

58-547
03205

地质出版社

深部地质 译文集

深部地质译文集

徐景文 崔作舟 等译

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本文集从近年来各国开展“国际上地幔计划”和“国际地球动力学计划”过程中取得的成果中，着重选择有关大陆部分以深地震测深和其他方法进行深部地质研究的若干论文编成。文集的内容大致包括以下几个方面：有关深部地质研究的论述；美国、加拿大、苏联、欧洲、澳大利亚、印度、日本等地区的地壳结构；大陆深部构造问题及从深部构造探讨成矿规律、超基性岩特征和地震等方面的问题；运用航天影象分析深部地壳构造的实例等。本文集可供从事地质、地球物理工作的生产、科研和教学人员参考。

深部地质译文集

徐景文 崔作舟 等译

*

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑：唐静轩 张怀素

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：787×1092¹/₁₆·印张：11¹/₄·插页：3·字数：263,000

1981年9月北京第一版·1981年9月北京第一次印刷

印数1—3,185册·定价2.00元

统一书号：15038·新651

译 者 的 话

近十多年来，通过“国际上地幔计划”（IUMP）和“国际地球动力学计划”（ICG）的实施，世界各国地球科学工作者展开了广泛的国际性协作，取得了大量有关地球深部，特别是地球外层（地壳和上地幔）的实际资料。这些资料的取得，使人们有可能对地球深部，尤其是地球外层的细结构、物质成分和物质状态等方面进行更加深入的研究。这些研究促使了地质学、地球物理学和地球化学等各学科间的密切结合，为整个地球科学的研究开拓了广阔的前景，也是地学学科发展的必然趋势。可以说，它标志着地质科学研究进入了一个新的历史时期。

深部地质正是在上述基础上提出来的，但它所研究的对象和内容迄今仍然没有严格的界限。有的研究者认为，就目前地球物理的水平和对资料分析、推断的可靠程度，应以地壳为主要对象；也有的研究者认为，就整个地壳的地质作用（包括地壳表部和深部）而言，必然要联系到地壳以下更深处各层圈的相互关系，因此研究的对象不仅是整个地壳，还应包括上地幔和软流圈，甚至深达整个地幔。总之，从已取得的成果来看，深部地质主要是研究地壳和上地幔的结构和构造特征，它们的物质成分，组成物质的物理、化学特征和状态，以及它们的发生、发展和演化的动力学过程。

深部地质研究的方法和资料来源，大致有以下几个方面：1.各种地球物理方法的深部探测和综合分析；2.大陆超深钻和深海钻探；3.实验岩石学研究。此外，还可通过陆地卫星获得地表和深部的全球性信息，以及通过陆地卫星的地球物理、地球化学探测和深地应力测量等进行地球的深部研究。

深部地质研究对发展地学基础理论，诸如岩浆活动、变质作用、成矿活动、大陆和海洋的变迁、地震成因理论、地壳和地壳运动规律及其动力学等问题的研究，都起了重要的推动作用。在深部找矿、成矿预测、能源的估价和利用、灾害性地震预测和控制等方面，也产生了一定的效果。

60年代，上地幔计划期间大量地球物理、深海钻探资料的获得，促成了板块构造学说的兴起。70年代，地球动力学计划期间，一些具有典型代表意义的地质构造区，如大陆裂谷带，各种类型的盆地、克拉通、地震活动带、褶皱带等各类构造区的深部研究，将对它们的形成机制取得进一步的认识。大陆深部地球物理探测和岩石实验资料的不断丰富，使地球深部研究已不局限于对板块构造学说动力学问题的论证。可以看到，它将涉及各种互相矛盾着的全球构造理论和假说，对它们进行补充和验证。各种理论与假说或许从中得到充实而进一步发展；或许部分甚至全部地被检验而加以否定。70年代的地球动力学计划结束后，正如一些研究者所指出的，80年代也许将对岩石圈展开深入的研究，其中大陆岩石圈更将是十分引人注目的课题。

我国的深部地质研究刚刚开始，为了有助于这项工作的开展，学习和交流国外经验，我们收集了各国在实施“国际上地幔和地球动力学计划”过程中所取得的一些资料进行介绍，供参考。介绍的内容大致包括以下几个方面：有关深部地质研究的论述；美国、加拿

大、苏联、欧洲、澳大利亚等各大陆主要以深地震测深所取得地壳结构和构造方面的资料和分析研究成果；有关大陆深部构造及从深部构造探讨成矿规律、超基性岩特征、地震方面的一些研究成果和实例；以及运用航天影象分析深部地壳构造的实例等。

本文集由地质部562综合大队深部地质研究队组织译稿，由徐景文、崔作舟、卢德源、刘元祯等同志负责翻译。何樵登、潘作枢、滕吉文、刘乃隆、刘海阔、陈庆宣、张国铎、张安棣等同志帮助校阅。在组织译稿过程中，张安棣、肖庆辉同志为本文集提供了宝贵资料，肖庆辉同志并承担了部分译稿工作，在此一并致以深切谢意。

1979年10月

目 录

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 深部地质问题..... | E. B. 卡鲁斯 И. A. 列扎诺夫 (1) |
| 北美的爆破地震学研究..... | J. H. 希利 D. H. 瓦伦 (12) |
| 美国境内地壳结构..... | D. H. 瓦伦 J. H. 希利 (24) |
| 加拿大地壳和上地幔结构..... | M. J. 贝里 (34) |
| 苏联境内地壳结构..... | N. A. 别利亚叶夫斯基等 (50) |
| 从爆破地震资料看中欧、东南欧的地壳结构 | V. B. 索罗古布 D. 普洛森等 (58) |
| 根据人工爆破地震资料得出的西欧和南欧地壳结构的主要特征..... | P. 吉斯等 (67) |
| 澳大利亚的地壳结构..... | J. 克利瑞 (78) |
| 印度次大陆的地壳结构..... | H. 纳雷因 (84) |
| 从人工爆破地震资料得出的日本地壳结构 | 东京大学地震研究所爆破地震研究小组 (93) |
| 大陆的深部构造..... | T. H. 乔丹 (97) |
| 深部线状构造的成矿规律和全球构造 | M. 法沃尔斯卡娅 (114) |
| 亚美尼亚超基性岩带的深部构造 | G. V. 叶果金娜等 (120) |
| 地震资料反映的贝加尔和其他大陆裂谷带的深部构造 | N. N. 普齐列夫等 (127) |
| 近畿地方的地壳及其深部 | 宫村 学·吉田史郎 (133) |
| 松代地震群区的地壳结构..... | 朝野, S. 等 (146) |
| 交叉地壳构造及其深部单元在地表上的显示问题 | V. I. 马卡洛夫 L. I. 索洛夫耶娃 (154) |

深部地质问题^①

Е.В.卡鲁斯 И.А.列扎诺夫

近年来,研究地壳和上地幔的地球物理方法的广泛发展,在地球科学里促成了新的学科——深部地质。应当指出,这门学科的广度和深度,目前还不能最后确定。在B. B. 别洛乌索夫和Ю. М. 谢音曼的著作中,不仅是整个地壳,而且还有大部分上地幔,包括软流圈,都是研究对象。И. А. 别利亚耶夫斯基认为目前主要任务是研究地壳。我们认为这种观点是比较合理的。在我们目前的知识水平上,对于深部地质任务的这种比较狭窄的理解是正确的。因为现在实际预测的地质构造最大深度是大陆地壳的厚度(达40公里)。我们一切有关比这更大深度的概念,基本上都是属于假设性的。

根据我们的观点,深部地质目前的任务,就是把已经为地壳表层制定的一套地质分析方法,推广到地壳的整个深度。换句话说,地质工作者应该放弃诸如“花岗岩层”、“闪长岩层”、“玄武岩层”以及其他一些地震层的假定,而应该转向实际的地质体,即转向它的具体的物质组成、年代、成因;必须学会确定地壳内部变质作用和岩浆活动的过程。

能够给我们提供地壳深部地质构造资料的来源有:1.深部岩石的捕虏体;2.深钻井和超深钻井;3.地球物理方法的研究;4.根据地表地质结构推断深部资料。

前两种来源的意义是有限的,因为深部岩石的捕虏体很少,即使碰到,也很难与深部物质准确地联系起来。超深钻井才刚刚开始发展。因此发展深部地质的主要方法还是依靠地球物理资料的分析,同时利用所有能够收集到的地质资料。

下面我们阐述综合利用地质及地球物理资料来介绍地质结构(深度15—25公里)。由于我们在一定深度范围内对地壳进行了详细的地球物理测量[主要是地震的方法:深部地震测深法(ГСЗ),折射波对比法(КМПВ),地震转换波法,天然地震的方法]取得了大量的实际资料,使我们能够修正关于陆台区,特别是褶皱区深部结构的概念。

深部地质的成就,首先要归功于地震方法的发展,因为地震法获得了地壳岩石的物理性质最完整的资料。这些成就的取得,是由于Г. А. 甘布尔采夫创立的深部地震测深的方法(ГСЗ)的广泛应用。最初在Ю. Н. 戈金领导下,以后又由大量地球物理-地震工作者继续对深部地震测深方法进行了大量详细研究工作。在用对比折射波法研究沉积层和基底时,延长观测系统,大大地提高了它的勘探深度。另外还提出了一些方法,可以足够精确地研究整个地壳厚度内的结构,特别是地壳上部10—25公里深的结构。

在地震勘探工作中,根据地震测深的地质解释可以推断出地壳深部岩层的物质组成和成因。同样可以研究这些岩层之间的地震界面的地质性质。直至最近还流传着一种观点,认为在整个的地壳里,地震界面没有构造意义,而仅仅是反映岩石的不同变质程度。特别

① Е. В. Карус, И. А. Резанов, Проблемы Губинной Геологии, Советская Геология, 1974, №. 5, с. 9—21

是，A. A. 博里索夫也趋向于地震界面是变质性质不同的概念。他写道：“……地壳的水平成层性……，是岩浆化、花岗岩化、玄武岩化的界面所决定的。当然它与深变质现象有着特殊的联系，而深变质现象伴随着地壳深部成分和结构的普遍均匀化”。Ф. С. 莫伊先科指出，花岗岩层和闪长岩层的界面，与地质构造之间是互相剧烈地交切的。他认为这些界面不是地层的，也不是变质的，而可能是岩浆成因的。

关于地壳内部界面的性质，同时也还发展着另外一些观点。例如，Ю. Н. 戈金和И. А. 列扎诺夫提出，地壳内的地震界面是不同年代、不同物质成分的复杂褶皱之间的剥蚀面和不整合面。因此，对地壳进行地震勘探时能够确定这些界面。

地壳内部地震界面成因问题的解释，对于今后深部地质研究工作是带有原则性的问题。如果立足于界面具有岩浆的或者变质的性质的观点，那末，我们对深部地质解释的可能性就大大缩小了。因为，在这种情况下，我们将认为地震探测所记录的界面只能是变质作用面，而在地质发展过程中形成的深部构造，则仍然无法弄清。相反，依据地震勘测到的界面属于构造性质的观点，就可以解释地壳内最古老的褶皱群，从而可以恢复深部构造和它的形成历史。

地壳内的地震层位通常均被厚层沉积层所覆盖，钻探也难于揭示它们。因此，根据邻区露头资料恢复该区地质发展史是地质解释的主要方法。

对地壳地震测深资料进行地质解释时，应考虑到：无论进行怎样详细的研究，得到的总还是在地壳内部不同弹性岩石分布的平均和综合情况。地震测深使我们能够“区分”的，仅仅是那些物理性质明显不同的岩层。在整个大地构造时期内（海西，加里东）所形成的褶皱群，就是这些不同物理性质的岩层（每个大地构造运动阶段可持续2亿年左右）。用深部地震测深方法在整个地壳内能够划分褶皱群的先决条件如下：

1. 每个褶皱群是在一个很长的时间内（不小于1.8亿年）逐渐形成的，因此在地槽内厚度达到5—10公里或者更厚，这个厚度地震测深是能记录到的。

2. 大地构造运动阶段以褶皱作用、岩浆岩侵入沉积岩内的作用和变质作用而告结束。这便导致了形成褶皱群的岩石的均匀化，同时使它在物理性质上与其上覆的年轻褶皱群有重大的差异。

3. 褶皱群常常被剥蚀面和构造不整合面分开，这样就使得与它们的接触面对应的地震界面更加明显了。

地壳内部地震界面属于构造性质这个结论的主要反对意见是，在大多数地震剖面上地震界面接近于水平，而在褶皱基底内近地表的构造面倾角一般都很陡。И. А. 别利亚耶夫斯基等人指出，水平界面之所以分布这样广泛，首先是由所使用的地震测深法造成——当界面的平均倾角超过 10° — 15° 时，在地面就记录不到这个界面的折射波。只有利用亚临界的反射波才能记录到较陡的界面，而事实上它们也的确在一些情况下被发现了。另外，С. В. 克雷洛夫和В. П. 米申金通过计算表明，如果在很大的震中距处进行观测，可以在剧烈切割的地面上测得缓倾角的地震界面。

下面，我们以一些研究程度最好的地区为例，来论证用地震法解释深部地质结构的可能性。

我们用深部地震测深剖面确定苏联南部阿尔卑斯褶皱的深部结构。研究该区深部结构所得到的重要成果之一是：查明了在前侏罗纪基底里的地震界面的构造性质。最初这个界面

是在土兰地台的基底里分出来的。在这里，它是海西期的底板，又是贝加尔褶皱群的顶板。同时，它也是地壳内最重要的构造界面，它确定了海西期凹陷的底部位于贝加尔褶皱基底之上。从地震的特点看，在地壳内，它是典型的反射和折射界面。它下面的界面速度为6—7公里/秒。界面的构造性质是不容置疑的。作为前寒武纪基底的表面，它勾划出英多耳—库班凹陷、卡尔宾斯基长垣、第聂伯—顿涅茨盆地、喀尔巴阡和前喀尔巴阡凹陷、捷尔斯科—里海和南里海凹陷的范围。

地壳内划分出标准构造面，使我们能够对苏联南部阿尔卑斯褶皱群区、斯基甫和土兰地台区的深部结构提出几个带有原则性的新特点。在前侏罗纪基底的几个深凹陷里划分出厚层海西期褶皱群是重要的地质成果之一。通过对比折射波剖面的地质解释，确定了喀尔巴阡山和山前凹陷的这些杂岩。在这里记录到深2—9公里、界面速度5.2—5.6公里/秒的折射地震界面。M. C. 雅里什、B. C. 扎伊卡—诺瓦茨基和A. B. 切库诺夫认为这个界面与中生代—古第三纪复理式杂岩的底有关。换言之，就是与阿尔卑斯褶皱群底板一致。

在更深得多的地方（由后喀尔巴阡的内凹陷下面深7公里处到斯基勃沃带和前喀尔巴阡凹陷下面深19公里处）广泛分布着一个标准地震层位（界面速度6.1—6.8公里/秒），它延伸到俄罗斯地台，并在那里升起，其深度2—4公里，被钻探所揭示，为前古生代基底的顶板。位于上述的界面之间的杂岩体，在前喀尔巴阡凹陷下面是一个厚度达到14公里的岩层，它是属于古生代的，而下伏变质岩基底就是贝加尔褶皱基底。

在英多耳—库班凹陷里，地震层位于前侏罗纪基底的顶板之下，它属于海西期褶皱群，在高加索弗朗特山脉偏东有露头。海西期褶皱群在东部前高加索和南里海盆地内出露。该层在土兰地台位于侏罗系之下，是一个过渡的杂岩体。它的时代早先定为二叠纪—三叠纪。最近确定出它的时代下界为石炭纪，甚至可到泥盆纪。

在苏联南部阿尔卑斯地槽凹陷底下，存在着厚层的海西期褶皱群（图1），证明了在两个大地构造（海西期和阿尔卑斯期）时期内大部分负构造都在持续发育。我们着重指出，海西期褶皱群在阿尔卑斯褶皱区的所有的边缘凹陷（前喀尔巴阡，英多耳—库班，捷尔斯科—里海，前科佩特山脉等凹陷）下面均有发现。这说明它是长期持续发育的。因而，边缘凹陷——这是长期发育的构造，它们在形成时间上、发育历史和沉积厚度上都几乎与内地槽凹陷区别不开。

如图2，根据地震界面绘制的构造略图反映了海西褶皱群的底板。这个构造略图的意义在于：反映了海西期和阿尔卑斯期大地构造阶段内（4亿年）构造运动的总结果，最完

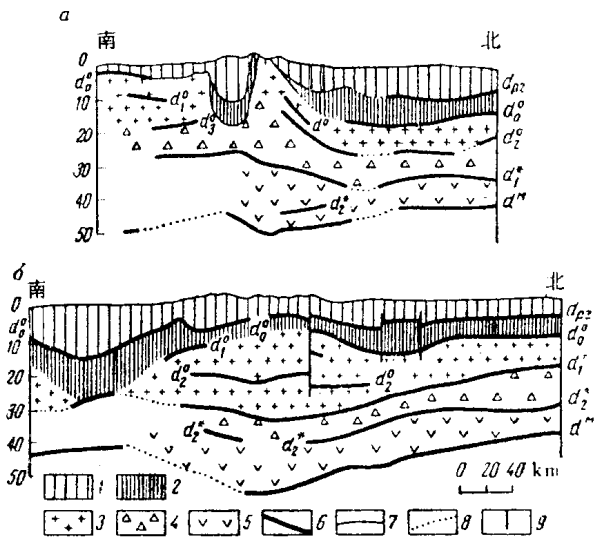


图1 大高加索和前高加索地震测深剖面及剖面的地质解释

(Г. Б. 克拉斯诺彼夫采娃, И. А. 列扎诺夫和B. И. 舍甫钦科编制) a—斯捷普诺—巴库里阿尼(中央高加索)剖面;
b—伏尔加格勒—纳希切万(东高加索)剖面
1—阿尔卑斯褶皱群; 2—海西褶皱群; 3—贝加尔褶皱群; 4—卡累利褶皱群; 5—“玄武岩”层; 6—地震界线; 7—地质界线; 8—推测界线地段; 9—断裂

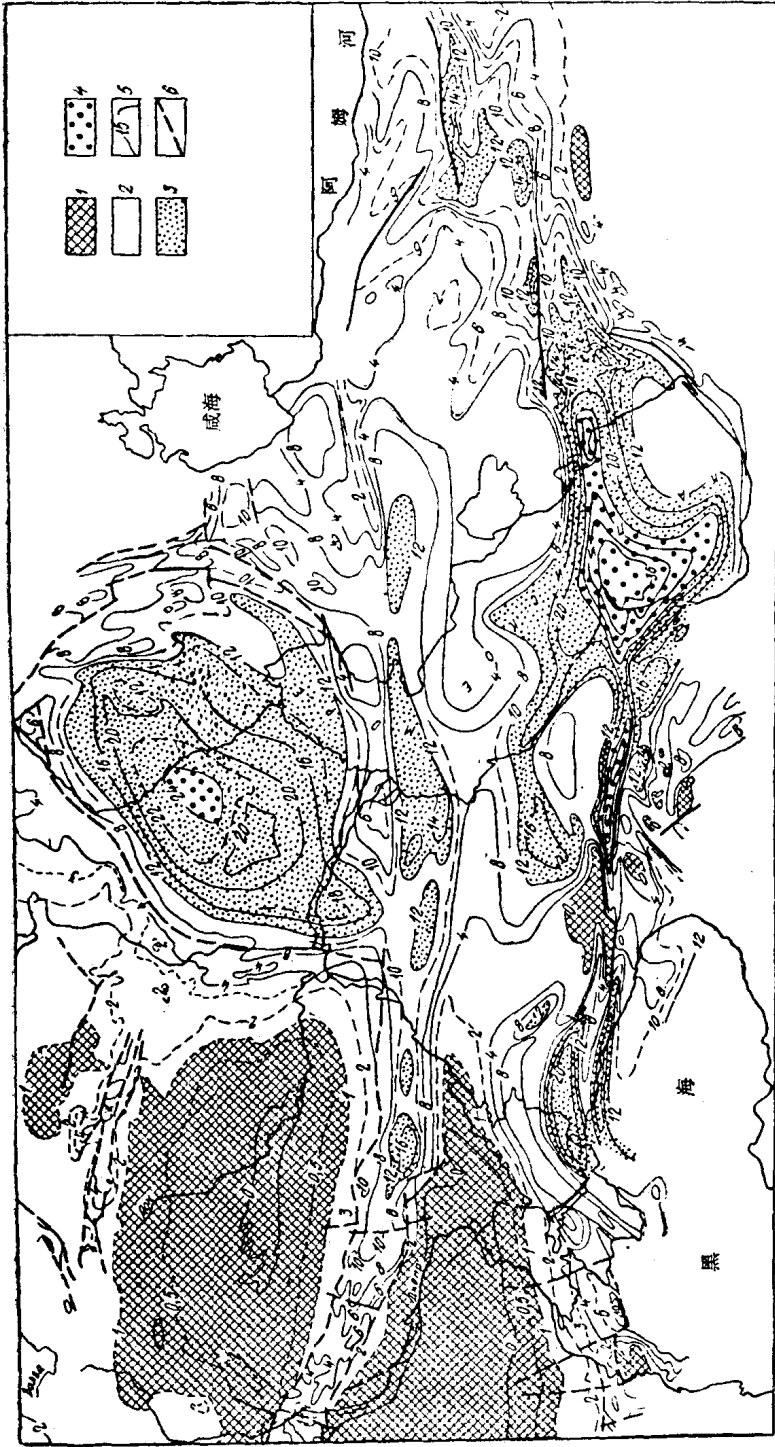


图 2 苏联南部海西褶皱群底板构造略图

由B. B. 伊舒京(土兰地坪)、B. C. 茹拉甫列夫(里海地向斜)、Г. B. 克拉斯诺彼夫采娃、И. A. 列扎诺夫和B. И. 舍甫钦科(阿尔卑斯褶皱地区)编制

1—前海西基底地面露头; 2—埋深0—12公里的基底; 3—埋深12—24公里的基底; 4—埋深大于24公里的基底; 5—等深线(单位公里); 6—断裂

整、最客观地反映了大构造的全貌。这个构造体系略图可以作 为苏联南部构造分区的基础。

在该区，根据地震探测工作所确定的阿尔卑斯和海西褶皱群巨大的总厚度是很值得注意的。海西褶皱群的底板，在顿巴斯下面沉降最少达20公里。仅仅是两个系（泥盆系，石炭系）的沉积厚度就达到20公里。在捷尔斯科一里海凹陷内，阿尔卑斯和海西褶皱群总厚度达16公里，在前科佩特山脉达20公里，在英多耳—库班达25公里。在西土库曼的近巴耳汗凹陷里达32公里，在南里海凹陷（阿普歇伦半岛以南）两个褶皱群的厚度达36—40公里。

上述的地震界面的深度变化从几公里到 36—40 公里，但它还不是本区最深的构造界面。在进行了足够详细的地震研究的地方，还确定了一个更深的重要地震界面，它被解释为里菲（贝加尔）褶皱群的底板。贝加尔褶皱群现在确实在大高加索划分出来了。在大高加索大复背斜附近斯捷普诺—巴库里阿尼地震剖面上（图 1），“花岗岩”基底面从北向南很快地升起，并出露到地表。根据地质资料，我们知道中高加索“花岗岩”基底是由上元古界的结晶和变质的片岩和片麻岩（带有海西期花岗岩的层状体）所组成。因此，我们可以肯定在斯捷普诺—巴库里阿尼地震剖面上部的第三个地震层相当于贝加尔褶皱群。在中高加索，它的视厚度为12—14公里，也就是我们所研究的地震层厚度。

在这个剖面的南端（吉鲁耳基地块）同样可以解释 d_2 下面的界面的地震层性质。这里上述界面是阿尔卑斯褶皱群的底板，同时是贝加尔褶皱群的顶板（根据地质资料海西褶皱群缺失）。因而，在斯捷普诺—巴库里阿尼剖面上，直接埋藏在海西期褶皱群之下的地震层应相当于贝加尔褶皱群。

贝加尔褶皱群之下，在苏联南部为卡累利褶皱群，在乌克兰地盾出露。它们之间的界面，由在高加索的地震测深清楚地记录出来。它是“花岗岩”层的底板，上“玄武岩”层的顶板。玄武岩层与卡累利褶皱群相当，可由下列事实证明：这一层在前高加索20公里，并延续到卡尔宾斯基长垣和第聂伯—顿涅茨盆地的下面，在这里该层是结晶基底。稳定的层速度为 6.4—6.6 公里/秒，这证明，这层的岩石不具基性成分，因为这个速度是在乌克兰地盾广泛发育的酸性和中性的正常铝土质岩石所特有的。

中高加索的里菲褶皱群的底板、卡累利褶皱群顶板等深线略图如图 3。这是阿尔卑斯褶皱区最深的构造界面，并且只是在隆起区才保持了它的构造意义。在凹陷区这个地震界面（“玄武岩”层顶板），像下面所指出的，已经具有变质界面的性质了。

苏联南部几个其它地区，也划分出了贝加尔褶皱群。通过后喀尔巴阡凹陷走向的深部地震测深剖面，A. B. 切库诺夫把 K_{02} 层位看成是贝加尔岩体的顶板。它位于后喀尔巴阡凹陷下面，深度是 6.5—14 公里，而在喀尔巴阡下面基本上也是这个深度。康拉德界面的界面速度为 6.7 公里/秒。根据上面谈到的界面性质（中性岩石），可以算作前贝加尔期的基底。贝加尔岩体的厚度，在后喀尔巴阡不大（2.5—7 公里）。

通过第聂伯—顿涅茨盆地轴部（吉坎卡—德鲁日科夫卡）的地震纵剖面揭示了盆地的一个有意义的构造特点。看来，在基底下面 8—10 公里深处，也就是在深 20—24 公里处发现还有一个清晰的反射界面，它具有特殊的构造形态。地震层往往是明显的层状或者是厚度不稳定的透镜体群。显然，这个界面是里菲褶皱群的底板。

穿过捷克斯洛伐克和德意志民主共和国南部的深部地震测深剖面上查明阿尔卑斯期海西期和贝加尔期的褶皱群。在迪纳拉的结晶基底面埋深为 5 到 16—17 公里，根据南斯拉夫

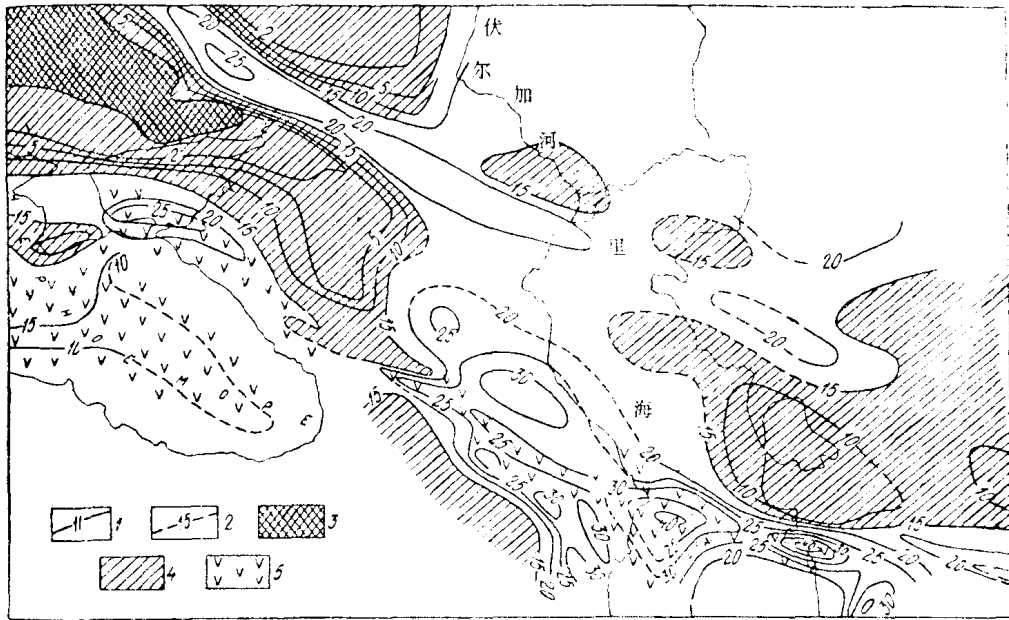


图3 根据卡累利褶皱群顶板、“玄武岩”层顶板编制的高加索构造略图

(И. А. 列扎诺夫, В. И. 舍甫钦科编制)

1—等深线(单位公里); 2—推断的等深线; 3—前贝加尔基底的露头; 4—埋深小于15公里的前贝加尔基底;
5—出现第二个“玄武岩”层的地段

地质学家 M. 罗克桑迪奇的意见,它是贝加尔褶皱群的顶板,而且上覆的沉积岩包括中生代和古生代的沉积岩层。

地震层和中生代褶皱构造的褶皱群是相同的。根据地质资料,在苏联东北部把中生界从上到下划分为三个巨大的褶皱群:二叠纪—中生代、下中古生代和里菲(贝加尔);下面是太古代—元古代基底。在马加丹—科累马剖面上,上地震界面与根据资料得出二叠纪—中生代褶皱群的底板面完全一致。下伏的地震层与里菲和下中古生代褶皱群一致。而界面速度为6.7公里/秒的地震界面与里菲褶皱群底板一致,是太古代—元古代基底的顶板。里菲和古生代褶皱群的平均厚度资料,还有在太古代基底内弹性波的传播速度资料,都有力地证明了这一点。里菲和古生代褶皱群之间的界面不明显,是由于里菲岩层的密度和其地震波传播速度均略小。

因而,苏联东北部的中生界的“玄武岩”层的底板是里菲褶皱群的顶板。苏联东南部(沿海地区)古生界的地震界面是构造界面,它相当于不同时代褶皱群(例如,古生代和里菲褶皱群)的接触面^①。

对于古生代褶皱区,地壳地震测深资料的地质解释暂时还没有进行到应有的程度。但这个工作的初步成果仍然是有意义的。在库兹涅茨凹陷和它的边缘,确定了地震界面与不同时代的褶皱群之间的边界是相当的。有两条互相垂直的地震剖面通过这个地区,其中一条如图4所示。凹陷基底面,在剖面线上向下沉降深度达14公里。这个凹陷根据更深的反射界面也能显示出来。在地壳内,莫霍界面的起伏形态恰好是界面的镜像。在库兹涅茨凹陷和萨拉伊尔山地之间的交界处,证实了大断裂的深部特点。凹陷内部结构是不均匀的。

① 原文可能有误。此处顶板应改为底板,原文底板应改为顶板,中生界应改为古生界较妥当。本译文已作修改——译者注。

凹陷的西部，为一条狭窄的（25公里）断块，由几条准经向的断裂所限定，它的基底面和其它界面都是隆起的。作为这个断块东界的断裂，可能将凹陷与海西（西面）和加里东（东面）褶皱基底分开。库兹涅茨凹陷的深部结构与阿尔卑斯区的许多凹陷深部结构相似。

沿着断裂两侧记录到“一套”相同的地震界面，这些界面仅仅是断距的埋深不同。这样一个事实，很有力地说明了界面的性质。我们注意到，从西向东，从一个地块向另一个地块过渡时，随着越来越接近库兹涅茨凹陷的轴部，地震测深所查明的所有岩层的厚度均有规律地增加。这便说明，每一层都是沉积岩层，它的厚度随着接近凹陷轴部而增加。而这又证明了上述的负构造长期以来持续发育。

因而，每个地震层都是一个独立岩石褶皱群。上部褶皱群的年代显然是中、上古生代。在深部8—14公里处查明的基底相当于前泥盆纪褶皱基底。上面第二界面似应是前古生代褶皱群的底板，褶皱群厚度是5—6公里。下面的地震层可能是上元古（里菲）的褶皱群。

我们来讨论西西伯利亚地台的深部结构。沿汗特—曼西斯克—科瓦剖面地壳结构如下述。基底面是清晰的折射界面，界面速度为5—6.4公里/秒，埋深达4.4公里。它把松散的中生代和新生代的沉积岩（平均速度2.6公里/秒）与坚硬的岩层分开。该坚硬岩层上部，深5—11公里处，是折射界面，界面速度6.1—6.6公里/秒。但是，这一界面不是在全剖面上都能划分出来的。沿基底面常观测到震波传播速度的变化。第二个更深的地壳内部界面（16—25公里）是反射面。在个别地段记录到与它相应的折射波。界面速度约为7公里/秒。地壳的底面（莫霍面）深度32—45公里，界面速度为7.9—8.1公里/秒。

我们来说明对西西伯利亚地台深部地质结构的初步看法。利用地震测深，在基底之下，在大多数构造地块中发现了界面。根据已有的资料，包括钻探资料判断，这个界面是构造界面，大多数情况下相当于下古生代剖面的底板。看来更深的那个地震界面（17—26公里）基本上也是构造面。这两个界面与构造面位置的一致和莫霍面的镜象位置，都证明了这一点。

根据标准地震界面与构造面位置的一致说明，西西伯利亚地台的地壳大构造单元是长期持续发育的。有的地区地台的古老基底出露在地表，根据露头可确定下界面的时代。例如，叶尼塞山地发现了前里菲的地层（下和中元古代）。叶尼塞山地两侧，我们观测到地震界面的埋深是东侧达到8—15公里；西侧达到8公里。C. B. 克雷洛夫等人根据地质资料和地球物理资料的对比指出，在叶尼塞山地东侧记录到的地震界面，应为里菲地层的底板，而更西的界面应为里菲地层，因为它和比留斯盆地古生代地层的底板一样，都位于叶尼塞

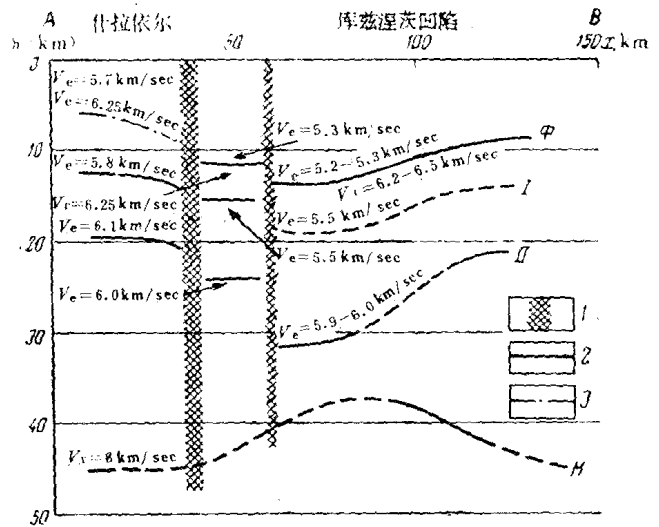


图4 库兹涅茨盆地地壳剖面图

1—深断裂；2—地震界面 Φ 、I、II、M（标有有效速度 V_e 值和界面速度 V_0 值）；3—层速度的等值线

山地里菲杂岩之上。在后一情况下，下伏地震层（“花岗岩”层）相当于里菲褶皱群，厚度为12—18公里。在叶尼塞山地和由其向东，里菲杂岩的视厚度很大（8—12公里）。因而，在深17—25公里处“花岗岩”—“玄武岩”的界面，应为里菲的底板，又是太古界—下元古界的顶板。

在哈萨克斯坦中部地壳的地震分层的明显程度，较之其他古生代褶皱区要差一些。深度5—12公里处的界面的地震波速度为6.3—6.4公里/秒，它是地震剖面上的主要界面之一。将已取得的资料与地质资料对比，说明这个界面是下古生代褶皱群里的构造界面，或者是它的基底面。A. H. 卡赞利和A. A. 波波夫也曾提出类似的看法。在这种情况下，下面的地震层（“花岗岩”层）相当于里菲褶皱群，而里菲褶皱群的底板也是“玄武岩”层的顶板（速度为6.8—6.9公里/秒）。

关于在古老地台内部地震界面的性质问题还未彻底解决。许多作者提出的事实有助于说明，古老地台基底内的地震界面具有变质的性质。显然，这种说明对于地壳下部界面是正确的（康拉德面和“玄武岩”层内部界面）。至于古老地台的地壳上半部（“花岗岩”层），则已经收集到了足够多的事实，足以说明这些界面的构造性质。

C. B. 博格达诺夫等人分析了打到基底的钻井资料，以及俄罗斯地台东部的地震资料，得出结论：伏尔加—乌拉尔地区的上部地壳是属于上太古代的杂岩，层厚约10公里。在这层里，岩石挠曲成几个巨大的平缓褶皱。根据地质资料（即岩石厚度）所确定的这个杂岩体的底面与一个地震界面相符，并且认为它是构造界面。研究一个揭露这个褶皱群的深钻井中的变质岩标本指出，这种变质岩中的地震波速度接近这个地震层的波速值。

在乌克兰和波罗的地质盾的许多地段上进行的详细地震研究证明，地震界面与基底中一些巨大褶皱构造十分一致。特别是在乌克兰地质盾的别洛泽尔铁矿床，从地质剖面看，地质构造和地震层是一致的，而且重要的断裂都相符合。塔干罗格—基洛夫格勒剖面的第一个地震层，在维尔霍维茨复向斜沿纬向穿过乌克兰地质盾，是沉积岩—火山杂岩体的下界面，厚度为4—5公里。И. B. 黎特维年科领导下完成的详细地震研究的结果更是令人信服。在伊曼德拉—瓦尔祖格的晚卡累利地块中，反射面由地面倾斜到10—15公里深处。这个界面反映了单斜构造块体的特点。它控制着巨大的基性岩侵入体由地面到深处的分布（ $V_p=7$ 公里/秒）。有几个地震剖面详细研究了佩钦加中元古代凹陷，特别是用地震方法研究构造界面——中元古界（佩钦加）和太古界（科拉）的接触面。

图5表示了波罗的地质盾上部地震界面的构造意义。按作者的观点，A型深反射界面确定了巨大凹陷的西南边缘（凹陷的轴部在白海中），这个凹陷是一个最古老的原始地槽，这就指明了这个界面的构造意义。比较浅的B型界面是充填“风带”复向斜的沉积—喷出物的底面，因而它是构造面。毫无疑问，具有构造意义的倾斜地震界面向波罗的地质盾延伸，深达10—15公里，即大于地壳厚度的三分之一。

在强调几乎所有的地震层都与褶皱群一致的同时，我们看到，有时两个相邻褶皱群的接触面很难被地震探测发现。这在有的地质构造地区是因为在界面附近发生了强烈的花岗岩和伴随变质作用。例如，在东高加索的轴部，尽管应用地震测深的完整观测系统，也还是记录不到阿尔卑斯和海西褶皱群之间的界面。当接近高加索山地轴部时，折射面追踪到山前就中断了。在中高加索山地的轴部用地震方法记录不到里菲和海西褶皱群之间的界面。但是接触面完全被变质和岩浆过程所改造的地方只限于一条比较狭窄的条带，一般位于背

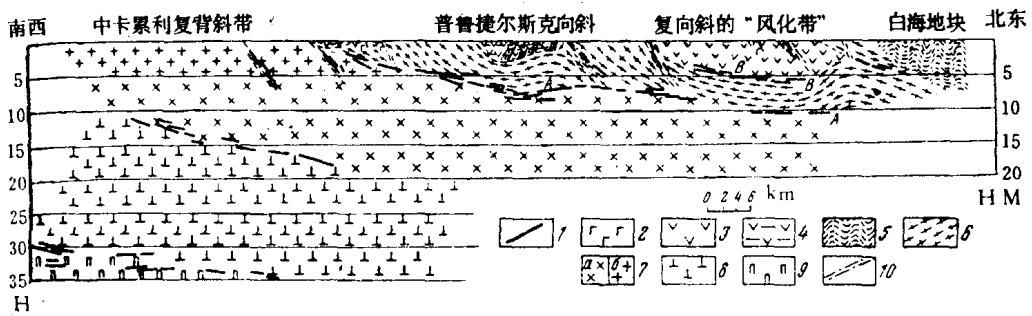


图 5 奥涅加湖—白海深部地质-地球物理剖面

(根据C. A. 安库季诺夫等)

1—地壳剖面中与主要地震界面相联系的反射层位；2—元古代的基性和超基性岩类；3—中元古代的沉积—火山地层；4—下元古代的沉积—火山地层；5—白海岩系片麻岩；6—白海和卡累利花岗岩—片麻岩基底；7—太古代基底最古老的地层；a—未变质，b—变质并花岗岩化；8—白粒岩—玄武岩层；9—壳下层；10—构造破坏带
(根据地震资料)

斜的轴部。

在地壳下部，地震界面不总是构造面。在莫霍面之上，高加索类型的长期发育的深凹陷之下，为“玄武岩”层，它是由沉积岩和“花岗岩”层变质所成。这些次生的“玄武岩”层的特点是有稳定的厚度（ 10 ± 4 公里）和高的界面速度和层速度（7公里/秒或更高）。它的顶板产生强烈的首折射波和弱的大于临角点的反射波。这个“次生玄武岩”层的顶板在地壳内不整合地切穿上覆地震界面的事实，有力地说明在凹陷里面该层的变质（叠加）性质。这在凹陷边缘地区的地震剖面上确可见到（如里海沿岸、南里海、第聂伯—顿涅茨凹陷等）。

综合上述，可得出如下结论：

在大陆地壳内部，地震界面基本上是构造接触面。它确定了不同时代的褶皱群的接触界面。每个褶皱群都相当于地区发育史中的巨大的大地构造阶段（阿尔卑斯、海西、加里东、贝加尔期等）。用地震方法确定的深部褶皱群的埋深及其厚度使我们能够恢复地区长期发育的历史和恢复地壳的深部结构。在构造圈内，存在沿界面上下错动的变质（叠加）界面。莫霍面也是构造圈里的界面，还有“玄武岩”层的顶板，它在深部长期发育的凹陷下面明显地表现出来。对地震资料进行地质解释可以划分出深达40公里的构造界面，同时可以“辨认”叠加的变质界面。

根据研究区的资料，我们可以阐述深部结构的下述特点。在褶皱构造里（阿尔卑斯，中生代，海西期等），我们可以确定在二个或三个大地构造阶段内地质构造的继承性发育情况。在长期发育的凹陷里，其沉降厚度是十公里为单位的。不但地槽内，而且包括大多数边缘凹陷都属于这类凹陷。南里海、里海沿岸、库兹涅茨等等轴状凹陷都是长期持续发育的凹陷。

褶皱群界面的构造格局清楚地具有横向分带性。新的和长期持续发育的褶皱带的形成并不能完全改变古老的基底。在地壳内，既保留了原来构造方位的残余物，又保持了在其他方向上的地质体。

地壳的地震研究可以发现和圈定沉积盆地（其沉积厚度可达15—30公里），这个盆地是石油和天然气最大的贮存库。虽然这些盆地的大地构造部位不同，它们的深部构造是相似的。在苏联的南部和东部已圈定出沉积厚度可达20—30公里的盆地。

根据我们的意见，目前在苏联全部国土上（目前只在地台区已编制）根据标准地层

(例如根据前寒武纪的顶板)完全可以编制出深部构造图。这种构造图对于预测和普查矿产是很重要的。由于它们最客观地反映了深部构造形态,因而用它们可以定性地判断长期构造运动的累积结果,同时它可以作为大地构造区划的基础。

参 考 文 献

1. Белоусов В. В. Кора и верхняя мантия континентов.— М., «Наука», 1966. 122 с. ил.
2. Беляевский Н. А. Глубинная геология.— «Вестник АН СССР», 1972, № 11, с. 12—17.
3. Беляевский Н. А., Вольвовский И. С., Рябой В. З. О природе сейсмических слоев и границ в земной коре.— В кн.: Методика и результаты исследований земной коры и верхней мантии.— М., «Наука», 1972, с. 7—43 с ил.
4. Богданов А. А. О термине «структурный этаж».— «Бюлл. МОИП», 1963, № 1, с. 3—16 с ил.
5. Борисов А. А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным.— М., «Недра», 1967, 302 с. с ил.
6. Гамбурцев Г. А. Глубинное сейсмическое зондирование земной коры.— Труды Геофиз. ин-та, 1954, № 25, с. 124—133.
7. Глубинное строение восточной части Карельского региона по результатам комплексных геофизических исследований (профиль Онежское озеро — Белое море).— «Геотектоника», 1952, № 5, с. 75—78 с ил. Авт.: С. А. Анкудинов, Н. Н. Болтуцев, И. В. Литвиненко, Г. А. Поротова.
8. Глубинные сейсмические исследования в Кузбассе с использованием промышленных взрывов и аппаратуры «Тайга».— Труды ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР, вып. 93, 1970, с. 114—122. с ил. Авт.: С. В. Крылов, Г. В. Егоров, Л. В. Дубовик, А. И. Бочаров, Т. А. Янушевич.
9. Годин Ю. Н. Сейсмические исследования земной коры, проведенные ВНИИ-Геофизикой на Русской платформе и в Средней Азии в 1956—1960 гг.— В кн.: ГСЗ земной коры в СССР. М., Гостоптехиздат, 1962, с. 66—77 с ил.
10. Занка-Новаякий В. С., Чекунов А. В. Основные особенности сочленения Восточно-Европейской платформы с Галицийской складчатой областью Байкалид.— «Советская геология», 1970, № 12, с. 3—15 с ил.
11. Исследование при высоких давлениях физических свойств фундамента Восточно-Европейской платформы (по материалам Туймазинской опорной скважины).— «Известия вузов. Геология и разведка», 1973, № 3, с. 92—105 с ил. Авт.: Е. В. Карус, Н. Е. Галдин, И. С. Файзуллин, С. В. Богданова.
12. Ишутин В. В. Глубинная структура южного склона Туранской плиты по данным региональных геофизических исследований КМГПВ.— «Советская геология», 1970, № 5, с. 146—150 с ил.
13. Казанли Д. Н., Попов А. А. Характеристика глубинных волн, зарегистрированных в Центральном Казахстане.— В кн.: ГСЗ земной коры в СССР. М., Гостоптехиздат, 1962, с. 113—133 с ил.
14. Карус Е. В., Резанов И. А. Связь сейсмических явлений с особенностями строения земной коры.— «Советская геология», 1971, № 11, с. 32—42.
15. Краснопецева Г. В., Резанов И. А. О геологической природе границы Конрада на Кавказе.— «Известия вузов. Геология и разведка», 1974, № 7, с. 3—12 с ил.
16. Результаты изучения строения земной коры и верхней мантии с помощью станции «Земля» в Азово-Кубанской впадине.— «Прикладная геофизика», вып. 55, 1969, с. 70—83 с ил. Авт.: И. В. Померанцева, А. Н. Мозженко и др.
17. Сейсмические исследования земной коры Западной Сибири.— Труды Ин-та геол. и геофиз., вып. 93, 1970, с. 67—113. Авт.: С. В. Крылов, Б. М. Мишенькин, А. И. Павленко, Н. Н. Пузырев, А. А. Рудницкий.
18. Строение фундамента Юго-Востока Русской платформы.— «Известия АН СССР. Сер. геол.», 1973, № 12, с. 19—31. Авт.: С. В. Богданова, Н. В. Подоба, А. Д. Серова.
19. Тектоника Туранской плиты.— М., «Наука», 1966, 287 с. с ил. Авт.: И. С. Вольвовский, Р. Г. Гарецкий, А. Е. Шлезингер, В. И. Шрайбман.
20. Крылов С. В., Мишенькин В. П. О геологическом истолковании сейсмических границ в земной коре.— В кн.: Природа сейсмических границ в земной коре. М., «Наука», 1971, с. 55—62 с ил.
21. Левенштейн М. Л., Павленкова Н. И., Баранова Е. П. Особенности строения фундамента наиболее погруженной части Днепровско-Донецкой впадины.— «Геол. журн.», т. 31, вып. 2, 1971, с. 78—82 с ил.
22. Литвиненко И. В. О некоторых результатах изучения глубинных разрезов земной коры различных структурно-фациальных зон Кольского полуострова и Карелии.— В кн.: Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита. М., «Наука», 1968, с. 185—190 с ил.
23. Мойсеенко Ф. С. Строение земной коры южного горного обрамления Сибири.— Новосибирск, «Наука», 1967, 206 с. с ил.
24. Муратов М. В. Строение складчатого основания Средиземноморского пояса Европы и Западной Азии и главные этапы развития этого пояса.— «Геотектоника», 1969, № 2, с. 3—21 с ил.
25. Павленкова Н. И. Изучение структуры земной коры Украины по скоростным уровням.— «Советская геология», 1972, № 9, с. 61—73 с ил.
26. Резанов И. А. О строении земной коры платформенных областей.— «Бюлл. МОИП», 1962, № 1, с. 25—42 с ил.

27. Резанов И. А. О геологической природе сейсмических границ в земной коре.— В кн.: Природа сейсмических границ в земной коре. М., «Наука», 1971, с. 124—132 с ил.
28. Резанов И. А., Шевченко В. И. Новые представления о глубинном строении некоторых передовых прогибов альпийской складчатой области.— «Известия вузов. Геология и разведка», 1973, № 5, с. 16—26 с ил.
29. Резанов И. А., Шевченко В. И. Глубинное геологическое строение Кавказа, Южного Каспия и Западной Туркмении.— «Известия вузов. Геология и разведка», 1970, № 4, с. 49—59; № 7, с. 3—10 с ил.
30. Ризниченко Ю. В., Косминская И. П. О природе слоистости земной коры и верхней мантии.— «Доклады АН СССР», т. 153, 1963, № 2, с. 323—325.
31. Соллогуб В. Б., Трипольский А. А. Некоторые данные о глубинном строении земной коры по профилю ГСЗ Таганрог—Кировоград.— «Геофиз. сб. АН УССР», вып. 31, 1969, с. 5—24 с ил.
32. Трескова Ю. А., Киселева Л. Г., Гнибиденко Г. С. О строении земной коры Южного Сихотэ-Алиня по данным рекогносцировочного профиля ГСЗ Спасск—Тадуши.— Труды Сах. КНИИ, вып. 25, 1970, с. 66—70 с ил.
33. Туезов И. К. К вопросу о геологической природе сейсмических слоев земной коры мезозойд Востока СССР.— Труды Сах. КНИИ, вып. 20, 1969, с. 43—66.
34. Некунов А. В. Некоторые вопросы внутреннего развития земной коры.— «Геофиз. сб. АН УССР», вып. 34, 1970, с. 7—18 с ил.
35. Шевченко В. И. К вопросу о структурно-исторических связях Горного Крыма и Большого Кавказа.— «Известия вузов. Геология и разведка», 1972, № 5, с. 157—159 с ил.
36. Шейнманн Ю. М. Очерки глубинной геологии.— М., «Недра», 1968, 197 с. с ил.
37. Яриш М. С., Турчаненко Н. Т., Заяц Х. Б. Глубинное строение Карпат и сопредельных регионов по профилю Чоп—Рудки—Горохов—Луцк—Ворониха.— В кн.: Геофизические исследования на Украине. Киев. «Техника», 1969, с. 101—107 с ил.

卢德源 译

刘乃隆 校