

早元古代蛇绿岩组合

——以乌克兰为例

E, B, Nanivkina

早元古代蛇绿岩组合在所有大陆最老的地层中都有发育。其范围限于在广阔的早元古代地槽的间断带中。这种间断带长数千米，并由太古代褶皱地层的大岩块所围绕，平面上呈等轴状或长圆形。表1列出部分早元古代蛇绿岩组合的对比方案。这种岩石组合的典型例子是乌克兰结晶地块。它发育于波尔学伊 (Boľihoi) 克里沃罗格 (Krivoy Rog) 附近的萨克萨刚系中 (Saksaganides) 从西部的克里沃罗格~昆门朱格带，到东边的贡嘎~百乐泽罗带 (见图)。

早元古代蛇绿岩组合是在早元古代地槽发展过程中，在太古代发育的地壳上沿偏南北向断裂带形成，它由 (占80%) 变质的基性火山成因岩石 (绿片岩~角闪岩相) 的层序组成。主要是辉绿岩和角斑岩 (占7%) 沉积岩 (占9%) 以及含铁石英岩，绿泥石、石英~碳酸盐岩，硫酸盐~绿泥石岩石等。也有少量变质超基性小岩体，这种小岩体大约占苏尔斯克 (Surwik) 和沃克霍夫泽沃复向斜剖面中的沉积~火山岩系总量的8%。

该组合在向斜槽部形成狭窄的、伸长的间断带，由花岗质组合岩石组成的地背斜隆起隔开，从西到东我们可以看到下列蛇绿岩组合带，其中大部份是经谢缅年科建立起来的，即克里沃罗格~昆门朱格带，亚历山大多夫卡带，巴扎努克带苏尔斯克带，以及贡嘎~百乐泽罗带。其中蛇绿岩组合形成复杂的，椭圆形褶皱的、或透镜状的复向斜 (如苏尔斯克、沃克霍夫泽沃、车尔多姆尼克、贡嘎等) 这些褶皱翼部陡倾斜，它们都被认为是早元古代活动地区的内带，而克里沃罗格~昆门朱格带则被认为是边缘带。虽然蛇绿岩组合形成完整的内带，但克里沃罗格~昆门朱格带仅形成这个层序的下部。

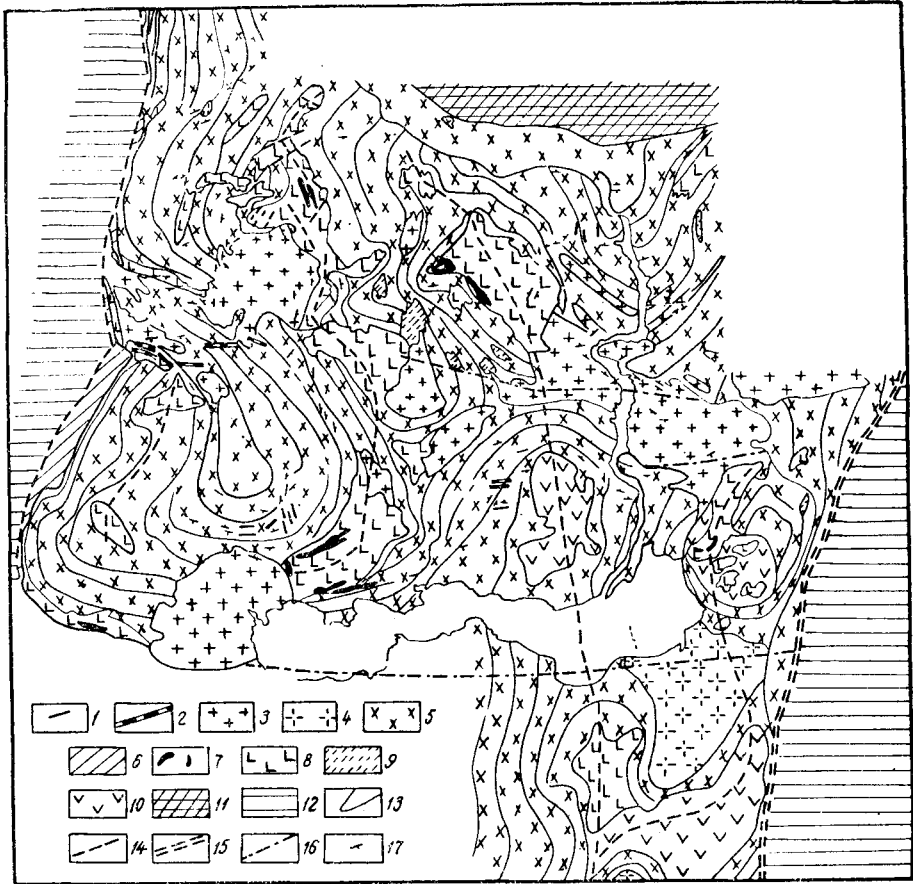
我们认为苏尔斯克复向斜的特征可作一个例子来讨论。该复向斜长35公里，宽20公里，沿剖面横越走向已经打了100个300—400米深的孔，岩石层序形成一个大的向斜，东翼由背斜复杂化，该向斜由变质的 (绿片岩~角闪岩相) 火山成因的岩石组成。这种变火山岩主要是基性组分和夹带少量酸性的和沉积岩，也有少量超基性岩块。熔岩席是最多的形态，居较小意义的是火山喷发物质。岩席的厚度经几米到几十米厚。剖面的全部厚度大约是六公里，下部为基性的和酸性火山成因的岩石互层，中部为基性的火山成因岩石和沉积岩。上部为基性火山成因的岩石。这个层序相对于中心有一个同心环状排列。在中心重力场表示出极大值。暂把它当作是裂隙喷发的结果，末了有明显的中心喷发。

研究早元古代蛇绿岩组合 (泥尔~底勒斯特，贡嘎~沃耳克霍夫泽岩，和克里沃罗格系的下部) 的结果和其他研究资料的分析指出层序的两个类型相当于早元古代活动地

区的内部带和边缘带。第一类型的剖面代表内带，被组于别洛索夫~巴扎夫鲁克系中。它划分为下列层序（从下往上）

- 变质辉绿岩的下部层（大于300米）
- 变质辉绿岩和角斑岩互层（2800米）
- 变质辉绿岩和沉积岩互层（1900米）
- 变质辉绿岩的上部层序（800米）

附图：



乌克兰结晶地块早元古代蛇绿岩组合分布区岩浆岩变质岩、浆岩交代岩、的岩石组合。台地、次台地形建造：1、暗色岩（辉绿岩和辉绿玢岩）。2、建造关系不定的（橄辉岩、辉长岩、蛇纹岩）早元古代活动区的组合和建造。3、同生褶皱~晚期褶皱、花岗质混合岩。4、该组合包括地球物理数据的推想发展范围。5、同生褶皱与褶皱前的斜长花岗岩质岩浆岩。6、铁质燧石组合。7~10、蛇绿岩组合。7、超基性的（蛇纹岩、石膏片岩，石膏~菱镁矿岩等）8、脱玻~辉绿角闪岩、角闪岩，脱玻辉绿泥片岩，含铁石英岩和变质角斑岩，9、黑云母~斜长石片麻岩在花岗岩类发育区成捕虏体残余物。10、此类岩石经地球物理数据推想的发展区。11、德勒波尔~顿涅茨内克拉通陷盆地。12、部分在早元古代时期活动的太古代活动区。13、岩石中的线理方向。14~16、深处的断层带。14、早元古代地向斜的内部构造与原始构造的联合。15、早元古代地向斜边部构造与原始构造联合；16、混合岩~花岗岩~花岗岩组合的联合建造。17、岩石的产状。

每个层包含许多有地区名称的组，由不同的调查者在不同的复向斜中分出。别罗佐罗~巴扎鲁克系的总厚度超过 8 KM，有时与这套岩系相近的超基性岩体共存。在蛇绿岩组合发育的内带中基性火山成因的多层岩席占优势。

第二型剖面被测定于克里沃罗格~昆门朱格带的边缘。它由变质辉绿岩层组成，并被别勒夫泽夫，M.N.多布洛克霍托夫，波洛夫金娜等人详细研究。

这样，早元古代蛇绿岩组合在时间和空间上显示特征（从下往上，经边缘到内带均有变化）。

表1 早元古代蛇绿岩组合的对比表

俄罗斯地台基底	西伯利亚地台基底	兴都斯坦地台基底	加拿大地盾
岩系：贡嘎—百乐泽乐群，米克赫洛夫群，派波泽乐群，帕兰多夫群，柏哥尔斯克群，考塔瓦拉群等岩系	岩系：叶尼塞群和一些斯坦洛沃杂岩的岩系	岩系：达瓦尔群，核可力群和兴布恩群	岩系：基瓦丁群黄刀群等岩系
辉长岩类和超基性岩侵入体，时代与地层相似	辉长岩类和超基性岩侵入体，时代与地层相似	辉长岩类和超基性岩侵入体，时代与地层相似	辉长岩类和超基性侵入体，时代与地层相似

这种岩石组合和周围花岗质岩体的接触关系表明后者年代较新，然而这并不包括先前的老花岗质岩体和变质岩石的残余，这些是在早元古世时再造的。花岗质岩分属于混合岩~斜长花岗岩（同期褶皱）和混合岩~花岗岩（同期~后期褶皱）组合，与蛇绿岩组合和早元古代褶皱地区的带状构造一道形成。在此情况下，蛇绿岩组合主要在扩张带里形成石香肠（分隔复向斜），而混合岩~斜长花岗岩组合形成复杂内部构造的开阔带，并将蛇绿岩带分隔，在内部石香肠的间隔区中主要发育着混合岩~花岗岩组合。

这些地层和岩石组合清晰地和早元古代活动地区内发展的断层联系着，其中有三组断裂能被看到：

- 1) 早元古代活动区原始时期和蛇绿岩组合形成时期的水下经向断层。
- 2) 造山期和花岗岩类组合形成时期的水下纬向断层。
- 3) 区域上地台、次地台发育阶段主要的斜断层。。

早元古代蛇绿岩组合在构造上呈不均匀性，在其中我们可以看到地向斜槽，充满着主要是基性岩石（蛇绿岩组合）和地背斜隆起，由酸性岩石（花岗岩类组合）组成。这种构造的不均一性也在地球物理资料中反映出来。为此，蛇绿岩组合地段是以重力异常的增高为特征，其形状与蛇绿岩露头的等高线相近似。磁场是以负的和低正的磁异常来表示地段的变化而区分的。与后者的背景相反，我们看到两个有意义的异常（强度达几万伽码）是由含铁石英岩引起的。还有一些小异常（强度几千伽码）是受蛇纹岩小岩体控制的。

根据深部地震测深数据，P波传播的高速值（每秒 7 km）在一些地区被鉴定，这

里蛇绿岩组合是在浅深（6—8 km）分布的。这些地区被当作地壳具有浅“玄武质”层的地质。

蛇绿岩组合的地质特征列于表 2

表2 早元古代蛇绿岩组合的地质特征

地 质 参 数	特 征
岩石组合	基性火山成因岩石厚层（占80%），沉积岩（占9%）酸性火山成因岩石（占7%）超基性小岩体少量。
组合的构造	不均一性，剖面下部由变质基性火山成因岩石组成。往上的变质角斑岩层，剖面中部限于沉积岩其中包含燧石~铁质型沉积岩。上部由较深变质的火山成因岩石组成。
构造位置	在早元古代地向斜内的复向斜。
与褶皱运动关系	前褶皱运动
区域变质作用	角闪岩和绿片岩相
和花岗岩类组合的构造关系。	按活动区比例（非等轴状）由宏观构造石香肠状形成带状类型。
地球物理场性质	正重力场，不同的磁异常，深度达“玄武质”层3—4 KM，（依地球物理数据）
矿化作用	Cu、Zn、Pb、Fe、Ni、Co及Cr，关于矿产远景，已形成矿带。

在早元古代蛇绿岩组合中变辉绿岩是分布最广的岩石，变质酸性火山成因的，超基性的，和沉积的岩石起从属作用。其岩石描述很早即已做出。

在脱玻辉绿岩石中从绿片岩相到角闪岩相随变质级而变化，一系列不同矿物组合的岩石可看到渐变过渡关系：1）脱玻~辉绿岩，石英~斜长石~碳酸盐~绿泥石；2）脱玻~辉绿岩，斜长石~碳酸盐~绿泥石~绿帘石；3）脱玻~辉绿岩，斜长石~绿泥石~绿帘石~阳起石；4）脱玻~辉绿角闪岩。

脱玻~辉绿角闪岩主要是在复向斜的边缘部分发育，由蛇绿岩组成，并且也有以捕虏体的型式包含于花岗岩类中。所有剩余的岩石都限于复向斜的中部。脱玻~辉绿岩类的成分包括下列造岩矿物：石英，斜长石（钠长石~基性中长石~拉长石），方解石，白云石，绿泥石，阳起石和角闪石。附矿物是白钛石、榍石、钛铁矿、铁、铅、和镍的硫化物，一些脱玻~辉绿岩的矿物比率（从绿片岩相到角闪岩相的过渡）随其他一些矿物的交代而变化，一些矿物不出现和另一些矿物出现，所列矿物组份也随之变化。

在均匀的脱玻~辉绿岩中，当它们的变质作用发生时产生下列转化，碳酸盐数量从开始就减少，一直到后来消失，在此情况下，白云石在方解石之前消失，以后石英消失。绿泥石含量减少而它的铁指数则增加了，（脱玻~辉绿角闪岩中绿泥石差不多不

见)。绿帘石含量先增加而后减少,在它的成份上没有鉴别出明显的变化,虽然槽化最早出现,但以后绿帘石趋于正常。阳起石含量增加,并增加其含铁指数(从25%到60%),逐渐过渡到正常的角闪石。斜长石的碱度增加到从钠长石到拉长石、岩石的颗粒大小也增加了(从分数毫米到~毫米),原生岩浆岩石连同其结构(辉绿结构、斑状结构等)与变晶结构(花岗变晶,纤状变晶和斑状变晶结构)是作为特征性的。蛇绿岩的结构较为稳定通常能在经强烈蚀变的变种岩石中见其踪迹,包括角闪岩变质相。通过这些结构特征结合其它特征可重新恢复其原岩岩性。

所有这些脱玻~辉绿岩的变化控制了它们在物理性质上的变化,并对蛇绿岩组合发育地区的区域物理场产生了明显影响。

对该组合广泛分布的基性岩的化学研究证明它们相当于辉绿岩和细碧岩,虽然它们有时有些区别, SiO₂成份低些(49.36%)碱质低些(2.25%)和增加了铁质氧化物(Fe₂O₃2.94%, FeO9.2%)以及氧化镁(7.09%);氧化钙(9.17%),和“玄武岩的”层平均化学成份相对照它们是以较高的碱度和较低的碱质成份为特征(依A. B. 罗诺夫和A. A. 雅罗雪夫斯基)。这种岩石,在蛇绿岩组合出现于其内部和边部带,在成份上并不相同,由边部到内部带它们的碱度有所增加。在此情况下硅质成份减少较甚(从52.48%到47.55%)而氧化镁的含量增加(从5.68到8.99%)。

表3 乌克兰蛇绿岩组合中基性岩的物理性质与地震测深资料比较表

数据

岩 石	变 质 相	6.g/cm ³	Up.KW/sec (每秒)	深部地震测深资料	
				地震边界深度KW	V.PKm/sec (每秒)
早元古代蛇绿岩组合					
脱玻-辉绿岩: 石英-斜长石-碳酸盐-绿泥石	绿片岩	2.16	6.7	3—4	6.7—7.0
脱玻-辉绿岩: 斜长石-碳酸盐-绿泥石-绿帘石		2.84	6.8	3.5	6.8
脱玻-辉绿岩: 斜长石-绿帘石-阳起石-绿帘石	绿帘石-角闪岩相	2.98	7.0	5.8	7.0
脱玻-辉绿角闪岩	角闪岩相	2.98或更大	7.1—7.2	8—10	7.1
太古代蛇绿岩组合					
辉石-斜长石结晶片岩和辉长-苏长岩	变粒岩	3和更大些	7.2和更大	7—20	7.4
辉石-斜长石结晶片岩和辉长-苏长岩	榴辉岩(?)	3和更大些		20—30	7.8

微量元素含量 (Ba、Sr、y、Sc、Zn、Cu、Ti、V、Mn、Cr、Co、Ni、Pb、Ca 和Zr) 在苏尔斯克、巴扎夫努克、亚历山大夫卡、和克里沃罗格~昆门朱格带的变质脱玻~辉绿岩中表明它们是以单一组合和元素表上相同的量比为特征。锰(0.13%) 镍(0.015%) 钴(0.005%) 的含量也有所增加。但是从元素组合的性质和它们之间的对比系数来看, 内部带的岩石是居基性和超基性之间而边缘带的岩石居基性与中性之间。

一个构造位置上和化学成份上一致, 但变质程度不同的岩石(脱玻~辉绿角闪岩和脱玻~辉绿岩石英~斜长石~碳酸盐~绿泥石岩石) 并不根据组合、数量和微量元素对比系数的性质相区别, 后者形成两个稳定相反的组, 其中微量元素具正相关(Ni、Co、Cr, 及Ga、Sr、Zr、Ti和V)。相似组(依照Yu、K、布尔柯夫) 以未变质的基性岩浆成因岩石为特征, 就是说微量元素规定原生岩石的地球化学性质, 从造岩矿物元素和微量元素的性质, 它们的组合, 和它们之间的相关性来看, 考虑变质岩石与岩浆成因类型相符。

如此, 区域变质作用(绿片岩~角闪岩相) 对于岩石的化学性质并无多大改变, 对于岩石的成因元素和微量元素也无多大影响。

蛇绿岩组合的变质岩经受了花岗岩化作用。主要在复向斜的边部, 而在内部经受了水热交代蚀变作用, 可能连带着花岗岩化作用。基性岩石的水热交代再造作用明显地形成小而稀少的石英~碳酸盐脉和硅化、碳酸盐化带有时具有电气石和黄铁矿, 以及角斑岩的倍利硅化作用蚀变。

早元古代蛇绿岩组合联系着铁矿化作用(谢缅年科, M.N.多布洛霍托夫及G.I.库雅泽夫) 并形成铁矿带。矿石中具有镍和钴, 到目前为止很少被研究(谢缅年科, I.A.嘎叶夫, V.A.斯图尔程可夫和M.M.依维茨基) 由于构造的很不均一性, 对于矿产来说与太古代同类岩石组合相比较早元古代蛇绿岩组合的前景更大。

在所有上述资料的基础上我们能够重建早元古代蛇绿岩组合形成和蚀变的地质历史。沿早元古代被地背斜隆起隔开的优地槽槽部中的水下经向断层带聚集着厚层沉积~火山成因岩石和丰富的基性喷发岩。这些沉积物中伴随着小的超基性岩侵入。蛇绿岩组合的发育是在沉降和挤压的条件下进行着褶曲作用和区域变质作用。后成的花岗岩化作用明显地在背斜隆起的张力条件下同时产生褶皱作用及其衰减。在地向斜槽部蛇绿岩组合在其带的边部产生部份花岗岩化作用, 并且也在其间断地没(有内石香肠空间) 同样产生花岗岩化。如此, 早元古代褶皱地区形成了和太古代褶皱地区的镶嵌构造不同的带状构造。与太古代同类岩石组合相比早元古代蛇绿岩组合成份上的增加和构造上的不均一性控制了组合中的矿产远景。

区域上发育的前寒武系岩石组合形成在地壳的不同深度上, 经剖面侵蚀而出露。对这些地层的对比研究与岩石物理性质和区域上发育的地球物理场资料一起能使我们组合和地壳深处构造的相互关系有一个成功的解释。为此目的我们与地质研究结合研究了蛇绿岩组合岩石的物理特性(密度和P波速度)

蛇绿岩组合的结晶岩石与乌克兰花岗岩类组合岩石的密度与P波速度间的关系的研

究表明这些参数间有一个直线的组合关系，这取决于岩石的化学变化和变质程度。

对低孔隙度，密度范围为2.56~3.3克/厘米³和P波速度为5.7~7.4公里/秒的结晶岩石的有关记录是适当的，这些范围相当于早前寒武地区区域发育的岩石，即大陆地壳主要部分的岩石。

太古代和早元古代蛇绿岩组合的基性岩石即一些化学成份近似而变质程度不同的岩石其密度和P波速度均以高值为特征，并随变质程度的增加而增加，即从绿片岩相岩石的2.76克/厘米³和6.7公里/秒到变粒岩相的3克/厘米³和7.2公里/秒。当过渡到榴辉岩相时将更大些。（表3）最大的梯度值发生在从绿片岩相到绿帘~角闪岩相的过渡，这些变化也明显地控制着主要由蛇绿岩组合的基性岩石组成的陆壳部分的密度和波速的变化。

在太古代基性岩（与相似于那些变粒岩相条件下紫苏花岗岩的形成）和早元古代蛇绿岩组合（在角闪岩相条件下）的花岗岩化作用其密度和P波速度连续减小，在整个花岗岩化阶段这些参数值是比变粒岩相的条件下有所增高。如此，整个区域性发育的基性岩石的花岗岩化作用导致密度和P波速度的减小，在壳部密度和速度的变化进一步增加。

从深部地震测深资料的对比中使我们把蛇绿岩组合与地壳深部的构造联系起来。对温度和压力及其在地表以下岩石深度的影响以及它们物理性质的变化产生数据分析，得到的认识似乎对我们来说是完全适当的。

在蛇绿岩组合发育地区，深部地震测量工作找出了有“花岗质”层的缺失。此处在不同深度的“玄武质”层内。界面是非常清晰的，由波速从6.7到7.8公里/秒的P波来证实。这些P波速度值和不同变质相的蛇绿岩组合相比，指示它们完全相关。

上述情况表明在这种地壳部分上的蛇绿岩组合代表“玄武质”层，而太古代组合大概形成在它的更深部位。它主要由变粒岩相的基性岩组成。

蛇绿岩组合和紫苏花岗岩地层的区域的花岗岩化作用使“花岗质”层的最深部富集带具特征性，这种由“玄武质”层的过渡明显地鉴别康奈尔面的产状。

早元古代蛇绿岩组合可能代表最浅部的偶可见到的“玄武质”层。在这些地段里主要由基性岩石组成。变质作用由绿片岩相到角闪岩相。在其往下15~20公里深的地震边界是由绿片岩到角闪岩相过渡的基性岩石控制。

最老的蛇绿岩组合发育地区陆壳构造纲要见表4、5。

太古代蛇绿岩组合代表太古代活动地区的“玄武质”层。紫苏花岗岩的蚀变导致深处的“花岗质”层的形成并明显地受康氏面产状的制约。早元古代再造的太古代基底沿断层带与蛇绿岩组合联系，它向下穿入到太古代褶皱地区的“玄武质”层，在早元古代蛇绿岩带上这个层的外形增大了。并在分割蛇绿岩组合带的活动地区相邻地段增加了“花岗质”层的大小，由于这个缘故，早元古代褶皱区地壳的不均一性和太古代时期相比是增大了。

这样，大陆侵蚀剖面（在地盾内）的前寒武纪“玄武质”层大概由太古代和早元古

太古代褶皱区的陆壳构造纲要 (镶嵌构造) 表4

岩 石	变 质 相	建 造 和 组 合	层	深度 KM	$\delta g/M^3$	V_p KM/sec
I 型 剖 面						
紫苏花岗岩	接近变粒岩	紫苏花岗岩	“花岗质的”	几公里	262—272	6.0—6.2
康 拉 尔 面						
辉石—斜长石结 晶片岩、片麻岩 和辉长岩	变粒岩	蛇绿岩	“玄武质的”	几公里	2.9—3.1	7.2及更多
I 型 剖 面						
辉石—斜长石结 晶片岩片麻岩和 辉长岩	变粒岩	蛇绿岩	“玄武质的”	几公里	2.9—3.1	7.2及更多

早元古代褶皱区的陆壳构造纲要 (带状构造) 表5

岩 石	变 质 相	建 造 和 组 合	层	深度 KM	$\delta g/Cm^3$	V_p Km/秒
地 向 斜 槽 部 地 区						
脱玻辉绿岩石英 —斜长石—碳酸 盐—绿泥石	绿片岩	蛇绿岩	“玄武质”	0—4	2.76	6.7
脱玻辉绿岩：斜 石—碳酸盐—绿 长帘石—绿泥石	绿片岩	蛇绿岩	“玄武质”	4—8	2.82	6.75—6.8
脱玻辉绿岩：斜 长石—绿泥石— 绿帘石—阳起石	绿帘石角闪岩	蛇绿岩	“玄武质”	8—10	2.88和更多	7.0
脱玻—辉绿—角 闪岩	角闪岩	蛇绿岩	“玄武质”	8—10	.298	7.1—7.2
辉石—斜长石结 晶片岩	变粒岩	蛇绿岩	“玄武质”	10—20	3 或多些	7.2或多些
辉石—斜长石结 晶片岩过渡到榴 辉岩	变粒岩榴辉岩	蛇绿岩	“玄武质”	20—30	—	7.5—7.8
榴辉岩 (?)	榴辉岩	蛇绿岩	“玄武质”			

地 背 斜 隆 起 地 区

似花岗岩 (包括 紫苏花岗岩)	角闪岩	混合岩—斜长 花岗岩, 混合 岩—花岗岩	“花岗质”	0—15	2.6—2.7	6.0—6.4
紫苏花岗岩(?)	接近变粒岩	紫苏花岗岩	“花岗质”	15—20	2.7	6.7
康 拉 尔 面						
辉石—斜长石结 晶片岩 (?) 同 样, 过渡到榴辉 岩榴辉岩	变粒岩 变粒岩 变粒岩	蛇绿岩 蛇绿岩 蛇绿岩	“玄武质” “玄武质” “玄武质”	20—25 20—30 —	>3 — —	7.3 >7.3 —

代蛇绿岩组合组成。它的单个部份将不可能由“花岗质”地层复盖。并且实际是不同构造层都“贯穿”的基性物质带。这些地段将是地壳的陆块和洋块的过渡环节。

前寒武纪“玄武质”层由基性火山成因的岩石组成, 同时变质成变粒岩、角闪岩和绿片岩相, 沉积岩, 辉长岩和超基性岩体则起很少作用。在化学成份上这些地层相当于玄武岩和辉绿岩, 但老的部分 (Ar) 和较年轻部分 (PR₁) 通过碱度的提高相区别。这些岩石以高密度和高P波速度为特征, 并随变质级的增高而增高。太古代“玄武质”层部分是代表最老的蛇绿岩组合的地段, 和早元古代相应部分相比是简单的。这里进一步建造早元古代蛇绿岩组合。所以, 大陆前寒武纪“玄武质”层是在成份上, 区域变质级上和层序上都是不均一的, 这已由蛇绿岩组合的地质性质所决定。

参考资料 (略)

译自《International Geology Review》

Volume 22—Number 6 (1980)

林枫 译 杜诗连 校