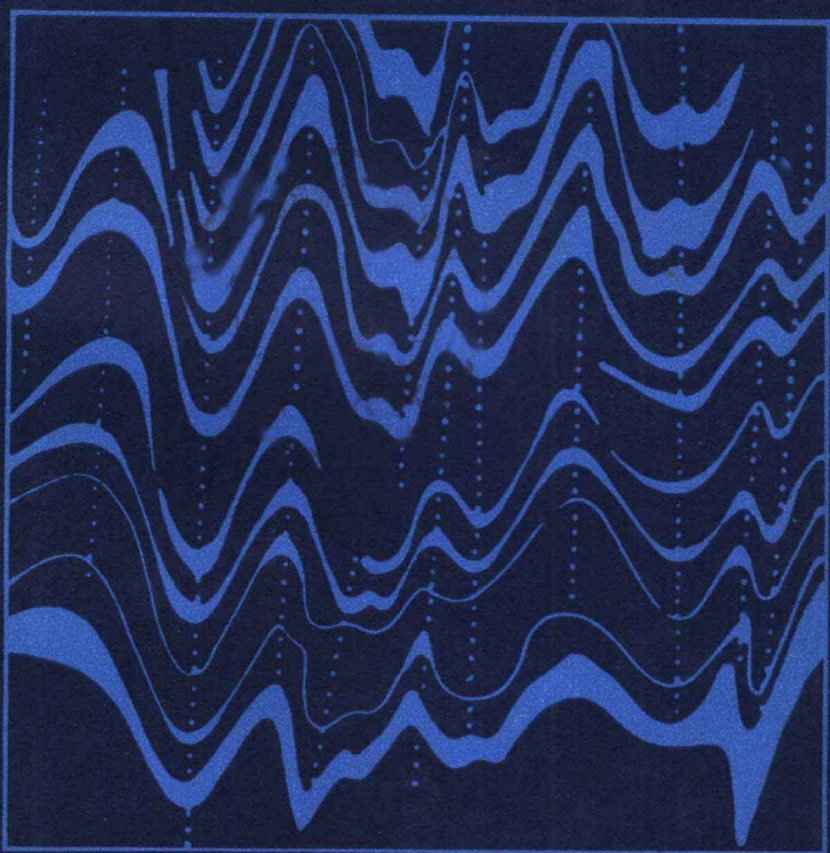


变质杂岩 的变形和叠加褶皱



[苏] A. H. 卡扎科夫 著 地质出版社

56-761
03329

变质杂岩的变形和叠加褶皱

〔苏〕 A.H.卡扎科夫 著

刘 智 星 译

王 述 训 校

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书在研究褶皱形式和构造要素的形态、地质特征、几何特征及定向方位的基础上,阐述叠加变形的研究方法。第一章论述变质岩的构造要素及其在研究叠加褶皱中的意义(原生沉积构造、条带状构造、片理、褶皱、线理)。第二章论述几何分析,说明藉助于几何分析要解决的问题及其解决方法,介绍了柱状及锥状褶皱的极射赤平投影以及面上构造资料的几何分析。第三章阐述叠加褶皱构造的特征,论述叠加变形的标志、确定变形顺序的方法以及各期褶皱之间、褶皱和片理、线理、岩墙、岩脉、变质矿物及超变质作用之间的先后关系。

А.Н.КАЗАКОВ
ДЕФОРМАЦИИ И НАЛОЖЕННАЯ
СКЛАДЧАТОСТЬ
В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

变质杂岩的变形和叠加褶皱

[苏] A.Н.卡扎科夫 著

刘智星 译

王述训 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

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: 850×1168 $1/32$ 印张: 7 $1/8$ 插页一个 字数: 187,000

1981年11月北京第一版·1981年11月北京第一次印刷

印数 1—2,980册·定价1.50元

统一书号: 15038·新·672

目 录

绪言	1
第一章 变质岩的构造要素及其在研究叠加褶皱活动时的意义	3
概述	3
立体构造要素	4
原生-沉积构造	4
韵律层理	6
斜层理	13
滑坡构造	16
原生-沉积构造特征在研究褶皱活动时的应用	17
条带状构造	20
片理	23
平行层理的片理	24
平行褶皱轴面的片理和劈理	26
与褶皱活动无关的构造片理和劈理	35
特殊形式的片理	37
矿物的定向	41
褶皱	44
褶皱要素	44
褶皱的基本空间类型	50
褶皱形式的主要类型	52
褶皱的几何特征	78
岩层的刚性对褶皱的形态、内部构造及规模的影响	87
主要褶皱和附加褶皱	95
和石香肠有关的褶皱变形	108
面状构造要素	112
线状构造要素	112

线状要素的地质分类.....	112
同变形线理和同变质线理.....	113
线理的类型及其和构造运动的关系.....	113
矿物线理.....	116
线状构造要素的区域性定向.....	120
第二章 几何分析基础	126
目的和方法	126
极射赤平投影网及其用法.....	127
网的类型, 平面和直线的投影.....	127
在网上解决最简单的问题.....	131
面状和线状要素的定向方位的统计分析.....	134
使用的图解类型.....	134
柱状和锥状褶皱的立体几何特征.....	138
面上构造资料的几何分析.....	151
第三章 叠加褶皱构造 (形态、地质特征、几何特征)	156
研究叠加褶皱构造的基本概念和方法前提	156
叠加变形及其发展阶段.....	156
构造要素的几何概念、符号及图解.....	157
叠加变形的标志及确定变形顺序的方法.....	162
先后关系的类别.....	162
褶皱的先后关系.....	163
一阶段褶皱, 叠加褶皱的特征、标志及条件.....	163
二次变形时褶皱的形态.....	172
二次变形时褶皱的立体几何特征.....	184
多次变形时褶皱的特征 (三阶段及以上)	189
褶皱和片理的先后关系, 不同时期的片理.....	192
褶皱和片理的先后关系的类型.....	192
不同时期片理的相互关系.....	194
褶皱和线理的先后关系.....	198
褶皱、变质矿物及超变质作用的先后关系.....	201
同褶皱期矿物及间褶皱期矿物.....	201
混合岩和褶皱活动的关系.....	203

褶皱、岩墙和岩脉的先后关系·····	208
同期褶皱在面上的对比·····	210
对研究叠加褶皱活动的一些实际建议·····	212
在变质杂岩的形成过程中各种地质事件的顺序（以波罗的地 盾拉多加群为例）·····	214
结束语 ·····	220

绪 言

研究天然变形属于构造地质学的范围。和任何其它科学一样，构造地质学的一切部分经常都在日臻完善和更新，许多原来是次要的方面获得了发展的远景。近10—15年来对变质杂岩的构造研究表明，研究多次出现的彼此叠加的褶皱变形（统称为叠加褶皱活动）是这些发展远景之一，其研究结果最能说明变质岩层中褶皱活动的演化情况。此外，已经查明，研究非变质岩石所用的普通构造地质学方法对于变质岩的构造研究是不够的。这是因为变质岩的构造及成份的特殊性，作为地壳深部的产物而具有特殊的生成发展的地质历史。

多次叠加褶皱的确定，一方面开创了研究褶皱作用，特别是同变质的褶皱作用的原则上新的可能性，另一方面则要求拟定新的方法。不同的作者在研究具体的地区时拟定了各别的方法，其成果已加以发表。在国内文献中，关于研究方法的最有意义的著作有Ю.И.拉扎列夫（1971），Ю.В.米列尔（1973a, 1973b），Е.И.帕塔拉哈及Ю.Ф.斯列佩赫（1972），А.С.符拉斯（1969a, 1971），Г.С.符拉斯（1969），В.В.艾兹（1959, 1967a, 1967b, 1968, 1970, 1972a, 1972b）。F.J.特纳及L.E.韦斯（1963），J.G.兰塞（1967），В.В.艾兹（1972a），Ю.И.拉扎列夫（1972）曾作了一些总结。虽然一些局部的方法问题曾很好地加以研究，但对于叠加褶皱活动的研究方法并未足够全面系统地加以论述。

对于褶皱及其它变形的资料原则上可以在三种程度上加以研讨：形态-几何学研究，运动学研究及动力学研究。叠加褶皱活动的动力学解释目前尚属研究得很差的领域。运动学分析方法也尚未达到完善的阶段，仍不能作为野外构造研究的基本方法。现

在应当从实际应用研究叠加褶皱活动的简单而行之有效的形态-几何学方法开始。

因此，本书以论述褶皱形式和构造要素的形态、地质特征、几何特征及定向方位为基础。书中很少使用运动学术语。镜下研究一般不予论述。本书的构思及编写为的是使本书适用于野外构造研究。本书并非单纯重述原已众所周知的材料，而是修订了许多陈旧的原则并对某些惯用的方法重新加以评价，在必要的情况下简化了过去的方法并提出了一些原则上新的方法。作者在编写本书时广泛利用了本人在北贝加尔高原，波罗的地盾，喀尔巴阡山脉及亚速海附近地区的野外研究中获得的资料。书中全部插图，除特别说明者外，都是作者自己作的。

作者在编写本书时多次征询地质-矿物学候补博士 A.A. 萨维利耶夫在岩石学方面的意见。地质-矿物学博士 M.A. 吉利雅洛娃及 B.A. 格列玻维茨基盛情同意审阅手稿并提出一系列宝贵的意见及希望。责任编辑地质-矿物学博士 IO.M. 索科洛夫和 K.A. 舒尔金作了一些修正，使本书有所改进。作者诚恳地向这些同志致谢。

第一章 变质岩的构造要素及其在研究叠加褶皱活动时的意义

概 述

呈现褶皱变形的可能性取决于岩石的物理状态及内部构造。如果岩石的物理性质均匀而且在构造上又是各向同性的，则它对外力的反应表现为产生节理、断裂及其它破裂现象，而不表现为形成褶皱形态。只有具有内部各向异性的岩石才会发生褶皱变形。

按照И.戈格利(1969, 180页)的正确意见，从力学的观点沉积岩系的层状构造是产生褶皱变形的必要前提。事实上，最有利于呈现褶皱变形的是原生层状岩石的杂岩。具有某种成因发育良好的片理的均匀非层状杂岩(某些火山成因的岩层)，褶皱变形比原生层状岩石杂岩微弱而且发育形式也比较简单。最后，块状的均匀岩石的杂岩则不呈现褶皱变形。因此，岩石构造的各向异性越强，其褶皱作用也就表现得越显著。

变质岩的各向异性是在沉积物的原生堆积作用时及其后的变质再造中物质分布不均匀而形成的。这样产生的其构造或起源相同的基本单位我们称为构造要素(структурные элементы)。构造要素基本上具有实际的表现(片理等)，也可以纯粹是几何上的概念(如褶皱的脊线或其轴面)。可以恰当地把它们分为立体、面状及线状三种(表1)。构造要素的立体特征主要反映在说明其成因的岩石的状态(构造)，而面状及线状构造要素则基本上是反映其几何特征。在研究褶皱变形的顺序时这两种构造是同等重要的。

构造要素按产生的时间可以分为原生-沉积，同褶皱(同变

形)及同变质三种。某些研究者把后两种合并为次生构造要素。它们通常不孤立出现,而形成有规律的共生组合。在同变质的褶皱作用中与褶皱同时可以产生变质条带及平行于它的片理,面状及线状矿物定向方位,矿物集合体及石香肠状断块的线理,岩脉及隐蔽的节理等等。所有这些要素一起组成构造共生组合(структурный парагенезис, Паталахa, 1970)。在共生组合要素之间存在的密切的成因及空间关系,在分析依次叠加的褶皱变形时得到了广泛的利用。

表1 变质岩的最主要的构造要素

立体构造要素	面状构造要素	线状构造要素
原生-沉积构造(层理等)	层 面	斜层理和水平夹层的交线, 滑坡褶皱的脊线等
变质条带	界 面	条带或片理在挤压透镜体时可以产生线理
片 理	片 理 面	
矿物定向方位	矿物晶面定向方位	矿物延伸或其轴、晶面法线定向方位
褶 皱	轴 面	脊 线

构造要素是编制构造-地质图的素材。它们的特征及其在各地的定向方位研究得越详细,就越能更完全地查明变形出现的顺序及褶皱构造的演化。

下面在对构造单元的评述中特别注意那些在研究变质岩的构造时必须了解的特征。

立体构造要素

原生-沉积构造

毫无例外,原生-沉积构造是最老的构造要素,而条带及片理则可产生于变质杂岩的不同发展阶段。根据原生-沉积构造的

特征可以在剖面某一部分的范围内确定沉积的顺序。根据这些原始资料可以查明最老的褶皱形式的状况及定向方位（见17页）。

现在可以十分肯定地认为变质岩中原生-沉积构造（韵律层理，斜层理等）表现得丝毫不比未变质的岩石差，甚至还好一些（Сидоренко, Лунова, 1961; Савельев, 1974等）。在变质作用时层理犹如“显影”一样。在粒度及（或）化学成分上很少区别的未固结沉积物的夹层，在变质情况下由于形成新矿物而明显地呈现出来。这是因为在这种情况下造岩组份的迁移极其有限。每一层都好像是一个封闭系统，而再造作用是等化学地实现的，即没有重大的带入及带出（Савельев, 1974）。在原生-沉积岩层的原处产生它们的变质类似物，和原生沉积物具有同样的成分或区别很小。例如，这时，随着变质程度的升高砂岩被再造为石英岩、黑云母片麻岩、石榴石-黑云母片麻岩等等。泥岩和粉砂岩变为千枚岩及云母片岩，而后者则又变为含蓝晶石、矽线石、红柱石及其它特殊矿物的片麻岩。

原生-沉积构造在变质作用的绿片岩相及角闪岩相的低温部分表现得最好。在角闪岩相的高温部分及粒变岩相的条件下变质而成的岩石，由于超变质现象的强烈发育，原生-沉积构造的表现程度大大降低。在超变质带中很少发现原生-沉积构造，可能是因为层内生成矿物的等化学条件受到破坏的缘故。

侵入体的贯入对于保存原生-沉积构造产生了不良影响。在接触带附近这些构造不能保存或保存不佳。据S.加维林及R. V. 卢塞尔，在巨大侵入体包围的瑞士哥达岩系中，仅在远距接触带几公里之处才有原生-沉积构造保存下来（Gavelin, Russell, 1967）。

原生-沉积构造包括韵律层理、斜层理、滑坡构造，具冲刷面的构造等。《变质杂岩地质填图方法指南》（1957）对前寒武纪岩石的原生-沉积构造首次作了系统的描述。

韵律层理

构造韵律及基本沉积韵律 没有无韵律的层理这种信念在沉积岩石学者中间越来越广为流传。对此应作这样的理解：结合成段、组、群的沉积岩层在其中形成规模逐渐增大的完全有规律的组合（Львова, 1967）。这些组合的各个成员是有相当厚度的岩层，以致在露头的范围内往往不能确定整个有规律的韵律构造。只有在相当广大的区域内进行大面积的研究之后才能大体上认识岩性规律。

前寒武纪沉积以两种成因类型的韵律层理为特征（Савельев, 1974）。

1. 构造韵律 这些韵律是由于沉积区内特有的构造活动而长期形成的。其最一般的形式是具有相当厚度的段、组、群。构造韵律既可以是海进的，也可以是海退的，因此它们完全不适于确定层序。某些构造韵律在厚度上和基本沉积韵律相当，但没有后者的粒级层理（见后）。如B.M. 罗年松（1967）所描述的韵律：白云母-绿泥石-石英片岩—白云母-石英片岩—碳质-石英片岩—石英-绿泥石片岩—石英-阳起石片岩—石英-方解石片岩及方解石片岩即属于构造韵律。根据上述岩石的顺序不能确定岩段剖面的上下关系。

2. 基本沉积韵律 这些韵律是在很短的时间内在偶然作用的因素（水流、泥石流、洪流、河床改道、介质温度的剧变等）影响下产生的。这些韵律的厚度不大（几厘米，几分米，很少达几米）。但是它们在横向上可以延伸很大的距离（达几十公里—Вассоевич, 1948，甚至更远）。

基本沉积韵律在垂直剖面上具有不对称构造，其粒度及（或）成分由底到顶逐渐变化。韵律上部往往发现有冲刷痕迹。由于碎屑粒度逐渐变化而形成的层理称为粒级层理。

基本沉积韵律可以确定沉积层序。本书只拟探讨这些韵律。

陆源岩石中最普遍的韵律类型 在这些韵律中，沉积物的粒

度由底到顶减小，成分由石英-砂质经过粉砂质变为泥质者称为正韵律（图1,a）。由韵律的底到顶 SiO_2 含量降低， Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 含量相应增加(Escola.1932; Simonen,Kouvo,1951; Демидов,Кратц,1958)。韵律内部不均匀性及不对称性往往为其颜色所加强，韵律的细粒部分颜色较暗而粗粒部分较浅。片理在韵律上部比在下部明显。粒度或成分的范围可以向某一方向变动。例如韵律可从细砾岩开始，经过中部的粗粒砂岩而以中粒砂岩为结束（图2,a）。另一方面，韵律也可以从细粒粉砂质页岩开始逐渐过渡为细粒千枚状页岩（图2, 6）。

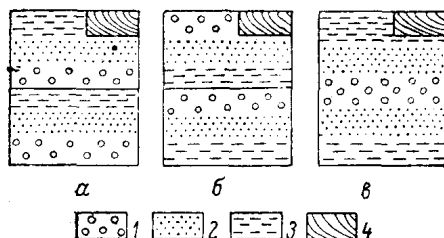


图 1 陆源成分的韵律按其内部构造划分的类型

a. 正韵律（最普遍的）；б. 反韵律（少见）；в. 递变韵律（少见）；1—粗粒沉积物；2—中粒沉积物；3—细粒沉积物；4—斜层理

韵律可分为三分韵律及二分韵律。韵律各部分之间是逐渐过渡的。二分韵律或者由三分韵律的下部及中部组成，或者由其中部及上部组成。后者比较普遍。

在低温变质带中韵律各部分的岩石（变砂岩或某种粒度的片岩）是容易鉴别的。例如，韵律下部是中粒黑云变砂岩，中部是细粒变砂岩，上部是绢云母片岩。随着变质程度升高，在相当于原始粉砂质或泥质沉积物的韵律中部及上部出现特殊变质矿物的粗大变斑晶—石榴石，矽线石，十字石，堇青石等。岩石转化为石榴石片麻岩，矽线石片麻岩及其它片麻岩及片岩。

粗大的变斑晶在韵律中部及上部的出现破坏了矿物粒度的原始布局，但在基质中还完整地保存着粒级层理。根据某种特征矿

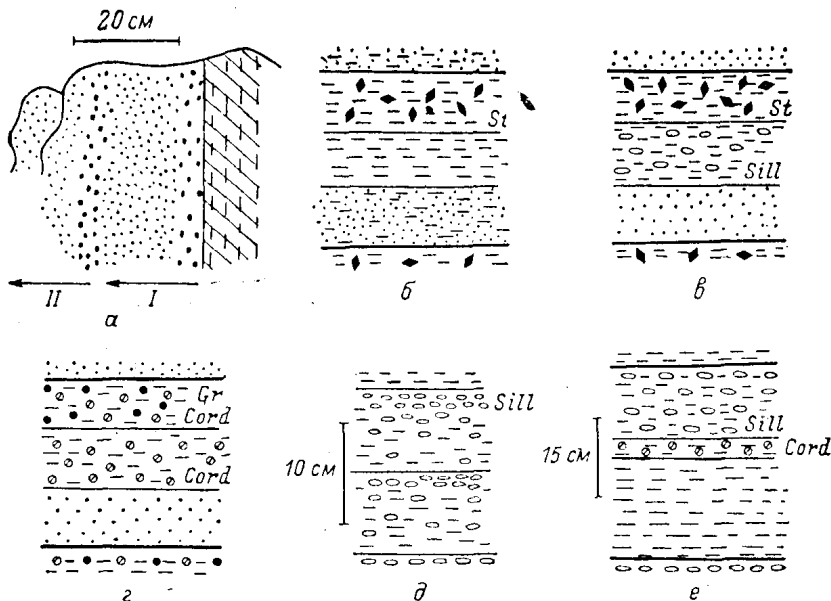


图 2 角闪岩相变质岩中韵律的实例。拉多加湖北部岩岛地区的拉多加群a—r木材加工厂—英皮拉赫季地区, п—e奥里亚特萨里岛)

a—粗粒沉积物构成的韵律 (I 及 II—基本韵律, 箭头由韵律底部指向顶部)

б—e变质的中细粒沉积物构成的韵律 (St十字石, Gr石榴石, Sill砂线石, Cord堇青石)。图2, б, в, г韵律厚度不超过1—2米, 通常不足0.5米。图上韵律各部分的厚度是随意画的

物的出现韵律分为几部分。根据这一标志分出的许多三分律在弱变质的条件下只能定为二分韵律。

石榴石在顶部聚集的韵律是深变质陆源岩石的非常特征的韵律 (图 3)。细粒和少量的石榴石颗粒大致出现在韵律的中部, 其粒度及数量向顶部增大, 并在韵律最顶部的最细粒部分里石榴石达到最高的富集程度。与此相应, 黑云母含量也是从韵律的底到顶增加。石榴石和黑云母的最高富集带不超过韵律厚度的1/5。在超变质带中, 含石榴石的韵律是稳定的 (图 3)。对于厚度很大的构造韵律, 石榴石的分布和富集也有类似的规律性 (图 4)。

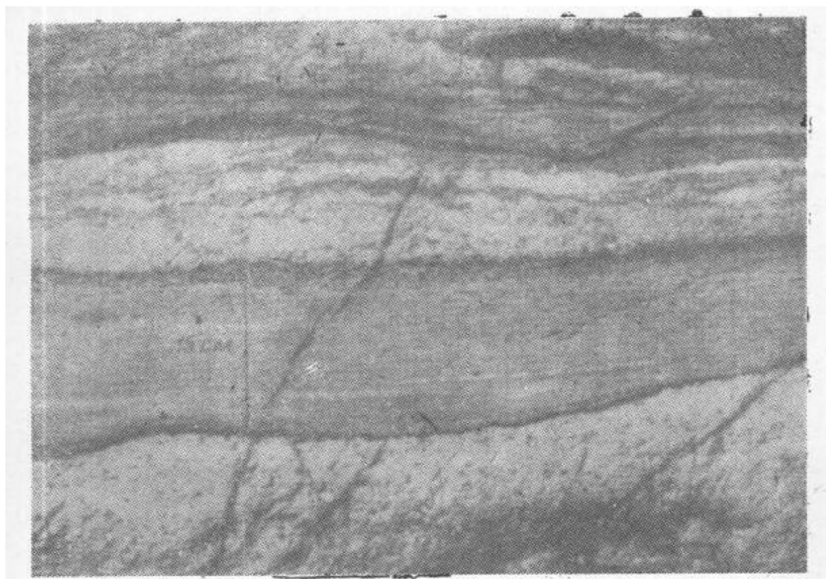


图 3 石榴石在顶部聚集的韵律。其上下均为花岗岩成分的混合岩“夹层”（占岩段体积的50—70%）所限制。拉多加群，强烈超变质带。拉多加湖西北部，杭卡萨洛岛

基本沉积韵律上部富含暗色矿物组分也是其它岩石所固有的特征。例如，在角闪片岩中有时出现其底部以石英和长石而顶部以角闪石、黑云母为主构成的韵律（Крати等，1966）。

图 2 表示某些含有变质矿物的粗大变斑晶的韵律：б.三分韵律上部含粗大的十字石变斑晶；в.三分韵律，底部为石英砂岩逐渐过渡成含矽线石变斑晶的千枚状片岩，顶部为含十字石变斑晶的千枚状片岩；г.三分韵律，底部为变质粗粒石英岩，向上过渡成含堇青石变斑晶的黑云片麻岩，韵律的顶部除堇青石外尚含石榴石；д.组成部分之间无明显界线的二分韵律，基本岩石为黑云片麻岩或绢云片岩，矽线石聚集于韵律顶部，其含量向底部逐渐减少，在底部矽线石完全消失，在一些这样的韵律中其顶部除矽线石外还有石榴石；е.三分韵律，其基本岩石为黑云片麻岩，韵律中部出现堇青石，其数量向上增加，然后出现矽线石，在韵律的

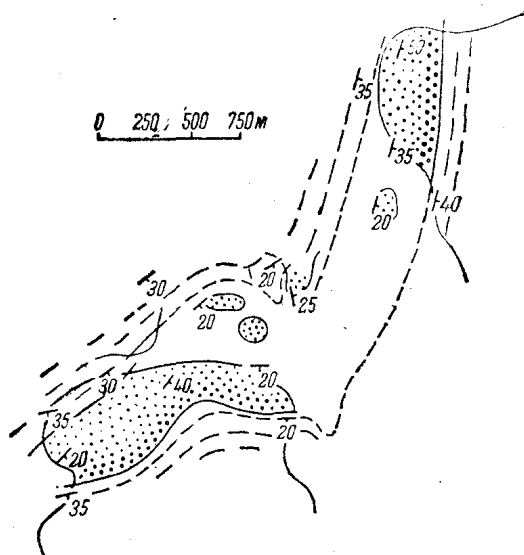


图 4 巨大构造韵律上部富含石榴石的岩层。石榴石数量向岩层上部增加（用由细到粗的黑点表示）。拉多加群，拉多加湖西北部，苏里赫波萨里—杭卡萨洛地区
虚线——黑云片麻岩

一小段范围里堇青石和矽线石一起出现并消失，韵律上部只有矽线石。对于深变质岩，含蓝晶石的韵律也很特征。最常见的是二分韵律，其底部由黑云片麻岩顶部由石榴石-蓝晶石-二云片麻岩所组成（Флаасс, 1969 6）。

在变质的韵律层理沉积物中，石榴石常常和蓝晶石，十字石，矽线石，堇青石粗大变斑晶形成共生组合。而后几种矿物则相反，它们通常是分别出现的。

在陆源岩石中少见的韵律类型 反韵律及递变韵律属于这种类型。在反韵律中，下部由细粒泥质沉积物组成，粒度向顶部变粗(图1,6)。递变韵律好像是反韵律（在下）和正韵律（在上）的结合，二者之间无明显界线（图1,Б）。在反韵律及递变韵律界面上可能出现韵律上部的冲刷现象。只有在根据斜层理或确切无疑的冲刷现象确定了某岩层剖面的上部而同正粒级韵律中沉积

物粒度的分布相反的情况下，才能够可靠地查明反韵律和递变韵律（图1,6,B）。

反韵律和递变韵律产生于特殊的条件下。A.A.萨维利耶夫(1974)分析了它们的形成方式。

陆源-碳酸盐岩石中韵律的类型 发育最完全的陆源-碳酸盐岩石的韵律有两种类型：完整的（三分）正韵律及完整的（三分）反韵律（图5）。这两种韵律的底部都是粗粒沉积物。正韵律的中部是碳酸盐岩石，其中可能有陆源物质的混入物或很薄的夹层，顶部为粉砂质或泥质物质。在反韵律中，韵律的中部及上部因地而异，碳酸盐物质的含量向韵律顶部增多，有时在韵律最顶部有黄铁矿大量富集。完整的反韵律实例：下部一钙质砂岩，中部一绢云母页岩，上部一石灰岩，黄铁矿在顶部富集（北贝加尔高原多加基特支流以上妈妈河上元古界妈妈河群）。在阿尔丹

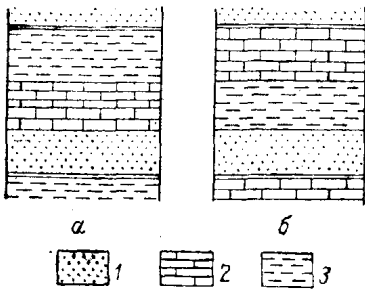


图5 陆源-碳酸盐岩石的韵律

a.完整的正韵律；b.完整的反韵律。
1—粗粒沉积物；2—以碳酸盐为主的部分；3—粉砂质或泥质沉积物

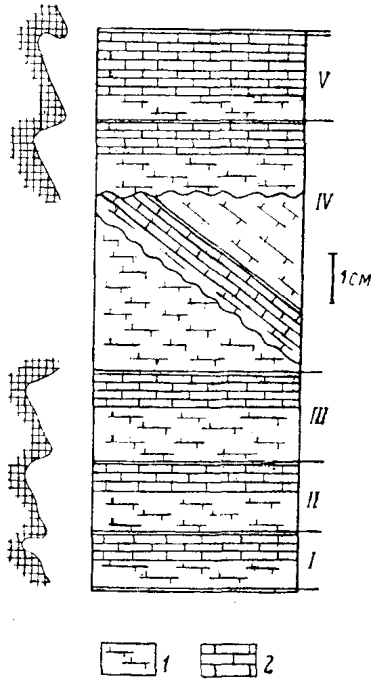


图6 不完整的反韵律。上元古界茹英组。东西伯利亚维蒂姆河支流新雅佐瓦雅河。图左的曲线表示韵律系的地形起伏
1—钙质砂岩；2—灰岩和钙质砂岩互层I—V韵律编号；波形线表示冲刷面