

水文地质技术方法译文集

(遥感技术在水文地质方面的应用)



地质部水文地质工程地质技术方法研究队

1980年12月

目 录

研究地下水流的航空—航天照片解译·····	(1)
航天照片在水文地质调查中应用的特点·····	(6)
区域水文地质调查中航天和地球物理方法的综合应用·····	(16)
工程地质中应用航天方法的基本方向·····	(23)
水文地质工程地质测绘中航天照片信息能力的评价·····	(26)
研究沙漠区包气带的航空—航天方法·····	(31)
印度泰米尔纳德西北地区应用陆地卫星资料的地下水勘察··	(37)
应用陆地卫星一号资料对大湖流域地下水动态的鉴别·····	(45)
遥感技术在夏威夷水资源方面的新应用·····	(55)
日本应用热红外遥感进行的地热调查·····	(66)
根据热红外图象定量分析的地热勘察·····	(76)
土壤含水量和地下水的红外遥感·····	(83)
根据温度测量法对入海淡水泉最小流量的计算·····	(88)
应用热红外成象技术探测浅层含水层·····	(93)

{ 国外资料综述 }

七十年代美加等国热红外遥感技术在水文地质调查中的 应用实例·····	(109)
---------------------------------------	-------

Q581
14
P64:1

研究地下水流的航空-航天照片解译

(苏) Р.Г.贾马洛夫, И.С.泽克采尔, Ю.Л.奥比耶德科夫

为了研究、开发和保护地球上的自然资源,应用航天方法可以调查广大的区域,高效能地取得各方面的信息,以及多次地检查所研究的客体。这种方法由于是对大地作出区域的、真实而生动的总体描绘,所以能用来判明地壳各个组成部分之间的联系,并从时间上和空间上对它进行探索,根据可靠的直接和间接指示物来揭示各种自然现象。目前特别重视对各种知识领域和国民经济所需的遥感信息解译的科学原理的研究。大地的航空-航天照片水文地质解译的主要任务乃是确定地下水的分布区、埋藏深度和大致的矿化程度;圈定地下水的补给和排泄地段;阐明地下水和地表水的特征及其联系程度,包气带的组成成分和厚度;评价人工和天然因素对地下水动态的影响;在岩性-地层综合体和构造结构特征划分的基础上查明岩石的蓄水性能及其相对渗透性。

应当规定水文地质解译的基本原则是查明和研究直接反映在黑白、彩色和多光谱航空-航天照片上的各种水文地质客体和作用与景观单元的相互关系。研究水文地质特征和具有一定自然条件的各种景观组分之间的关系,乃是深入研究遥感信息水文地质解译的科学原理的首要任务。在解决水文地质解译的问题时,必须依据水文地质客体本身所固有的直接标志以及水文地质现象和作用与各种景观组分存在联系时所显现出的间接标志。所谓直接的解译标志不仅指的是研究客体影像的色(色调)或色的差别(色调),而且还包括所分出的色区和色调区的外形和大小,此都说明着水文地质作用的强度及其地质特性。应当指出,在解译时往往不是利用研究客体本身的色和色调,而是利用各个照片上色和色调的差异才是适当的。在专门的解译中,综合标志具有特殊的作用,它在影像的图形和结构方面不仅反映出某些自然区域综合体的外部特有界线,而且也说明了它们的内部结构。后者可以依靠影像特征与区域地质-水文地质条件之间所表现的关系来阐明。可见综合的解译标志同间接的解译标志一样能够判断调查区的内部结构。

由于自然界存在着景观内部的联系,从而直接、间接和综合标志的总和就成为各类地区水文地质条件的指示物。因此水文地质解译不仅包括航空-航天照片上的直接影像所显示的景观外貌特征的直接研究,而且还包括根据解译过程中查明了的景观-指示联系所划分的自然-区域综合体的地质-水文地质解释。也就是说遥感信息处理的第二部分,建立在广泛地利用综合的间接解译标志,这就是航空-航天照片专门解译的最复杂的过程。

解译时必须考虑到各种比例尺的航空-航天照片上的下垫面影像的繁简程度。划分出全球的、区域的、景观的和局部的概括化等级,它们构成了由小于 1:35,000,000到

1:25,000~1:5,000 的照片比例尺。对于水文地质解译特别有意义的乃是区域的和景观的等级。而且如果在小比例尺的照片上综合标志和景观指示物起着主要的作用,随着照片详度的增加直接和间接解译标志的意义就随之增大。直接的水文地质指示物(标志)一地下水在地表的集中露头、沼泽、盐土、冰锥和海洋陆架带的大型海底泉通常表现为影象的一定的色或在黑白照片上的不同色调。例如,地下水在地表的露头、沼泽具有深的影调,而深色区的形状和大小则说明了地下水的排泄强度、它们属于哪种地形形态和地质-地貌单元、关于潜水的埋藏深度和它与地表水相互联系的特征。

水文地质解译的间接标志有:地形、区域地质构造特征、沉积物的岩性-岩相特征、植被、冰雪盖层的生成与消融情况。研究区的地形是其水文地质条件的通用指示物之一。在包括相当大面积的航空-航天照片上可以看到各种各样的地形形态。这可以用来鉴定它们的相互关系和确定地形同岩石-地层和构造单元的关系。根据地形的特征(山脉、山前地带、丘陵、河谷、盆地)划分出区域性的和地方性的地下水补给和排泄区。从不同比例尺的照片可以得出侵蚀切割地形的定性和定量指标,可作为研究区的排水程度的直接标志。在照片上如能判明地貌结构单元,就能揭示出地貌结构同地质-构造特征之间的关系。由黑白和彩色照片的色和影调所显示的沉积物岩性-岩相特征,有时可以准确地解译出冲积层、洪积层、冰水沉积层、风成层的分布区以及坚硬裂隙岩石的露头。0.4—1.1 微米波段的多光谱照片地质解译的初步成果证明,当用短波段(0.4~0.6 微米)拍摄则较好地显示出疏松的第四纪沉积物,而用长波段(0.8—1.1 微米)则较好地显示基岩和区域构造特征。

目前根据不同比例尺的航天照片更准确而详细地揭示出地球上一些地区的构造结构。根据综合标志,首先根据几何的和影调的特征来解译各种构造:大型的背斜隆起和凹陷、环状构造、穹窿、全球的和区域的断裂破碎带以及其它反映在地形或薄的疏松沉积盖层中的大型和较小的构造结构的细节。在照片上清晰地拍下了直线状延展的构造物—区域构造线。它是深部的线性变形或岩性-岩相、地貌和其它自然特征的狭窄的空间更迭在地表上的反映。在大多数情况区域构造线乃是各种倾角的断裂破碎带,它伴有较多的岩石裂隙。因此具有重要的水文地质意义。

一个区域内发育的植被也属于区域水文地质条件的间接指示物。用作地质-水文地质解译的地植物标志已经研究得很充分并趋于完善。植物群着重指示出区域的地形特征、地质构造和水文地质条件。根据植物群可以十分准确地确定各种自然条件下的纬度和高度上的气候分带、河谷和阶地、构造阶地和断裂以及某些水文地质特征—地下水的大致埋藏深度、地下水在地表的露头、地下水与地表水的联系特性和程度。在照片上生态群和植物群可按光谱特性来区分。例如干旱地区的旱生植物在照片上通常具有浅灰色影调,而水生植物则以深色和严密涂盖来区别。对于水文地质解译特别有意义的乃是潜水湿生植物和盐生植物,它们是地下水埋藏深度和矿化程度的指示物。在研究影像时应特别注意沿地表水流和灌溉工程密集的大量水生植物和潜水湿生植物,它们的分布形式和密度可以说明地表水的存在及其向河底和两岸入渗的强度。根据不同种类植物聚集的特殊延伸形式可区分出古河道和暂时水流,它们在干旱气候条件下属于地下水埋藏不深的地段。

季节性的雪盖层应根据影像上的浅色和浅灰色色调来解译。在雪盖层生成和消融时期,界限模糊的融雪区在个别情况下说明地下水埋藏较浅。这与饱水岩层的比热较大有关。在水文地质解译时必须确定雪盖层的高度或厚度,因为知道了它的面积和起伏形态就可以确定地下水具体集水面积范围内的雪储量总值。根据这一数量指标就可较确切地预测春天潜水位上升幅度和土壤的墒值。在地表水流和水池上的冰盖层特征应当作为地下水埋藏不深及其排泄情况的近似的间接指示物。在沿岸和水下地下水露头集中的地段,形成了在浅色或灰色的背景上具有深色影调的各种形态的冰窟窿。但对这类地段的水文地质解译应该十分谨慎地进行,因为在大的居民点、工业和动力设施的分布区内,冰窟窿可能是由于热污染所引起的。

各种比例尺航空-航天照片解译的第一阶段,要查明直接的、间接的和综合的解译标志。然后将它同研究区的所有资料结合起来更准确地加以说明。当较详尽地分析解译资料时,所划分的标志必须到现场借助地面路线踏勘以及某些剖面 and 地段的专门的综合性工作使其更趋准确。在这方面,特别有效的是根据卫星-飞机-地面作业系统的同时调查,这样就提供了不同详细程度和概括程度有关介质自然条件的各种对比资料。

解译的第二阶段,根据划分出来的解译标志及其对地下水流形成条件所起的指示作用,编制出反映区域一般地质-水文地质特征的某些方面的分析图和略图。属于这类的图件首先有:水点和出水点图、河网密度和地形侵蚀切割程度图、植被图、岩性-岩相图、地质构造图、景观地貌单元图。分析图件的全部综合,可以得出以某种精度客观评价各种因素对地下水的形成、运动和排泄这一复杂过程的影响,并根据已知的天然联系提出关于研究区水文地质条件的初步意见。对于不同的自然区域综合体,分析图件的选择根据本身信息多寡和工作量(取决于影响地下水流形成条件的介质的自然特性)而有所区别。

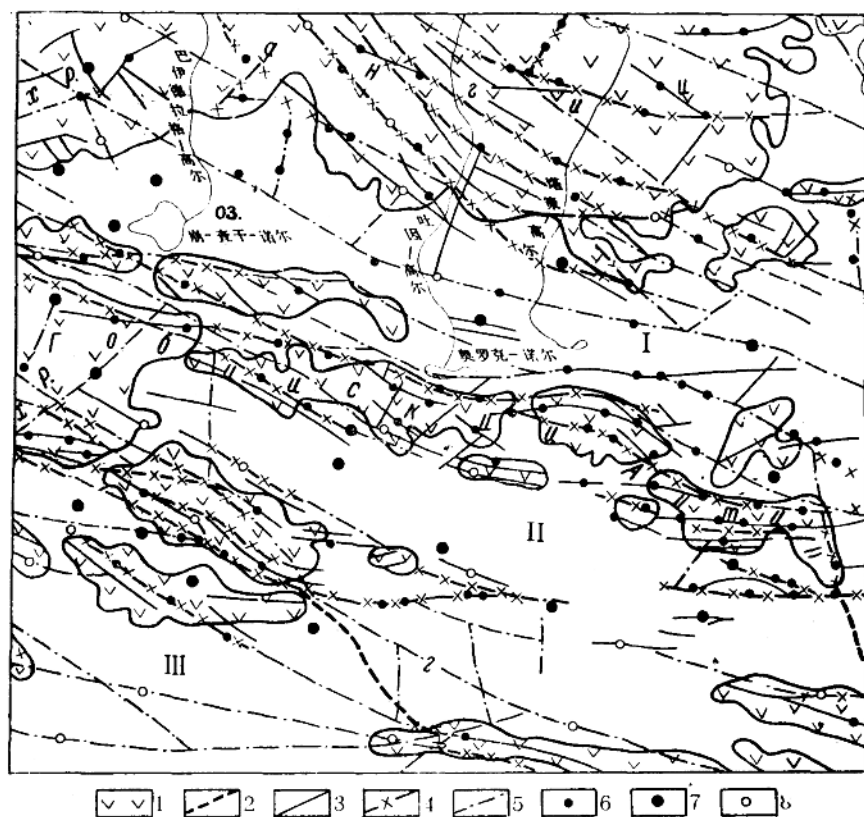
第三阶段,由于分析和综合了分析图件,从而编制出综合性景观类型和景观指示略图,在这些图上反映出所取得的全部信息。在水文地质解译中,景观类型图要考虑到地质-地貌的原则来编制。根据这些图件来确定与区域地质-构造条件有关的地貌结构单元,研究它们的相互关系并确定成因联系。实际上,研究区的区划略图就是根据划分出来的表征岩层综合体的大的地质地貌单元编制的。地下水的分类、形成和分布条件之间所存在的逻辑关系,使之能够确定研究区的水文地质情况。所以景观类型图可作为随后的自然区域综合体的水文地质区划的基础。

景观类型图补充以景观指示图,在该图上确定出每一地质-地貌单元所特有的并说明该范围内地下水流形成条件的各种解译标志。属于这类标志的首先有中、小地形单元;特定的植被及其密度;盖层的岩性-岩相特征;基岩露头;出水点及其属性;构造断裂的方向和岩石的裂隙程度,出现在地表上的各种自然作用和现象-岩溶、滑坡、碎石堆、盐土、龟裂地、冰锥、融区、沼泽等。在景观指示图上根据主要的解译标志可以划分地下水的分布区及其补给和排泄区,确定水的埋藏深度和大致的矿化度,阐明地表水与地下水相互联系的特点和程度,评价天然和人为因素对地下水动态的影响。

考虑到上述反映景观外貌组分与地质-水文地质条件的联系的景观综合图,就可转入编制一般的和专门的水文地质图件的结尾阶段。水文地质图的内容决定于用遥感方法对自然区域综合体进行研究的详细程度,其中可包括水文地质区划、含水层和含水综合

体的分布面积与特征, 含水岩石的储水性和导水性的一些数量指标、地下水流量的相对特征值。在专门的水文地质图上反映出研究区的一系列的水文地质问题。它可以是水点和出水点、地下水在不同时期的埋藏深度和矿化度、区域排水程度、构造和新构造因素对水文地质条件的影响等图件。

在中蒙西部水文地质区划和地质构造特征对水文地质条件的影响略图是根据航天照片解译进行专门水文地质填图的一例(见图)。



中蒙西部航天照片解译略图

1、杭爱山褶皱山区和阿尔泰戈壁-自流水盆地的补给区; 2、自流水盆地的界线; 3、地面地质-水文地质工作过程中所发现的断裂; 区域构造线; 4、根据航天照片解译的并与地面工作过程中所发现的相吻合的界线; 5、仅根据航天照片解译的界线; 水源: 6、泉; 7、钻孔; 8、井; 区域的和深部的断裂: 1、伊赫-鲍格金, 2、外阿尔泰, 3、古尔万-萨伊汗, 自流水盆地: I、多林纳湖 II、霍洛 III、英格尼霍布

在1974年从人造地球卫星“陨星-18号”所取得的 1:10,000,000 比例尺的黑白照片上, 根据色、影调、形状和规模辨别出蒙古中部的地形、地质-构造和岩性-岩相特

征。解译的结果更为确切并同航空摄影测量及地面水文地质工作的资料相一致。在航天照片上清楚地看到戈壁阿尔泰的山脊和杭爱山的南支、多林纳湖的山间洼地、霍洛和英格尼霍布盆地。山区是区域地下水的补给区，由元古代—古生代不同成分的火成岩和变质岩所组成。在照片上根据深灰和黑色的影调来区分它们。填充着陆相中生代—第四纪沉积物的地堑型构造盆地，则根据灰色和淡灰色影调来确定。在水文地质方面它们则属于自流水盆地。自流水盆地之间的界线，则根据该盆地和环绕它的山体与单个山脊的影像的特有图形和结构来划定。

在自流水盆地范围内，较小的地形形态根据影调解释出波昂—查干—诺尔、塔察因—查干—诺尔、奥罗克—诺尔等湖，巴伊德拉格—高尔、吐因—高尔等大河河谷，个别的暂时性水流河床和湖泊洼地。上述的侵蚀形态填充着疏松的第四纪冲积—洪积物，由于这里广泛发育着盐土而以浅灰色为特点。根据地面水文地质调查资料这些沉积物中积聚着地下水，其埋深在10米以内。

在照片上不同岩性和成因的沉积层平面分布的总背景中，可划分出影调在方向上保持不变的线性构造—区域构造线，它隔开了不同岩性成分的岩层，限制了地质构造单元，甚至还成为各种倾角和走向的断裂破碎带。在区域构造线中可以看到延伸达500—700公里的区域线性构造。它们控制着戈壁阿尔泰和杭爱大型构造块体。这些区域构造断裂具有西北向的总走向并交杂着各种方向的较小断裂。所解译的构造断裂的复杂情景说明了基岩的强裂隙性及其复杂的断块构造，这些对地下水运动和形成条件产生了重大的影响。应该指出，在航天照片上划分出已知的区域性断裂（伊赫—鲍格金、外阿尔泰、古尔万—萨伊汉及其他深大断裂和新发现的区域性断裂（多林纳湖和霍洛盆地），确定出它们的走向、相互排列次序以及与区域构造块体的关系。查明所划分的区域构造线的水文地质作用是复杂的解译任务之一，它只能在充分利用专门的地面调查成果和现有资料的条件下才能以解决。因此，根据中蒙构造断裂分布略图同地面工作时所发现的地下水在地表的天然出露地段的对照，就能分析出所解译的区域构造线的导水和隔水作用。通过这样的对照查明了大量常年活动的泉、富水的古孔和井都位于构造断裂带上，并且后者往往由链状排列的出水点核对出来。涌水量最大的地下水露头都与1957年地震所引起的断裂有关。所以地质构造因素对所描述地区的地下水流起着重大的作用，亦即区域性的和地方性的地下水流都由构造断裂所控制。

上述的水文地质解译方法与手段主要涉及在可见光和近红外波段中航空航天照片的处理问题。对于水文地质特别有意义的乃是红外和微波波段的摄影测量，它能定性地测得地壳的新信息。因此各种类型的航天摄影测量方法的综合应用，对整个地下水流形成条件和个别水文地质客体的研究开辟了广阔的前景。不过，在这种情况下，水文地质解译方法也应根据已查明的有关地下水的赋存与形成条件的直接和间接指示物，它们在所研究的景观区域综合体中具有清楚的外貌反映。航天摄影测量资料的解译应该结合依据航空目测和地面测量的成果。这样可以大大提高信息能力和工作效率。

译自Разведка и Охрана Недр, 1, 1977.

马鸿云 译 方鸿慈 校

航天照片在水文地质调查中的应用的特点

〔苏〕Р.Г.贾马洛夫, Ю.Л.奥比耶德科夫, Т.И.萨弗罗诺娃

应用遥感信息研究各种自然—区域综合体的水文地质条件, 目前引起很大注意。研究区的地下水与反映在航天照片上的地质—地貌情况、构造地质条件、自然地理因素的时空关系能相当精确地查明地下水的分布地区, 确定其埋藏深度, 确定补给区和排泄区, 判断与地表水的联系程度。因此, 应把查明和研究各种水文地质客体和作用同景观的外貌组分的相互联系以及确定表达这些联系的解译标志, 作为水文地质介译的基础。

当在航天照片上进行水文地质解译时, 可以区分直接标志、间接标志和综合标志, 总和这些标志可以判断研究区的水文地质特征。地下水在地面的集中露头、沼泽、盐土、龟裂地、岩溶地形、冰锥、大陆架上大的海底泉一般表现为直接解译标志(颜色、色调、规模和形状)。但是, 为了辨认隐伏的水文地质特征, 直接解译标志往往是不够的, 因为在研究区有时缺失直接标志, 而水文地质客体按亮度及其物理状态可能有不同的色调。在这种情况下分析照片时应利用间接解译标志, 使其有助于判断不直接反映在照片上的和按直接标志不能确定的某些客体。

水文地质解译的间接标志是地形、区域地质构造特征、沉积物的岩性—岩相性质、植被、土壤湿度、冰雪覆盖层的形成和消融条件、水系的密度等。间接解译标志的适用性在很大程度上取决于区域总的研究程度。它们的显示和正确的解译应在研究区所有实际资料的基础上进行。

反映自然—区域综合体的结构及其与内部构造联系的综合解译标志, 经常是研究区域水文地质条件的最明确可靠的标志。它们与影象的色调、形状和图案有关, 并全面地反映地面景观特征。在地面景观中划分为外要素和内要素。外要素(地形、植被、水系、构造的一些要素)直接反映在照片上, 可根据直接解译标志的总和来进行解译。内要素(水文地质客体和现象、地层的岩性等)不直接反映在照片上, 只能凭借间接标志的帮助来辨别, 为此应查明景观外要素的指示作用。

众所周知, 下伏面摄影可用不同波段电磁辐射光谱进行, 目前对波长范围为0.4至1.1微米的可见光和近红外光的航天摄影和电视摄影尤感兴趣。利用地球表面物质反射太阳光时的光谱的差异, 能可靠地鉴定各种自然形成物。在辨别各种客体时区分不同光谱段的信息是现阶段水文地质解译的主要任务, 在这方面卫星—飞机—地面系统的同步调查具有特殊效果, 它们提供详略不同、可供研究地面景观的各种对比资料。

因此我们通过对多波段的航空和航天照片的分析, 以便查明水文地质解译的最佳信息波段, 然后将获得的结果用野外观测资料进行校核。已肯定的进行解译的多光谱航空摄影的波段为0.48—0.51, 0.54—0.55, 0.58—0.61, 0.70, 0.82微米和航天摄影的波段为0.5—0.6, 0.6—0.7, 0.7—0.8, 0.8—1.1微米, 借助于直接和间接标志的反映来

查明研究区的水文地质条件的空间特征。现将解译结果列入表内，表中指出判定各种自然形成物的最佳信息波段。下面对这些形成物的反映特点作简要的叙述。

水体包括海、湖、水库、沼泽、河流、渠道、暂时水流、地下水在地面的集中露头。水的深度、清洁度和透明度、水底的颜色、波浪、水生植物的存在对水面影象的色调有很大影响。在可见光谱的短波段（0.4—0.6微米）可以观察到水面和周围介质之间极小的光谱差异，而影象的一般色调为浅灰和灰色。在这种波段上水是最透明的，光能透射到水体的底，按色调的变化可以辨认港湾深度的变化。这种波段范围表明有可能揭示混浊水流和机械混合物的污染。这里应当指出，随着水中悬浮物质浓度的增加，最佳信息摄影波段则为0.6—0.7微米。

在0.7—0.82和0.8—1.1微米范围内摄影时水的光谱亮度系数 γ ，具有很低值，因此可观察到水体与周围地区之间的明显界限。水在这个波段内具有黑的色调，而水和陆地的界线反映明显，可用以绘制边岸界线。在0.84—1.10微米区间内可观察到植物和水面之间的明显差别，而1.52—1.75微米区间内水体和其周围的陆地具有明显光谱差别。在上述的第一区间内，使得水生植物在露天水面的黑色调上发亮。从而有可能查明和绘制出沼泽、沼泽化地段和长草浅水区。

由此可见，有关水体解译的任务可采用以下波段范围：1）0.48—0.51；0.54—0.55微米用于研究深度在10米以内的水底地形；2）0.54—0.55；0.58—0.61；0.6—0.7微米用于查明混浊水流的悬浮质和机械混合物的污染（显示地下岩溶水的海底排泄的最佳信息，尤其在春天）；3）0.8—1.1微米用于查明水体和绘制边岸线（能可靠地解译地下水体的集中露头）。

盐土，龟裂地为干旱不毛之地，当表面有盐皮或盐霜时可用最大的亮度系数区分出来。干的盐土呈很浅的色调有时带有色调的环状变化。潮湿的盐土由于盐皮的溶解具有深灰色，甚至黑色。盐土经常在0.58—0.61和0.6—0.7微米波段范围内进行解译，在该范围内盐皮具有最大的光谱亮度系数。龟裂地同盐土一样，按其湿度而改变其色调，呈浅灰色至暗色。由于按影象的色调区分盐土与龟裂地，特别在夏季带来了一定困难。所以，为了在照片上分辨盐土和龟裂地，在解译时必须考虑到它们的生成与一定地形形态的关系。龟裂地一般发育在无地表径流的地区，盐土可到处分布，但常见于地形低洼处。

岩溶—潜蚀地形形态（塌陷、漏斗、坡立谷、岩溶洼地）在湿润地区是根据灰色调的封闭椭圆形面积上散布着深灰色影斑来辨认的。深灰色影斑乃是较小的塌陷岩溶形态，以其具有较高的湿度和茂密的植被来识别。在干旱地区岩溶化岩石的影象具有较浅的色调，由于不同种类植物的相互更替使其带有镶嵌的图案。应当指出，岩溶形态发育在构造软弱带，也就是它们的外形和方向指示着新构造运动。在解译岩溶—潜蚀形态时特别要注意查明区域地质岩性结构，也就是说具有岩溶化岩石，同时还要查明研究区主要地形形态的成因和发展。为研究上述形态的最佳信息波段是0.58—0.61，0.6—0.7和0.82微米，在这些波段范围内区域地形的特征显示得很清楚，而裸露的岩溶化岩石具有特殊的影象色调和图案。

冰锥是在冬季地下水出露地段形成的一种冰体形态，它还形成在由于河流冻结、过水

水文地质解译中鉴定不同自然形成物采用航天和航空摄影的最佳波段

客 体	波 段 范 围, 微 米	
	航 空 摄 影	航 天 摄 影
水:		
边岸线	0.82	0.8—1.1
水底地形	0.48—0.51; 0.54—0.55	
混浊水流、机械混合物的污染、海底泉	0.54—0.55; 0.58—0.61	0.5—0.6
盐土	0.58—0.61	0.6—0.7
岩溶—潜蚀地形形态	0.58—0.61; 0.82	0.6—0.7; 0.8—1.1
冰锥:		
干的	—	0.5—0.6
潮湿的*	—	0.5—0.6; 0.8—1.1
地形:		
侵蚀的和风成的	0.58—0.61; 0.70	0.6—0.7
构造剥蚀、微地形,	0.58—0.61; 0.70	
中、大地形*		0.6—0.7; 0.8—1.1
地质结构:		
松散(陆相)沉积物	0.54—0.55	0.5—0.6
坚硬岩石	0.58—0.61; 0.70	0.6—0.7
构造:		
区域构造轮廓	0.58—0.61; 0.70	0.6—0.7
断裂	0.82	0.8—1.1
植物:		
水生植物*	0.58—0.61; 0.70; 0.82	0.6—0.7; 0.8—1.1
中生植物、潜水湿生植物*	0.54—0.55; 0.58—0.61	0.6—0.7; 0.8—1.1
旱生植物*	0.54—0.55; 0.70; 0.82	0.5—0.6; 0.6—0.7
土壤湿度	0.58—0.61; 0.70; 0.82	0.6—0.7; 0.8—1.1
雪盖和冰盖:		
干的(清洁的)	0.5—0.6	
潮湿的(污染的)*	0.5—0.6	0.8—1.1

* 上述客体的最好信息可以对照表中指出的波段范围来获得。

断面减小而使河水突破冰盖表面的地段。在可见光谱部分(0.5—0.7微米)这些形成物以浅的和浅灰色调来识别,对无雪区有明显的差别。潮湿的和上面有水的冰锥在近红外波段(0.8—1.1微米)上具有较低的亮度(由于水的很大吸收性能),也就是呈深灰和深的影象色调。可见,当对照可见光波段和近红外波段的影象,能很好地探索冰锥的生成过程。冰锥蓄集地下水流,当它融化时逐渐转化为地表水,所以在照片上辨别出冰锥的分布面积和大致厚度就能对某一集水盆地的地下水流做出预测性的定量评价。

地形在很多情况下决定了整个景观在象片上的外貌反映。由于综合体的光谱亮度的差异使它的图案显示了出来。所以,在解译不同成因类型的地形时,多光谱摄影能显出最佳信息的波段。

地形的侵蚀、侵蚀堆积和堆积类型通常与常年水流和暂时水流有关。在干旱地区具有常年水流的侵蚀水系,由于水体、水生植物、河漫滩和低阶地上的较湿土壤具有低光谱特征,从而以浅灰色调背景上的深色的弯曲线条分辨出来。在象片上暂时性水流具有树枝状图案,并以较浅的色调区别出来。在这些河流形成的冲洪积层上有较高的湿度和生长茂密的植物的情况下,以周围干旱地面浅色调上的深色调将它们区分出来。

遥感方法对查明和追索古河道特别有效。这些河道一般充满着分选性好的冲洪积物,并表明对邻近区域起着排水的作用。在干旱地区灌溉土地及其附近的天然和人工水流的埋藏河床具有弯曲的有时是镰形的形状,由于湿度较高和植被繁茂而呈深灰色调。在未开垦地区的埋藏河床保留了影象的图案,但由于其中有盐渍土和盐土使其呈浅的色调。

在潮湿森林地区的侵蚀水系,如果河流有被开拓过的不毛的河漫滩,则具有明显图象。森林草原和草原带的河谷和冲沟—坳沟网,由于那里生长着茂密的草地植物、灌木丛植物或者乔木植物,从而以浅色调背景上的深色调的弯曲或树枝状图形分辨出来。当不存在植物时,小的侵蚀形态有浅灰色调的树枝状图形。

河流和冲沟—坳沟的侵蚀切割具有低的标高,所以表明对周围区域具有排水作用。由于侵蚀切割的质与量的指标,被相应的航空照片和航天照片所摄取,从而指出了地下水的流向与排泄强度。从河流流域的形状及其开拓程度可以得知地下水的埋藏条件及其与地表水的联系程度。例如,宽阔的沼泽化河漫滩表明潜水埋藏不深,并且潜水位是自高阶地及分水岭方向降低下来的。此外,河网密度及其平面图形反映着对河网排水性予以重大影响区域地质构造特点。当穿过背斜构造时和在河谷基岩强烈侵蚀区,河网密度照例减小,而河流的直线或弯曲的区段与断裂破碎带的走向有关。这些河段上产生着深层承压水的排泄。因而,解译航天照片和航空照片时,地形的侵蚀切割性是研究区水文地质条件的间接标志。

对于堆积地形形态方面具有重要水文地质意义的乃是山前洪积扇。这种形成物根据其具有条带状图象的三角形外貌——在相片上的色调从扇体顶部的深灰色和灰色变化到扇体底部的浅灰色——能可靠地解译出来。在扇体底部的淡色背景中有时分出与沉积物过于潮湿或与潜水溢出地面有关的深色影斑或黑色弯曲边缘。依靠吸收山前扇体暂时性地表水流,通常积累相当大数量的地下水,埋藏深度向扇体底部逐渐减小。查明和圈定不同比例尺相片上的洪积扇体,不但对于研究一般的区域水文地质条件而且对于在干旱地区勘探地下水都具有重要意义。

用来研究侵蚀、侵蚀—堆积和堆积地形形态以及查明单个形态的结构，最佳信息波段在航空摄影为0.58—0.61；0.7；0.82微米，而在航天摄影为0.6—0.7微米，当在0.58—0.61；0.6—0.7微米这样的波段内，明显地看出地形的切割程度、单个的地形形态以及它们之间的界线。在0.82微米的照片上显现出地形形态的立体感，各个地形形态要素之间的界线很容易分辨出来。

风成地形类型由各种不同的砂所构成时，通常以鲜明的光差区别于周围背景色调。在照片上不仅依靠其色调的差别而且还要依靠影象所具有的构造和结构的特征来辨认。例如，风成的不长草的砂组成的微起伏平原在照片上具有带特殊图案和波纹的浅或浅灰色色调。随着草木的丛生则影象色调变得较深，而图案受着植被的影响而带有小的花斑。新月形沙丘具有沿主导风向延伸的单体的新月形图象。草木丛生的丘陵状砂地在照片上是根据灰色的固定地段与浅色的风蚀地段相互更迭形成的网状或斑状图案来辨认的。

当进行水文地质解译时，应特别注意解译非固定砂体，它的分布地段是探查淡水透镜体的远景地段。风成地形形态在0.58—0.61和0.70微米航空照片上，在0.6—0.7微米的航天照片上能最清晰地辨认出来。这种地形形态的刻蚀程度及范围大小表现于0.82微米波道的照片中，而各个组分之间的界线清晰度损害不大。植被通常可以强调出风成地形形态，但是能够掩蔽它的微小组分。在对比上述波段和近红外波段的照片情况下，由于在光谱的长波段下一部分色调变浅，植被的掩蔽作用也就可以减少了。

构造—剥蚀地形类型与该区老的和新的地质构造关系密切，在航天照片上由于它的广阔的视野和概括化，适当地解译就能分析和探索到地形单元与地质构造的关系。例如，具有明显界线的新隆起的块状构造，有时由平面图上河谷构形的急剧变化和侵蚀切割深度的变化所核实。这种隆起的影象色调是由岩石表层的光谱特性、岩石物理状态、以及植被的存在与密度所决定的。

在平原区构造地形形态表现的不甚清晰。这里只能解译出巨大的拱状隆起和凹陷，它们通常是受河谷的构形、植被形式的更替以及景观总图象的空间变化所控制的。在山区极清楚地显示出构造形态，其中的向斜与背斜、地堑与地垒的复杂更替，决定着山脉与山间凹地的总构造、走向和连接特点。在这种山区总构造的图形上添加了通常是继承区域断裂破碎带及其局部分支的最细微的侵蚀形态。总之可以指出，在照片上构造单元通常明显地被描画出来，并且经常与外营力地形（具有合乎规律发展的形态）总图象相违背。

在水文地质解译中研究构造剥蚀地形必须是为了圈定水文地质大区及其亚区，后者又划分出区域的和局部的地下水补给区和排泄区。解译构造地形的微形态时，在航空照片上最佳信息波段为0.58—0.61；0.7和0.82微米，这时可以强调出每个地形单元的刻蚀程度。当研究中一大型地形时，建议与0.6—0.7；0.8—1.1微米波段的航天照片相对照，从中能分析出基本的地貌构造单元，并根据区域构造图查明它们的相互联系。

区域地质结构在复以很薄的松散第四纪地层的裸露地区进行解译最为可靠。基岩影象的色调和图案取决于基岩矿物成分、裂隙性和破碎性，并依从覆盖的残坡积层的颜色、厚度和湿度以及植被的密度和状态而变化。裸露的喷出岩和侵入岩依据它们的颜色而表现为层次不明显轮廓清晰的浅色调区（酸性的）和深色调区（基性的和超基性的）。这

些区通常具有块状构造而在喷出岩裂隙发育的情况下具有网状的花纹。在照片中沉积岩通常具有较浅的影调。各种成分和颜色的岩石相互更替时,表现特有的层状、条带状图案,它们在好的光照条件下,在陡峭的露头和陡坡上表现尤为清楚。松散的沉积物是根据其在地形中的位置来辨别的,它具有特定的成因类型,轮廓不明显并有不同深浅灰色的均一色调。

地形的切割和植被能够掩蔽岩层表面不同岩性、岩相的光谱差异。因此,地质结构(层理、断层、产状、成因类型等等)的几何图形常常做为区域地质结构的基本解译标志。当进行水文地质解译时,地质结构的研究应当首先用来划分可能的含水层(石灰岩、砾石、砾岩、砂),并确定坚硬岩石的产状、裂隙性和风化程度。上述岩性差异的区分,概略测定其厚度及物理状态,就能根据现有的地面测定和比拟方法来进行透水性和储量的初步评价,也就是对地下水的天然资源和储量做出一些判断。

对划分第四纪松散地层来说最佳信息的波段是0.5—0.6微米。但是特殊成因类型的松散岩层(冲积扇、洪积裙、冲积谷、风成地形的结构)用0.6—0.7微米的波段显示的最好。这个波段在解译坚硬岩石时也是最好的,因为利用它可以清楚地区分层理、错动及其它构造特征。

区域大地构造根据大的地形形态来解译最为可靠,因为它在照片上具有直观性。岩石的构造破碎程度及其风化程度取决于它的岩性成分,隆起与沉降的时代及升降速度。例如,新构造运动形成的块状隆起通常系以轻微的侵蚀切割程度和具有明显的构造界线为特点。各种产状的断裂破碎带通过照片上影调的线性结构—区域构造线进行追索,它根据地层连续性的破坏和位移显示出来,还根据各种景观要素的直线方向性表现出来。直接反映在各种比例尺照片上的断裂破碎的标志中,首先应指出的是河床、干谷、阶地成直线的地段,直线分布的串珠状湖泊、沼泽、牛轭湖、盐土和砂山。

应特别注意查明区域构造线的水文地质意义。断裂破碎带的导水性和阻水性大多决定了广大区域特别是结晶岩广布地区的水文地质条件。各种方向的区域构造线复杂错综的地方,构成结晶岩体独特的块状构造,地下水基本上就存在于断裂破碎带中,而地下水流强度就取决于总的破碎情况和裂隙的闭合程度。

区域构造图式如果与地形特征密切相关,则在0.6—0.7微米波段上能最可靠地解译出来。在0.8—1.1微米波段的照片上能显示出断裂破碎带、单个的断块及其界线、构造的破碎性及断裂性。因此在进行区域大地构造的解译时,建议同时观察上述波段的照片。

植被是进行地质—水文地质解译时的信息最佳的间接标志。不同纬度和高程带以及景观综合体的植物群落在照片上有着自己的固有影象。植被的影象色调不仅取决于在研究区占优势的一定植物群系类型或组合类别,还取决于物候状况。在植物生长的开始阶段特别是成熟阶段,随着绿色植物的 γ_A 值的减少,影象色调渐渐变得较深,同时每一个带在照片上的结构和图形保持有独特性。植物在生长期之末和衰落时期凋萎植物的 γ_A 值将得到提高,因此植物影象色调变得较浅。所有的植物种类在光谱兰色波段(0.4—0.47微米)及红色波段(0.59—0.68微米)中都具有吸收叶绿素颜色的特性,而在绿色波段(0.51—0.57微米)及近红外波段(0.8—1.1微米)中则具有反射叶绿素颜色的特性。

因此,这些不同的波段内光谱系数可以确定植物种类。例如,地下水浅埋或露出地

表的过分潮湿地区具有水生植物,在光谱红色波段部位 γ_A 为低数值,而在近红外波段部则为高数值,于是对这些波段的照片进行对照时,依靠它们的显著差别,就能够很好地辨认出来。近红外波段影调的变浅,则是受到对地下水起着指示作用的潜水湿生植物的影响。干旱地区的潮湿地段和渠道水渗漏处在0.6—0.7微米波段的照片上依靠稀疏旱生植物总的灰色色调上中生和旱中生植物群深的影象色调辨认出来。

土壤湿度—当具有稀疏而矮小的植物覆盖时相当清楚地显示在照片上。在干旱地面背景上天然湿度增高的地区和灌溉区以较深的色调辨别出来并在所有光谱波段(0.4—1.1微米)的照片上持有独特的光学差异。如果根据个别地带特有的几何图形可靠地解译出潮湿的灌溉区,则天然潮湿地段的划分必须注意低洼的地形形态并紧密联系着水体和制约性气象因素。

当进行水文地质解译时,应特别注意潮湿区的空间和时间上的分布。天然条件下的经常性潮湿地面是与溢出地面的潜藏地下水以及渠道和地表水流的渗漏地段有关。主要受气象因素制约的季节性局部潮湿土壤,可以表明是地下水的补给地点、周期活动泉的出口以及其它暂时性的水文地质现象。灌溉区的位置表明,存在着违反地下水天然动态的区域,那里的地下水位直接联系着灌水和土地洗盐的时间安排而产生周期性升降。

γ_A 数值随着土壤湿度的增大而减小,并且呈非线性的关系。当土壤的湿度从最大吸湿度增大到最小水容量时,便出现 γ_A 减小的最大程度。土壤的最小 γ_A 数值表明达到了相当于毛细水容量的湿度,并在其中出现了自由的重力水。 γ_A 与湿度的类似的相关关系出现在近红外波段内(0.8—1.1微米)。但是这种亮度变化程度的高数值发生在潮湿的土壤中,也就是含有重力水和毛细水的土中。根据0.5—0.7微米光谱波段的照片确定隐伏面的湿度时,应该考虑到植物的掩蔽作用,它在这样的波段范围内表现为深的色调。这种植被“掩蔽”的影响最后可以通过可见光与近红外光波段的照片对比,依靠局部色调变浅予以排除。

雪盖和冰盖依照年代、污染程度、融化区的存在与湿度、光照条件以及太阳所处高度而表现为浅色的和浅—灰色的色调。当雪的厚度增大到10—15厘米以上而保持不变时,积雪地区的亮度便增大。因此,在平原地区的照片上当雪的厚度大于10厘米时;而在山区的照片上当雪的厚度大于20CM时,成片的雪盖便能可靠地辨认出来。由于雪的大光谱亮度可精确地探查出雪盖的形成与下滑的范围。依靠精细的分析还可解译出零星分布的雪盖、研究其下滑的进程并揭示融化区的存在。

研究雪盖和冰盖的状态对于水文地质解译具有重要意义。融化区有时可以与地下水浅埋或地下水出露地表联系起来,而稳定的冰前沼和河流的未冻结地段能够指示较高温度的地下水在沿岸和水下的排泄位置。春天融雪的范围除取决于气候因素外还取决于导水的构造破碎带的影响、增强对流性和传导性的热水流带的分布以及覆盖层的导热及热容性的特征。特别重要的是解决这样的复杂问题:即根据照片确定雪盖层的厚度以便较可靠地预测地下水的春天补给强度、水位的抬高以及土壤墒值的增大。

未融化的雪最清晰地表现于光谱的可见光波段(0.5—0.7微米)的照片上。当进行解译时应该考虑到在该波段下新降落的干雪与已玷污了的湿雪的 γ_A 值相差大约一倍。但是融化了的湿雪在近红外波段的照片上进行辨别是最可靠的。因此,对照上述波段的照片

就可清晰地发现融雪、融化区、冰前沼的界线及零星分布的雪盖。

可见，通过航空照片和航天照片的解译就确定了直接的和间接的解译标志，并论证了它在研究各种自然—区域综合体的水文地质条件方面的指示作用。同时还确定出信息最佳的狭窄的光谱波段，在该波段内水文地质客体、水文地质现象和水文地质作用的研究标志都具有清晰的光差和独特的影象图形与结构。

各种比例尺照片的水文地质解译的第一阶段包括揭示和划分直接的、间接的和综合的标志，这些都并非偶然集合的而是呈有规律的结合。然后将这些标志与工作区现有的实际资料和文献资料以及各种一般图件和专门图件进行对比使之协调和明确起来。对解译资料进行更详细研究的情况下，所揭示的标志及其指示作用应该在现场加以明确。

在划分解译标志的基础上，编制出一套反映某些一般区域地质—水文地质特点的分析图表。而后对分析图件进行分析与概括，继而编制综合景观—类型图及景观—指示图，它们实质上是尔后进行区域水文地质区划的基础。反映景观外貌组分与地质—水文地质条件关系的景观—综合图，能用来编制一般的和专门的水文地质图，这些图件所反映的内容取决于借助遥感方法研究自然—区域综合体的详细程度。

下面将根据1973年6月4日人造地球卫星《ERTS—1》摄得的多波段照片，所完成的费尔干谷地东部水文地质区划作为航天照片专门解译的例子。根据该区在0.5—0.6；0.6—0.7；0.7—0.8以及0.8—1.1微米波段内所获取的影象影调和结构特点划分并鉴别不同的自然形成物（图1）。在辨认客体时，要考虑到上述不同光谱波段的影象特点，为了提高鉴定的可靠性，使用信息最好的波段，或者各波段之间进行对比。

揭示出自然形成物的有规律的组合，就能根据它的地形特点然后考虑到地质—地貌结构来进行该区的区划。各种成因和时代的不同岩性的影象色调的差别，能用来在费尔干谷地东部地区划分第四纪、新第三纪、老第三纪、白垩纪和侏罗纪的各种成因的陆相沉积以及古生代的石灰岩、变质岩和喷出岩。

顾及地质和大地构造解译的上述区划图是研究区水文地质区划的基础。

由于费尔干谷地东部水文地质区划图分出了区域地下水的补给区和排泄区，从而有可能确定费尔干自流水盆地承压水分布范围（图2）。该区下伏构造特点在照片上清晰的反映使之有可能详细绘制盆地构造图。特别是以零乱丘陵地形显示出来的新构造具有重要的水文地质意义；如果它们是沿着承压水分布边界分布，则表明这里是地下水补给的附加地段；如果它们分布于承压水的中心地段，则表明这里是向上渗透水的积极排泄区。此外，以南西向切穿的新构造隆起将自流水盆地的承压带东北部明显地分为两个独立部分，它们之间的联系是通过构造隆起的断裂，破碎部分来实现的。自流水盆地的构造图被不同方向的、对地下水流向，补给及排泄条件起着重要作用的区域断裂（区域构造线）所复杂化了。

这样，通过多波段航天照片解译所制定的费尔干纳谷地东部水文地质区划表明，费尔干自流水盆地是一个复杂的构造—水文地质综合体，这里的构造特点对地下水流动的水动力条件予以重大的影响。这再次证明航天摄影测量常常给予有关下伏面的新的附加信息，在专门的解译条件下能够更精确而详细地确定研究区的水文地质特征。

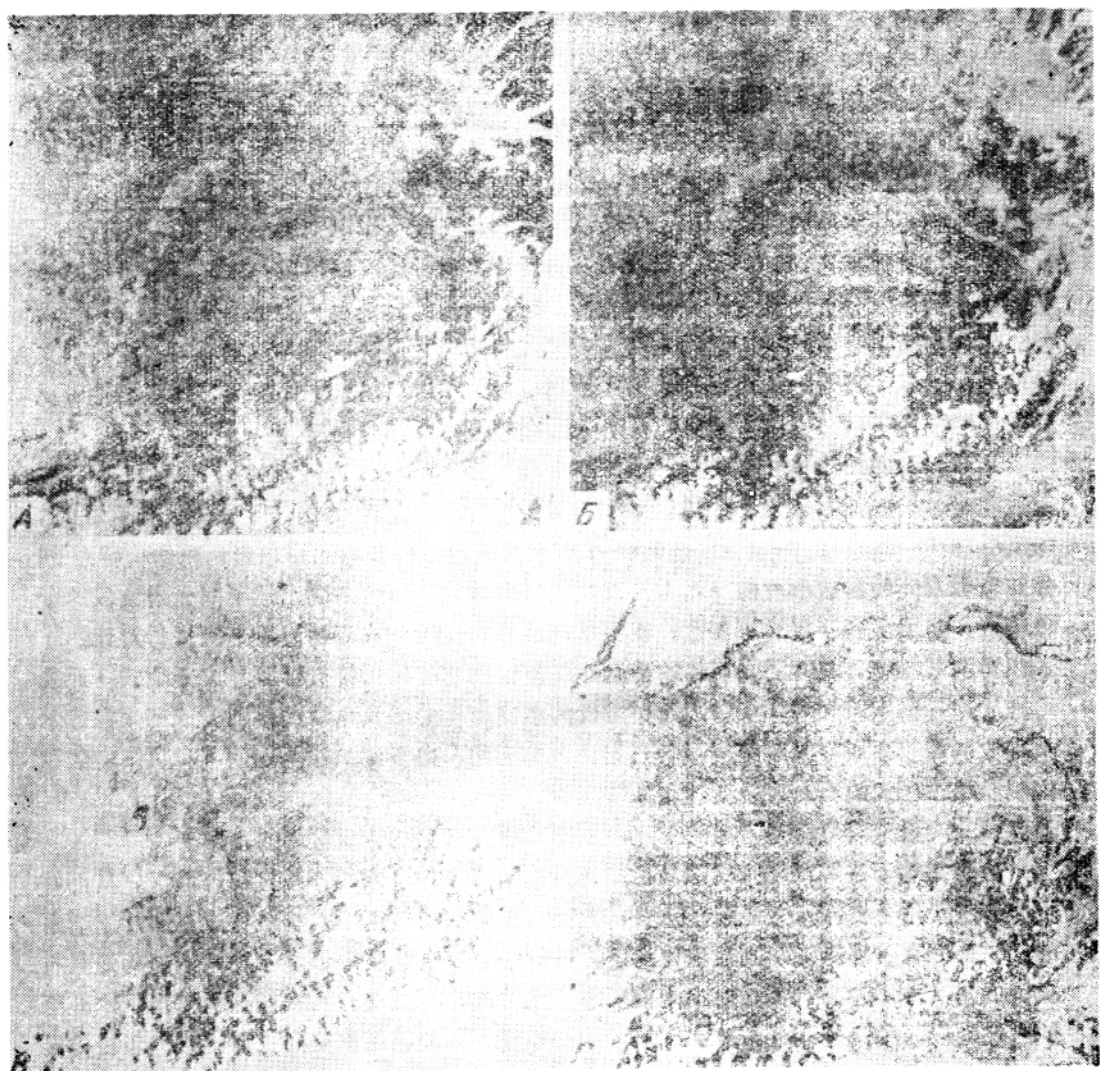


图1 1973年6月4日从《ERTS—1》上拍摄的费尔干谷地东部的多波段影象[А—摄影波段($\lambda\lambda$)0.5—0.6微米：划分出松散覆盖层的岩性；Б— $\lambda\lambda$ 0.6—0.7微米：划分出地形特点、构造形态结构组合体、植物群落和土壤的湿度；В— $\lambda\lambda$ 0.7—0.8微米：划分出水体和某些构造特征；Г— $\lambda\lambda$ 0.8—1.1微米：划分出水体、形态结构单元和构造破碎带（构造线）、植物群落和土的湿度并绘出海岸线]。

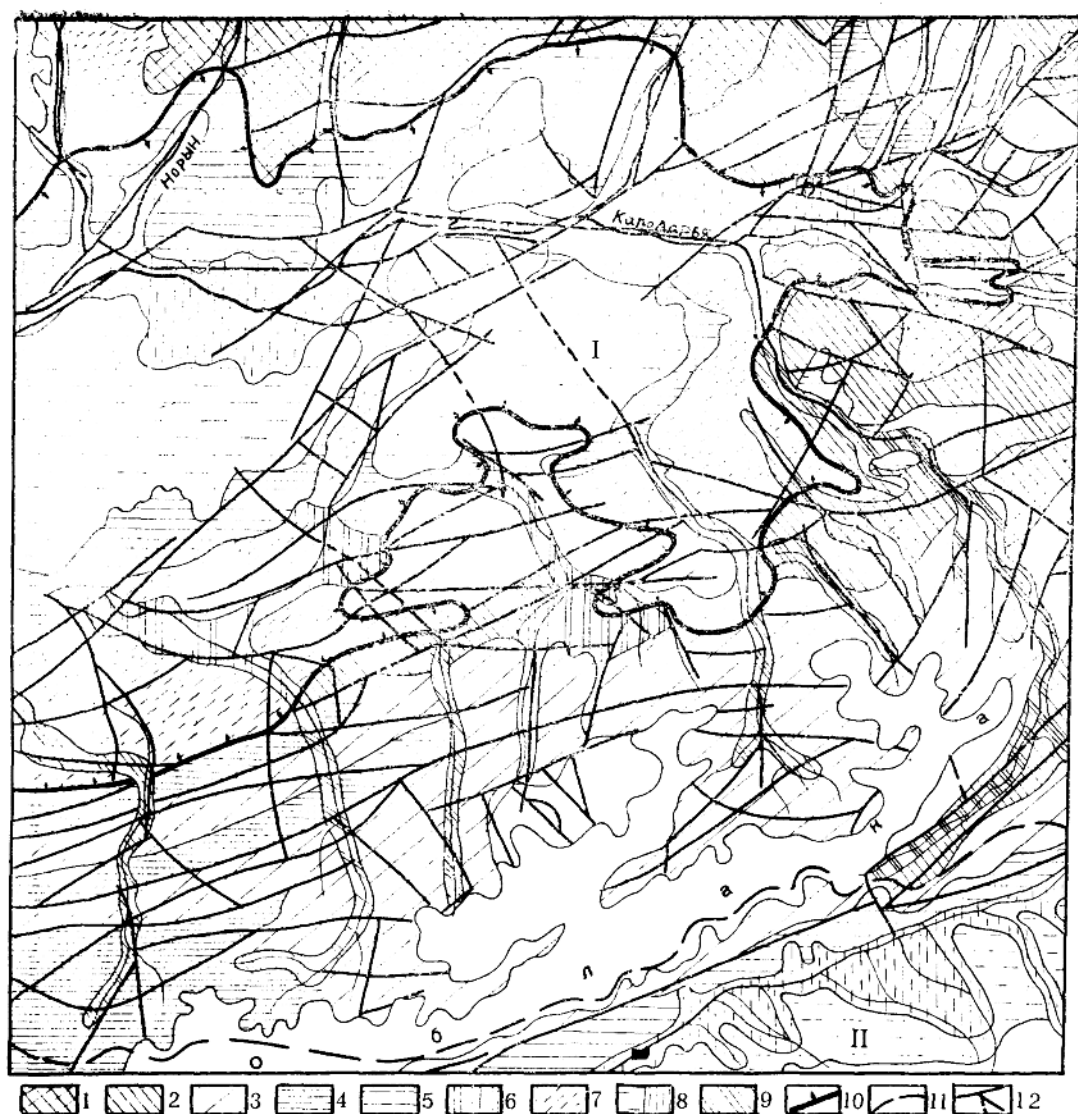


图2 费尔干谷地东部水文地质分区图(根据1973年6月4日《ERTS-1》航天照片绘制)

1—老第三纪—第四纪地层地下水的主要补给区;2 中生代地层裂隙—孔隙水(依靠入渗和自相邻含水综合体的入流)的主要补给区;3—上、中生代岩石裂隙—岩溶水的主要补给区和聚积区;4—下、中生代变质岩及喷出岩裂隙水的主要补给区和形成区;5—转移到第四纪洪积裙部分溢出带的地下水的当地补给区;6—山间盆地新第三纪—第四纪地层地下水主要分布区,在那里产生古生代岩层裂隙—岩溶水的局部排泄;7—被薄层第四纪岩层所覆盖的中新生代地层承压水的主要分布区,在上部可以见到新第三纪—第四纪裂隙—孔隙水沿着河谷具有局部补给和部分排泄;8、一中生代—第四纪地层承压地下水的主要分布区;a—承压地下水的越流运移与部分排泄带;6—承压地下水的主要排泄带;-9中生代和古生代地层地下水的局部排泄区;10—承压水的分布范围;11—费尔干自流水盆地范围;12—构造破碎带(构造线);I—费尔干自流水盆地,II—第二级山间自流水盆地。

译自 Волные Ресурсы, No. 1, 1979

白志正 乐美煜 译 方鸿慈 校