

蛇绿岩的定义、分类及其发展

臧遇时^{1,2}, 杨高学¹, 赵金凤¹

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;

2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 1972 年, 在彭罗斯会议上, 将蛇绿岩定义为一套层状非地层单元, 并明确列出其完整的层序。然而, 在后来的研究中发现, 不同的地球动力学背景和构造运动可导致产出的蛇绿岩在结构上和地球化学上体现出复杂的多样性, 而这种多样性已经超出了蛇绿岩经典定义的范畴。一些学者开始研究和完善前人对蛇绿岩的研究, 并得出一个全新的定义和分类方案, 不仅覆盖了现已发现的所有蛇绿岩类型, 更重要的是, 它阐明了蛇绿岩形成的根本原理, 并指出在威尔逊旋回的各个阶段都会形成性质不同的蛇绿岩。

关键词: 蛇绿岩的新定义; 蛇绿岩的新分类; 陆缘型蛇绿岩; 大地构造演化

中图分类号: P588.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2013)02-0012-06

The Definition, Classification and Development of Ophiolites

ZANG Yu-shi^{1,2}, YANG Gao-xue¹, ZHAO Jin-feng¹

(1. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, China)

Abstract: The basic tenet of the 1972 Penrose definition is that an ideal ophiolites has a layer—cake pseudostratigraphy with whole and specific sequence. However, consequent studies have found that the structures and geochemical features of ophiolites are variable due to different geodynamic settings and tectonic processes involved in its formation. The diversity is obviously beyond the typical definition of ophiolites. Continuous researches were conducted thereafter, and a new definition and classification of the ophiolites have been put forward based on decades of studies, covering all kinds of ophiolites found. Moreover, the new research findings explain the hypostasis of ophiolite formation, and points out that there will be diverse ophiolites in Wilson cycle.

Key words: new ophiolites definition; new ophiolites classification; epicontinental ophiolites; geotectonic evolution

1 蛇绿岩的定义及发展

1.1 早期蛇绿岩研究

蛇绿岩是一类有着特殊含义的岩石组合, 通常被视为古洋壳或与其相关的构造单元的残片保存在

造山带中, 在大地构造理论中有着重要的意义。

这一术语的诞生可追溯到 1813 年, 法国矿物学家 Brongniart 在关于混杂岩中蛇纹石的研究中首次使用了“蛇绿岩”一词, 并在 1827 年将其描述为一套绿色的具斑状结构外貌的火成岩类岩石。这

收稿日期: 2012-06-14; **修回日期:** 2013-02-12

基金项目: 国家自然科学基金 (41102050) 和中国地质调查局地质大调查项目 (1212011121092、121201112088 和 11212011120183) 联合资助

作者简介: 臧遇时(1986-), 男, 长安大学在读硕士研究生。通讯地址: 710064, 西安市雁塔路 126 号, 长安大学资源学院。Email: chd_yushi@126.com

个最初的概念比较模糊，缺乏定义性的语言。直至一个世纪后，德国地质学家 Steinmann（1927）在经过大量研究之后，指出蛇绿岩是一组由蛇纹石化橄榄岩和少量辉长岩、玄武岩组成的岩石群体，它与深海沉积物（放射性燧石）和黏土紧密共生。这是前人首次对蛇绿岩做出明确的定义。其后，Hess（1955）将 Steinmann 的定义总结为由蛇纹岩、基性火山岩和燧石岩组成的“三位一体”（Steinmann trinity）。虽然“三位一体”概念与 Steinmann 的本意略有不同，但这个说法却得到了广泛的传播。

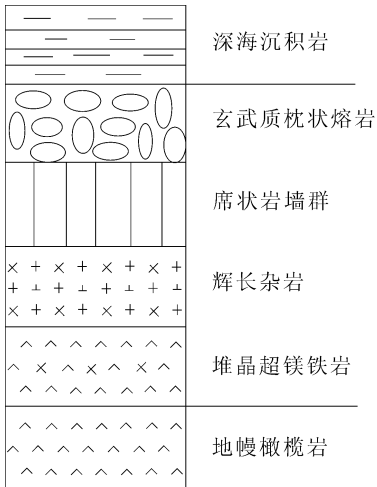


图 1 蛇绿岩套及上覆岩系完整层序图
Fig. 1 Ophiolite sequence and overlying sediments

1.2 彭罗斯式经典定义

随着板块构造理论的问世，人们逐渐认识到蛇绿岩在古陆洋重建中的重要意义，但世界各地的学者对蛇绿岩的认识却互有偏颇，地学界尚缺乏一个统一的理念，于是在 1972 年召开了美国彭罗斯（Pengrose）会议，来自世界各地的地质学家就蛇绿岩各方面的问题展开了热烈的讨论，最终重新厘定的蛇绿岩的定义是：蛇绿岩是一种特殊的镁铁岩至超镁铁岩组合，它不作为一个岩石的名称和填图单元。在一个发育完整的蛇绿岩中，岩石组成从底部向上依次为：①超镁铁杂岩，由不同比例的斜辉橄榄岩、二辉橄榄岩和纯橄岩组成，并有些许蛇纹石化。②辉长杂岩，一般具有堆晶结构，通常包含堆晶的橄榄岩和辉石岩，它们经常比超镁铁杂岩变形程度差。③镁铁质席状岩墙杂岩。④镁铁质火山杂岩，通常为枕状。其上覆的伴生岩石包括：条带

状燧石、薄层页岩夹层及少量灰岩；普遍与纯橄岩伴生的豆荚状铬铁矿体；钠长英质侵入岩和喷出岩。一个蛇绿岩可以不完整，或经历了构造肢解或变质作用的改造（Anonymous，1972）。

彭罗斯式蛇绿岩定义有着划时代的意义，得到世界各地学者的支持，并且在之后的几十年里一直作为标准来使用。但随着人们对蛇绿岩研究的进一步深入，其复杂的多样性使得该定义的不完善之处逐渐体现出来。

在彭罗斯定义中，蛇绿岩仅仅被描述成大洋残片，但人们在对各地蛇绿岩的研究中发现其中相当一部分并非产自洋中脊。例如，塞浦路斯 Troodos 蛇绿岩，Miyashiro（1973）在相关的地球化学研究中，发现原先认为形成于古大洋中脊的塞浦路斯 Troodos 蛇绿岩中大约 1/3 的下部枕状熔岩和席状岩墙岩石遵循钙碱性趋势，意味着这些岩石组合形成于具有薄大洋地壳的岛弧环境中，这篇文章的发表无疑惊起滔天巨浪，人们开始发现蛇绿岩不一定只形成于大洋中脊，并开始将蛇绿岩的形成与俯冲过程联系起来，随后的研究表明，西太平洋俯冲带上盘扩张环境中也可以形成蛇绿岩，这些研究最终导致了 20 世纪 80 年代俯冲带上盘（SSZ）蛇绿岩类型的确立。

诸如此类的一系列研究成果表明，1972 年给定的彭罗斯式蛇绿岩理念已经不再适用，为此，一部分学者开始寻找一个新的定义，试图能够涵盖现已发现的所有蛇绿岩种类。

1.3 最新研究进展

Dilek 等（2003a，2003b，2011）研究发现，某些重要蛇绿岩的主要形成时期跟与大火成岩省、大岩墙群等超岩浆事件的侵位时期一致，这说明蛇绿岩的形成与地幔柱活动和超大陆的形成裂解是密切相关的。遂指出，从超大陆的裂解、漂移到随后的碰撞阶段都会形成不同类型的蛇绿岩，并提出了一个更为精确的定义：蛇绿岩是一组非原地的上地幔和洋壳岩片，经板块汇聚作用使原生岩片发生了构造置换，这样的岩片从底至顶应包括具备岩石成因和时代联系的橄榄岩、超镁铁质至长英质地壳侵入岩和火山岩的一个岩套（席状岩墙可有可无）；其中一些单元可以在不完整的蛇绿岩中缺失。

该定义重新诠释了蛇绿岩的成因，在前人研究成果的基础上，扩大了蛇绿岩仅作为洋壳残片的理

念, 强调其侵位是一个过程, 从原生大洋岩石圈的运移开始, 经过一系列构造运动, 最终卷入造山带而结束。蛇绿岩在形成过程中, 会由于不同的构造环境、地球化学等因素而导致其结构、构造和地球化学特征上出现复杂的多样性, 特别指出威尔逊旋回的每个阶段都会形成不同类型的蛇绿岩。

2 蛇绿岩的分类

2.1 蛇绿岩经典分类

在以往的蛇绿岩研究当中, 不同的学者便持有不同的分类理念。例如, Jackson 等 (1972) 把特提斯蛇绿岩分为西地中海和东地中海两个亚类; Pearce 等 (1975) 将蛇绿岩分为洋中脊型 (MOR) 和俯冲带之上型 (SSZ); Moores 等 (1982) 按侵位的构造特征分为科迪勒拉型和特提斯型; Boudier 等 (1985) 根据地幔橄榄岩特征划分为方辉橄榄岩型和二辉橄榄岩型; 等等。

我国学者朱宝清等 (1987) 按变质橄榄岩中 Al_2O_3 的含量将蛇绿岩分为低铝型和高铝型; 张旗 (1990) 把蛇绿岩分为科迪勒拉型、东地中海型和西地中海型; 肖序常等 (1995) 根据扩张速率将蛇绿岩分为快速扩张型、中速扩张型、中慢速扩张型和极慢速扩张型四种; 等等。

国内和国外的分类方案有很多, 并且都有各自

的依据, 有的考虑其整体性质, 有的着手于某些特点, 并且相互之间或多或少都存在着一些关联。例如, 张旗所划分的东地中海型, 即通常所说的岛弧型, 也相当于 Moores 等所指的特提斯型、Pearce 等的 SSZ 型以及 Boudier 等的方辉橄榄岩型, 而西地中海型, 则相当于 MOR 型, 二辉橄榄岩型和 Ishiwatari (1985) 所划分的阿尔卑斯型。

2.2 蛇绿岩最新分类

Dilek 等 (2003a, 2003b, 2011) 在重新定义蛇绿岩的同时, 也提出了一个以生成环境为依据的全新分类方案。总体上, 可分为 2 个大类, 一种与俯冲作用无关, 另一种与俯冲作用相关。

2.2.1 与俯冲作用无关的蛇绿岩

与俯冲作用无关的蛇绿岩可进一步划分为 3 个亚类。

(1) 陆缘型 (Continental margin, CM): 陆缘型蛇绿岩形成于岩石圈被动拉张环境, 即新生大洋的扩张阶段, 类似于现今的红海与大西洋边缘 (Rampone, 2000)。此类蛇绿岩主要由贫岩浆的洋陆过渡带碎片组成, 是弱亏损陆下岩石圈地幔和上涌软流圈低度熔融的产物 (图 2)。以西阿尔卑斯侏罗纪蛇绿岩为例, 其组成为玄武质熔岩直接覆盖的陆下岩石圈地幔二辉橄榄岩, 并被小辉长岩类侵入, 基性岩墙非常少。地壳岩石表现出正常的 MORB 型地球化学特征。

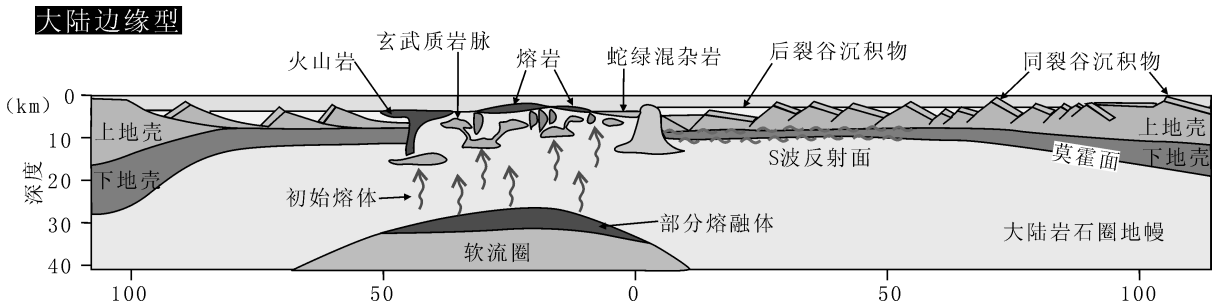


图 2 陆缘型蛇绿岩生成示意图 (据 Dilek 等, 2011)

Fig. 2 Continental margin ophiolite type (After Dilek et al., 2011)

(2) 洋中脊型 (Mid-ocean-ridge, MOR): 洋中脊型蛇绿岩, 保留了 Pearce 等 (1975) 的理念, 也是彭罗斯会议中所定义的典型蛇绿岩, 形成于靠近地幔柱或远离地幔柱的洋中脊、靠近海沟的洋中脊或远离海沟的弧后扩张脊上, 其形成与大洋

扩张中心的大洋壳, 上涌软流圈减压熔融、熔体集中上升形成的熔体透镜体等因素相关, 具有典型的彭罗斯式结构, 但形成过程中岩浆供给速率的变化、洋底扩张速率和扩张脊下方的热结构控制着岩浆增生的方式和所形成洋壳的结构和构造 (图 3)。

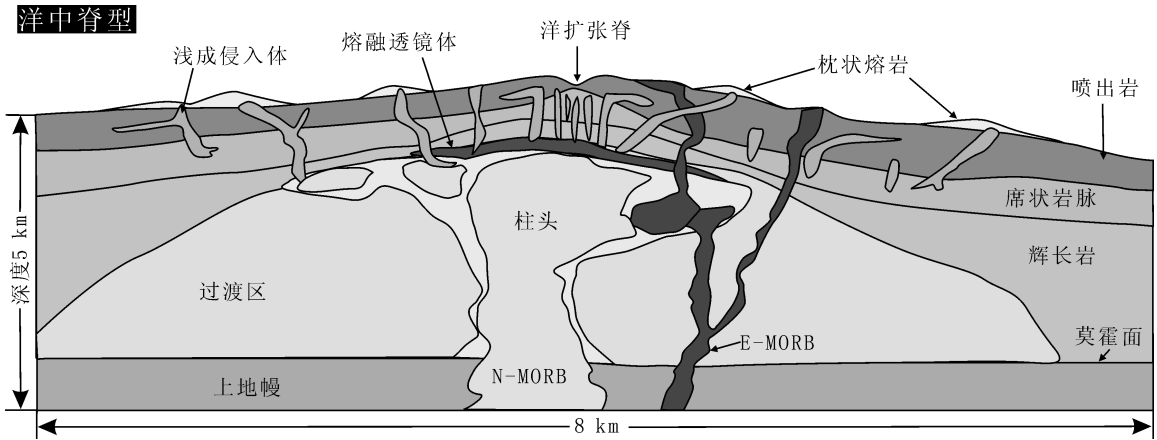


图 3 洋中脊型蛇绿岩生成示意图 (据 Dilek 等, 2011)

Fig. 3 Mid-ocean-ridge ophiolite type (After Dilek et al. , 2011)

地球化学特征表现为 N-MORB、E-MORB 和/或 C-MORB。

(3) 地幔柱型 (Plume-type, P)：地幔柱型蛇绿岩形成于靠近地幔柱的扩张脊上，或地幔柱头部的分批玄武质和苦橄质岩浆重复进入洋壳所形成的洋底高原，具有较大厚度的侵入岩和火山岩序列，代表的是地下深部物质活动。地幔柱型蛇绿岩和洋中脊型蛇绿岩的物质来源有着较大差异，可凭

借较高的 Mg 含量、内部结构和独特的火山层序与 MOR 型蛇绿岩相区分。地幔柱型蛇绿岩以块状玄武质熔岩流、稍少的枕状熔岩流、苦橄质玄武岩的出现及少量的沉积物为特征，并被辉长岩类岩床和局部超镁铁质岩床所侵入。局部地区在层序较高的位置枕状熔岩角砾玻璃质碎屑岩和少量沉积岩与玄武质熔岩互层 (图 4)。其微量元素地球化学特征表现为 D-MORB 至 E-MORB。

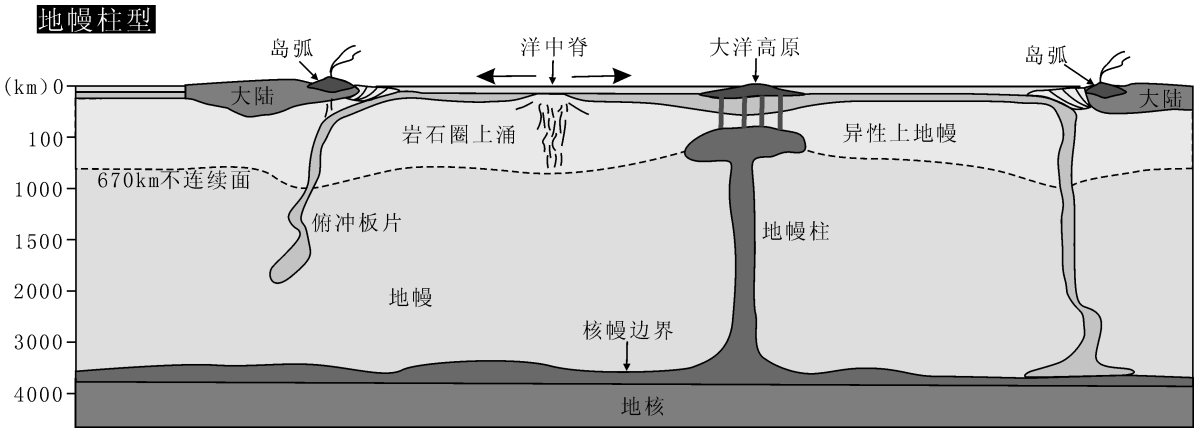


图 4 地幔柱型蛇绿岩生成示意图 (据 Dilek 等, 2011)

Fig. 4 Plume ophiolite type (After Dilek et al. , 2011)

2.2.2 与俯冲作用相关的蛇绿岩

与俯冲作用相关的蛇绿岩可以划分为 2 个亚类。

(1) 俯冲带上盘型 (Suprasubduction-zone, SSZ)：俯冲带上盘型蛇绿岩同样较早被提出和使用，它起因于初始俯冲和随后板片快速后退所导致

的在上盘板块的伸展。例如，太平洋西缘的沟-弧-盆系可形成于伸展的初始弧后环境至弧前环境 (BA-FA)、弧前环境 (FA)、大洋弧后盆地 (OBA) 和大陆弧后盆地 (CBA)。岩浆首先起因于深部二辉橄榄岩地幔的减压熔融，产生了具类 MORB 成分的单元，熔融的后续阶段受到板片脱

水、交代作用、交代橄榄岩重复多幕部分熔融等因素的强烈影响。重复多次水化地幔的熔融导致高度亏损富橄榄石和斜方辉石源区的形成，软流圈底劈、地幔横向流动和板片派生流体的进一步参与使

地幔楔温度上升，导致浅部方辉橄榄岩部分熔融，形成了富 Mg、Si 和含水的玻安质熔体（图 5）。岩浆活动表现为 MORB-IAT-玻安岩岩浆活动是系列演化特征。

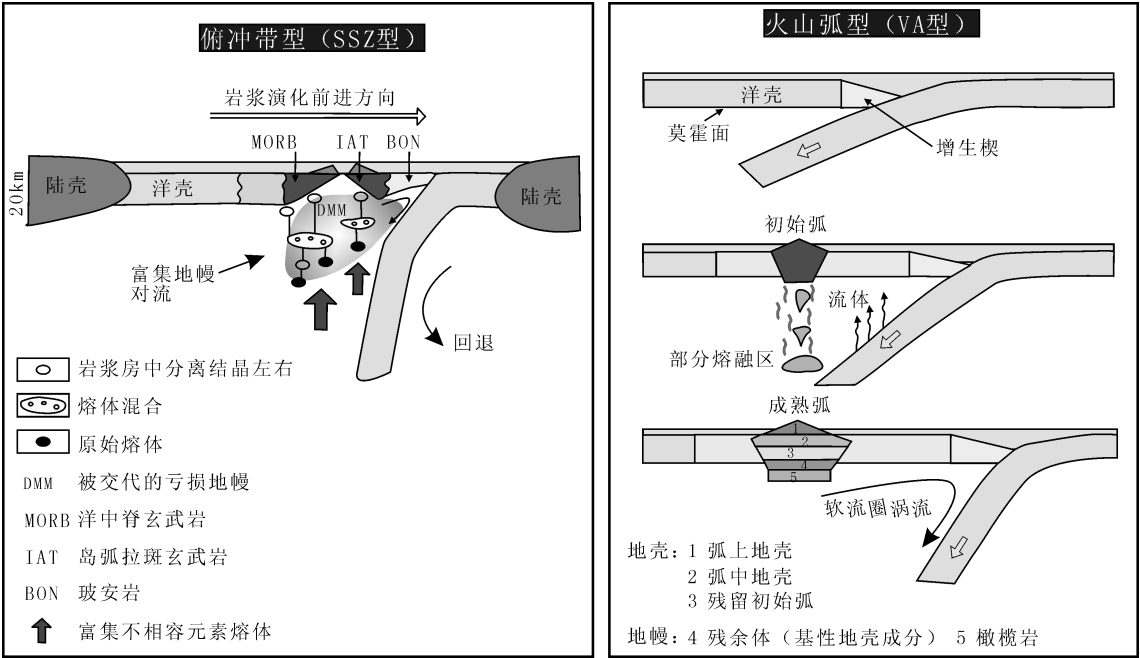


图 5 与俯冲作用相关的 2 种蛇绿岩生成示意图 (据 Dilek 等, 2011)

Fig. 5 Subduction-related ophiolite types (After Dilek et al. , 2011)

(2) 火山-弧型 (Volcanic-arc, VA): 火山-弧型蛇绿岩形成于硅镁质弧背景下，随着不断的俯冲和弧岩浆的渗透，水化的基性地壳部分熔融形成英云闪长质岩浆，残余基性地壳可以转化成橄榄岩残余体。其层序一般为：较老的大洋基底、由辉长岩类侵入体和浅成侵入体组成的基性下地壳、中等至发育成熟的闪长质-英云闪长质中地壳、由安山质-流纹质喷出岩和岩墙构成的上地壳及火山碎屑盖层（图 5）。

VA 型蛇绿岩比 SSZ 型蛇绿岩有 thicker、更完全熔融的具钙碱性组成的弧地壳，具有拉斑质-钙碱性地球化学特征。一个火山弧的形成经历了 20~40 Ma。上述 2 种类型蛇绿岩的存在标志着大洋盆地的俯冲消减。

3 结语

蛇绿岩的产出遍布全球，该领域的研究程度也

日益深入，但是，由于人类自身认知能力存在一定的桎梏性，使得我们研究过程中一直会存在一些无法合理解释的问题，这也是该领域，甚至整个自然科学得以发展的必要前提。

Dilek 等所作出的蛇绿岩新定义比经典定义更为优越，它着重强调蛇绿岩的产生是一个侵位过程，从根本上阐明了其形成机理，这使得以往很多无法解释的问题有了新的研究方向，而且，对已得出成果的研究区域也有了新的认识，对于地质界今后的研究工作具有重要的意义。

致谢：本文得到张进研究员的热心指导，以及评审专家的宝贵意见，特此致谢！

参考文献 (References):

肖序常. 从扩张速率试论蛇绿岩的类型划分[J]. 岩石学报, 1995. 11 (增): 10-23.

Xiao Xuchang. Discussion on the Classification of Ophiolite

- by Spreading Rate [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11 (suppl.): 10-23.
- 张旗. 蛇绿岩的分类[J]. *地质科学*, 1990, 1: 54-61.
- Zhang Qi. Classification of Ophiolites [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1990, 1: 54-61.
- 朱宝清, 王来生, 王连晓. 西准噶尔西南地区古生代蛇绿岩[J]. *中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊*, 1987, 17: 3-64.
- Zhu Baoqing, Wang Laisheng, Wang Lianxiao. Paleozoic era ophiolite of Southwest part in Western Junggar, Xinjiang, China [J]. *Xi'an Inst. Geol. MIN. Res.*, Chinese Acad. Geol. Sci., 1987, 17: 3-64.
- Anonymous. Penrose Field Conference on ophiolites [J]. *Geotimes*, 1972, 17: 24-25.
- Boudier F, Nicolas A. Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environments [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, 76: 84-92.
- Brongniart A. Essai de classification minéralogique des roches mélanges [J]. *Journal des Mines*, 1813, XXXIV: 190-199.
- Dilek Y. Ophiolites in Earth history: introduction [C]. *The Geological Society of London Special Publications*, 2003a, 218: 9-19.
- Dilek Y. Ophiolite concept and its evolution [C]. *Geological Society of America Special Paper*, 2003b, 373: 1-16.
- Dilek Y, Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere [J]. *Geological Society of America*, 2011, 123 (3-4): 387-411.
- Hess H H. Serpentine, orogeny and epeirogeny, in Poldevaart, Arie, ed., *Crust of the Earth (A Symposium)* [J]. *Geological Society of America Special Paper* 62, 1955: 391-408.
- Ishiwatari A. Alpine ophiolites: Product of low-degree mantle melting in a Mesozoic transcurrent rift zone [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, 76: 93-108.
- Jackson E D, Thayer T P. Some criteria for distinguishing between stratiform, concentric and alpine peridotite-gabbro complexes: [J]. *24th International Geological Congress Section 2*, 1972: 289-296.
- Miyashiro A. The Troodos complex was probably formed in an island arc [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1973, 19: 218-224.
- Moore E M. Origin and emplacement of ophiolites [J]. *Reviews of Geo-physics and Space Physics*, 1982, 20: 735-760.
- Pearce J A. Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus [J]. *Tectonophysics*, 1975, 25: 41-67.
- Rampone E, Piccardo G B. The ophiolite-oceanic lithosphere analogue: New insights from the Northern Apennines (Italy), in Dilek, Y., Moore, E. M., Elthon, D., and Nicolas, A., eds., *Ophiolites and oceanic crust: New insights from field studies and the Ocean Drilling Program: Boulder, Colorado, Geological* [J]. *Society of America Special Paper* 349, 2000: 21-34.
- Steinmann G. Der ophiolitischen Zonen in der Mediterranean Kettengebirgen [M]. *14th International Geological Congress in Madrid*, 1927, 2: 638-667.